FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA8079 ATRAVÉS DAS TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ

Sandra Torres Zarzar[(1)] (sandrazarzar@gmail.com), Diogo Monteiro do Nascimento[(1)] (diogomonteiro.nascimento@gmail.com), José Endreo Baracho da Costa[(1)] (endreomec@hotmail.com), Max Breno Bezerra Muniz[(2)] (breno.bmuniz@gmail.com), Oscar Olimpio de Araujo Filho[(1)] (oscaroaf98@hotmail.com)

[(1)]Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); PPGEM
[(2)]Faculdade Estácio de Sá; Departamento de Engenharia Mecânica

RESUMO: *Foi fabricada a liga de alumínio AA8079 através da técnica de metalurgia do pó. Os pós foram processados através da moagem de alta energia (MAE) durante 30, 60, 120 minutos e em seguida caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de energia dispersiva (EDS), difração de raios-x (DRX) e granulometria por Difração a Laser. Após a caracterização dos pós, os pós foram consolidados através de compactação uniaxial a frio, seguida de sinterização. A caracterização do sinterizado foi feita através de MO, MEV e microdureza vickers. A caracterização do material particulado evidenciou uma diminuição do tamanho das partículas da mistura dos pós com o aumento do tempo de processamento, o material consolidado demonstrou uma porosidade acentuada, baixa densificação e uma microestrutura não homogênea, foram observados precipitados ternários (AlFeSi) e binários (AlSi) nas imagens da microscopia eletrônica de varredura, e identificadas as suas composições químicas por espectroscopia de energia dispersiva.*

PALAVRAS-CHAVE: *AA8079, CARACTERIZAÇÃO, LIGAS DE ALUMÍNIO, METALURGIA DO PÓ*

MANUFACTURING AND CHARACTERIZATION OF THE ALUMINUM ALLOY AA8079 THROUGH POWDER METALLURGY TECHNIQUES

ABSTRACT: *The AA8079 aluminum alloy was manufactured trough powder metallurgy technique. The powders were processed through high energy ball milling (HEBM) for 30, 60, 120 minutes and then characterized by scanning electron microscopy (SEM), dispersive energy spectroscopy (EDS), x-ray diffraction (XRD) and Laser Diffraction granulometry. After the characterization of the powders, the powders were consolidated through cold uniaxial compaction, followed by sintering. The characterization of the sinter was carried out using OM, SEM and vickers microhardness test. The characterization of the particulate material showed a decrease in the size of the powder mixture particles with an increase in the processing time, the consolidated material demonstrated a marked porosity, low densification and a non-homogeneous microstructure, ternary (AlFeSi) and binary (AlSi) precipitates were observed in the scanning electron microscopy images, and their chemical compositions were identified by dispersive energy spectroscopy.*

KEYWORDS: *AA8079, CHARACTERIZATION, ALUMINIUM ALLOYS, POWDER METALLURGY*

1. INTRODUÇÃO

O alumínio é um elemento metálico encontrado de forma abundante na crosta terrestre, geralmente na forma de óxido. Foi descoberto e isolado nas primeiras décadas do século XIX. Com a criação do processo de refino foi possível produzi-lo em escala comercial, o que promoveu a redução dos custos de fabricação e o consequente aumento na utilização deste metal não ferroso (BARBOSA, 2014).

A liga de alumínio possui enormes aplicações no setor aeroespacial e automotivo devido a suas propriedades mecânicas superiores, como resistência à tração, densidade relativa, ductilidade, formabilidade, trabalhabilidade e resistência à corrosão (MEIGNMOORTHY *et al*., 2019). Devido ao excelente comportamento das ligas sob os diferentes pontos de vista de suas propriedades mecânicas, essas propriedades podem ser modificadas para satisfazer diferentes aplicações (TORRALBA *et al*., 2003).

Uma das áreas de desenvolvimento mais ativas na metalurgia do alumínio está na série 8xxx (SHACKELFORD, 2008). As ligas de alumínio da série 8xxx têm como principal elemento de liga um elemento diferente das demais ligas de alumínio classificadas pela Aluminum Association (AA). Alguns exemplos dessas ligas são as formadas por binários Al-Li, Al-Fe, Al-Sn e ternários Al-Cu-Li, Al-Mg-Si, Al-Fe-Si (BARBOSA, 2014).

Metalurgia do Pó (MP) é uma técnica de produção emergente para a fabricação de componentes com formas finais ou próximas a final nas indústrias. Vários tipos de elementos podem ser misturados e propriedades únicas podem ser obtidas via MP. As peças fabricadas por MP são utilizadas na indústria aeroespacial, indústria automobilística e eletrônica, devido às excelentes propriedades como a baixa densidade e alta resistência (MEIGNMOORTHY *et al*., 2018).

O presente trabalho teve como objetivo principal a fabricação e caracterização das ligas de alumínio AA8011 e AA8079 via Metalurgia do Pó, pela moagem de alta energia, a compactação a frio seguida de sinterização e a extrusão a quente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental realizado na liga AA8079 consistiu-se na caracterização dos pós, processamento dos pós através da moagem de alta energia (MAE), compactação e sinterização. Seguindo com o processo de caracterização estrutural através da Microscopia ótica (MO),

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) e ensaio de microdureza Vickers.

Foram empregados pós elementares cuja composição das amostras utilizada para compor as ligas estão indicados na Tabela 1. Os percentuais dos pós utilizados foram obtidos e escolhidos a partir da classificação da *Aluminum Association* encontrado no Vol. II do ASM Handbook (1990). Como agente controlador do processo (ACP) foi utilizado o composto orgânico ácido esteárico ($C1_8H_{36}O_2$), em proporção de 1% da massa total do pó no processo de moagem.

TABELA 1. Composição química liga AA8079.

Silício (Si)	Ferro (Fe)	Cobre (Cu)	Zinco (Zn)	Alumínio (Al)
0,3 %	1,3 %	0,05 %	0,1 %	98,25 %

Fonte: ASM Handbook (1990).

2.1 Processamento dos Pós

Para o processamento dos pós por Moagem de Alta Energia, foi utilizado um moinho vibratório de alta energia SPEX, comumente utilizados para investigação em laboratórios. Foram processadas quatro amostras para cada liga, em períodos de tempo de 30, 60 e 120 minutos a uma velocidade de rotação de 720 rpm. No Tabela 2 estão os parâmetros utilizados para o processamento dos pós.

Os pós processados por Moagem de Alta Energia foram compactados numa prensa manual com capacidade para 15 t/cm². Para todas as amostras o tempo de aplicação da carga utilizado foi de 10 minutos a uma pressão de 10 t/cm².

TABELA 2. Parâmetros das amostras para processamento do pó em gramas.

Amostra	Si	Fe	Cu	Zn	Al	Tempo (min)
AM01	0,06	0,26	0,01	0,02	19,65	30
AM02	0,06	0,26	0,01	0,02	19,65	60
AM03	0,06	0,26	0,01	0,02	19,65	120
AM04	0,06	0,26	0,01	0,02	19,65	120

Fonte: O Autor (2019).

2.2 Sinterização do compactado verde

Os compactados verdes foram sinterizados em uma atmosfera controlada de argônio para evitar a oxidação com uma temperatura de patamar de 500°C por um período de 5h e uma taxa de aquecimento de 20°C/min. Logo, o resfriamento ocorreu no próprio forno até atingir a temperatura ambiente. A Figura 1 ilustra o ciclo de sinterização das amostras. Foram sinterizadas três amostras: AM01, AM02, AM03.

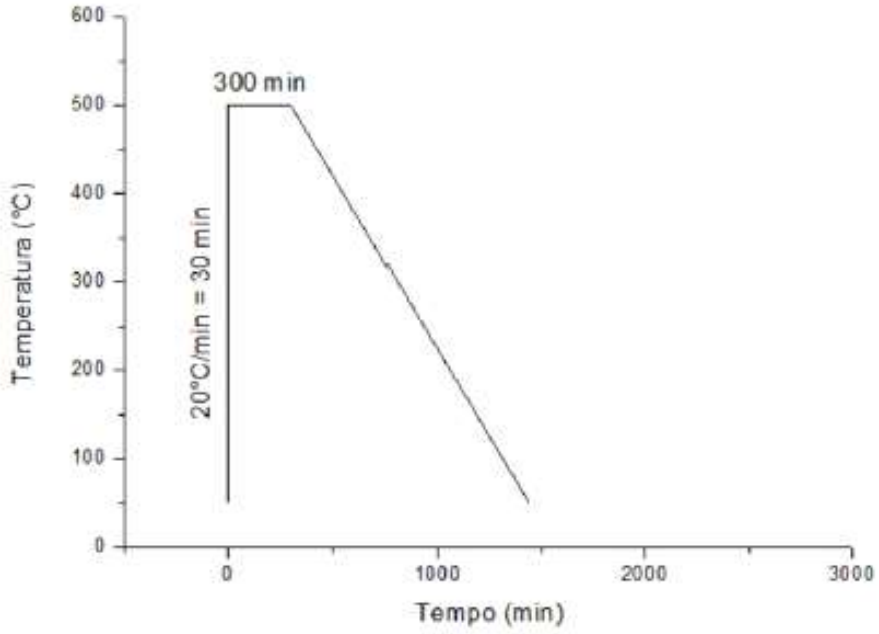


FIGURA 1. Ciclo de sinterização. Fonte: O Autor (2019).

2.3 Preparação Metalográfica

Inicialmente foi realizado o corte ao meio das amostras a serem sinterizadas por um disco de corte abrasivo. Após o corte da amostra, foi realizado seu embutimento com o uso de uma resina auto-polimerizante para permitir um bom manuseio.

Em seguida, foi feito o lixamento da vista das seções das amostras a fim de eliminar vestígios de rebarbas provenientes do corte por disco abrasivo. As lixas d'água utilizadas passaram pela sequência de Mesh de 220, 320, 400, 600 e 1200. O polimento foi feito manualmente numa politriz

com o uso de pasta de diamante de 1 µm e o ataque da superfície por ácido fluorídrico a 0,5% por 15s (COUTINHO, 1980).

2.4 Análise das Partículas de Pó

As análises da distribuição e tamanho das partículas de pó foram realizadas por via úmida com a água como meio dispersante. A distribuição do tamanho de partícula é dada em termos de um gráfico de distribuição de frequência em proporção de volume numa faixa de 0,01 a 3000 µm.

A difração de Raios-X foi realizada para caracterização microestrutural das amostras de pó processadas por Moagem de Alta Energia. Através desta técnica identificamos as fases presentes nos pós. A análise foi realizada em um difratômetro de Raios-X do tipo SHIMADZU, modelo XRD-7000, com radiação de Cu-Kα, comprimento de onda λ = 1,5406 Å, tensão de 40KV, corrente de 30mA, faixa de medição (2θ) de 5° a 120°, velocidade de medição de 1°/min e passo de 0,02°, pertencente ao Laboratório de Materiais Compósitos e Integridade Estrutural (COMPOLAB) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE.

2.5 Micrografia e Dureza

Nas análises por MEV visualizamos o formato das partículas dos pós, a distribuição das partículas nos diversos tempos de MAE e as microestruturas das amostras sinterizadas. As análises químicas por EDS das amostras de pó sinterizadas, foram analisadas por um equipamento acoplado ao MEV. O ensaio do MEV foi realizado nas vistas superficial (S) e transversal (T) das amostras sinterizadas. A análise por microscopia ótica foi realizada com um microscópio ótico da marca Zeiss, com câmera de vídeo acoplada AxloCam MRC5 e aumentos de 50x a 1000x. As imagens de MO das amostras foram realizadas em aproximação de 100x, 200x e 500x. Para a microdureza, foi aplicada uma carga de 300g, com um tempo de indentação de 15s em cinco pontos aleatórios distribuídos de uma borda a outra das amostras com velocidade de aproximação entre 1,2 a 25 mm/s e também realizado nas vistas superficial (S) e transversal (T) das amostras sinterizadas.

3. RESULTADOS

Pela observação das imagens do MEV e a análise química do EDS, as morfologias das partículas dos pós de partida possuem formas irregulares ou arredondadas e não foram encontradas impurezas

na composição dos pós. A Figura 2 apresenta as imagens dos pós utilizados na fabricação das ligas pela Microscopia eletrônica de Varredura.

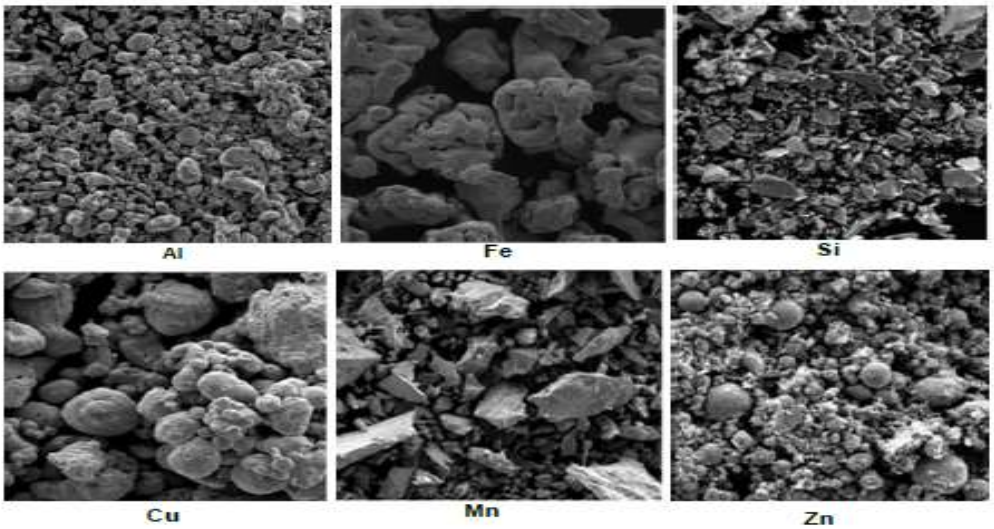


FIGURA 2. Ciclo de sinterização. Fonte: O Autor (2019).

A Figura 3 apresenta os difratogramas da liga AA8079 com os tempos de moagem de 30, 60, 120 minutos das amostras sinterizadas (AM01, AM02, AM03 e AM04) com as suas fases. Não houve praticamente nenhum deslocamento dos picos nas amostras

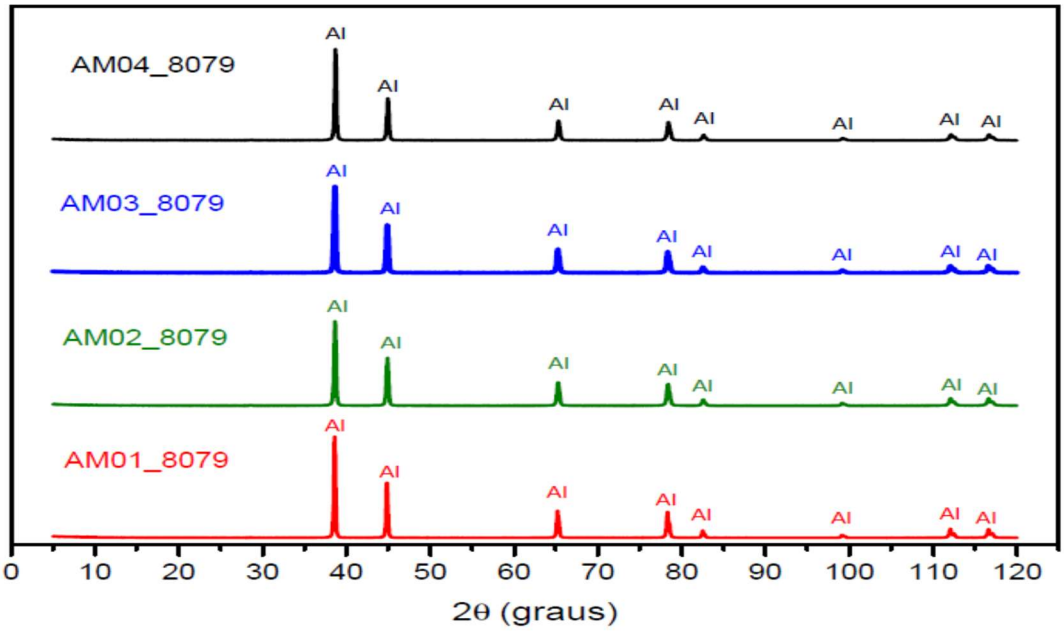


FIGURA 3. DRX da Liga AA8079 com tempos de moagem de 30, 60, 120 min. Fonte: O Autor (2019).

Cunguang *et al.* (2015), ao estudar os efeitos do tamanho do pó de alumínio e microestrutura em compósitos de alumínio reforçado com nitrato de boro, observou que durante o processo de moagem a maior energia produzida a partir da colisão constante entre as partículas e as esferas de aço causaram deformação plástica nas partículas de pó. Esse efeito também foi verificado nos pós das ligas estudadas a partir da observação das micrografias que nos mostra pós deformados, obtidos através do MEV na Figura 4, formas irregulares e dimensões menores a cada tempo de moagem devido às maiores fraturas ocorridas. Seguindo da identificação dos elementos presentes nas amostras do pó apresentados os EDS apresentado nas Figuras 5 a 7.

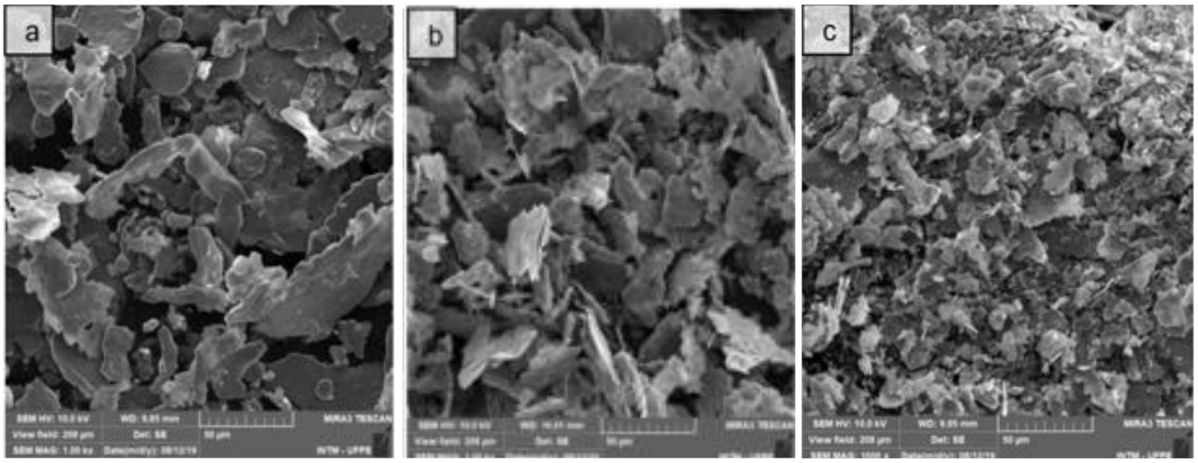


FIGURA 4. MEV partículas de pó com aumento de 1.00 kx de (a) AM01 (b) AM02 e (c) AM03. Fonte: O Autor (2019).

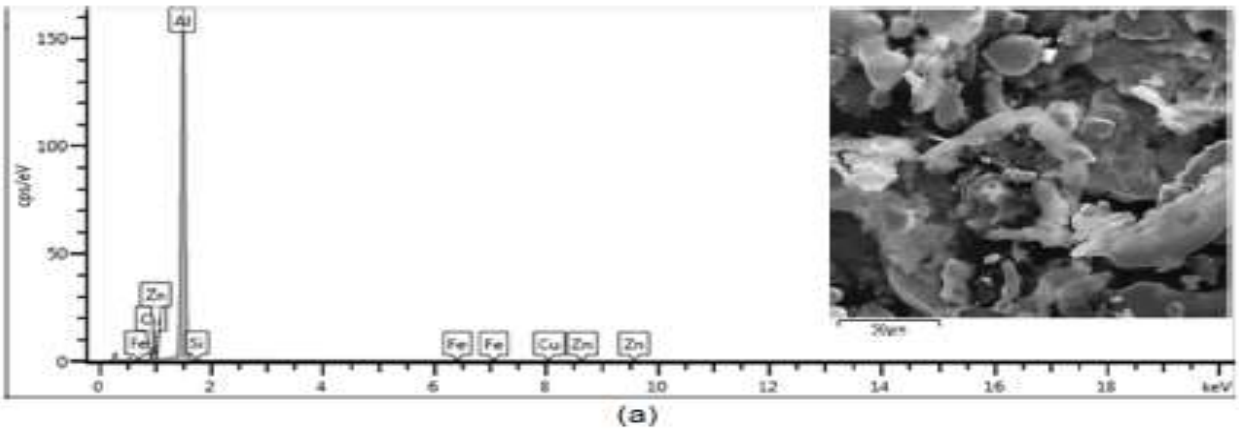
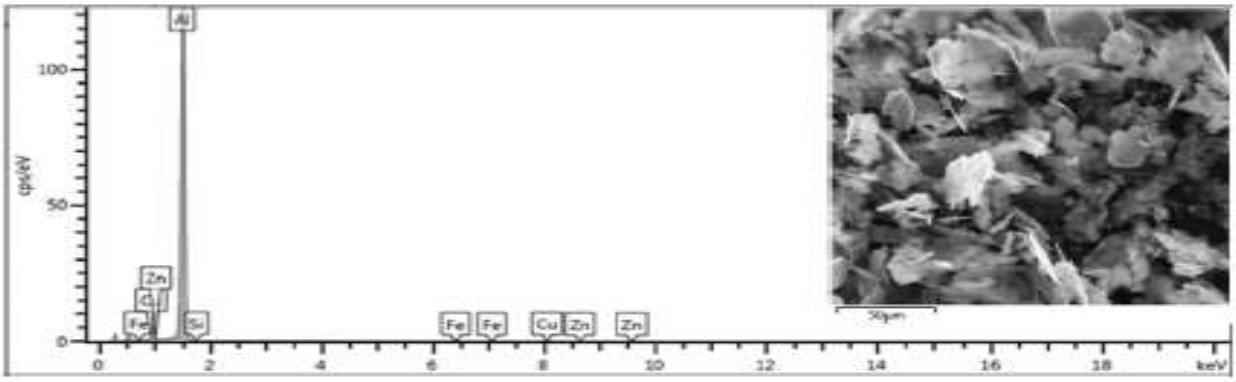
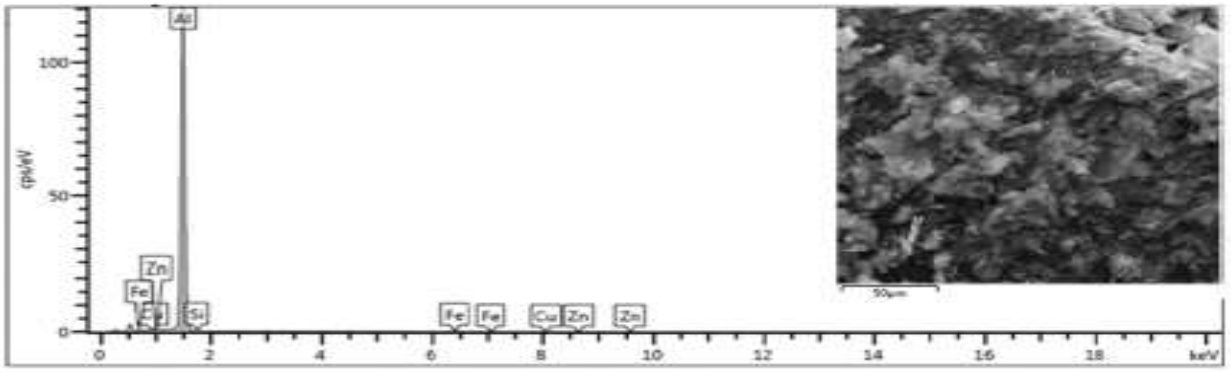


FIGURA 5. EDS liga AA8079 (AM01). Fonte: O Autor (2019).



(b)

FIGURA 6. EDS liga AA8079 (AM02). Fonte: O Autor (2019).



(c)

FIGURA 7. EDS liga AA8079 (AM03). Fonte: O Autor (2019).

Pela observação da curva de distribuição de frequência, foi identificada uma distribuição unimodal, característica que indica que os pós podem ser utilizados para a Metalurgia do Pó. Também se observa que há um deslocamento para a esquerda o que mostra a diminuição de diâmetro da partícula dos pós que decresce a cada aumento do tempo de moagem, como pode ser confirmado pelos valores de diâmetro mediano - D50, apresentado no Tabela 3. Essa diminuição do tamanho mediano das partículas, indica que estas ficam cada vez mais finas, demostrando que o tempo de moagem influencia no processo.

TABELA 3. Distribuição das partículas de pó.

Amostra	Tempo de moagem	D10 (µm)	D50 (µm)	D90 (µm)
AM01	30 min	21,821	63,681	140,852
AM02	60 min	12,238	35,771	85,595
AM03 AM04	120 min	5,851	19,081	44,886

Fonte: O Autor (2019).

A Figura 6 apresenta os resultados da MO nas amostras das ligas de alumínio AA8079 em suas seções superficiais e transversais nos tempos de moagem de 30, 60 e 120 minutos com aumento de 200x. Observando as imagens, a morfologia de ambas as ligas se apresenta deformadas e com contornos de grão não definidos. As alterações na estrutura dos grãos ocorrem pelas sucessivas soldagens e fraturas da MAE. À medida que o tempo de moagem aumenta, percebe-se nas seções transversais, o surgimento de lamelas perpendiculares à direção da compactação e também a presença de porosidade.

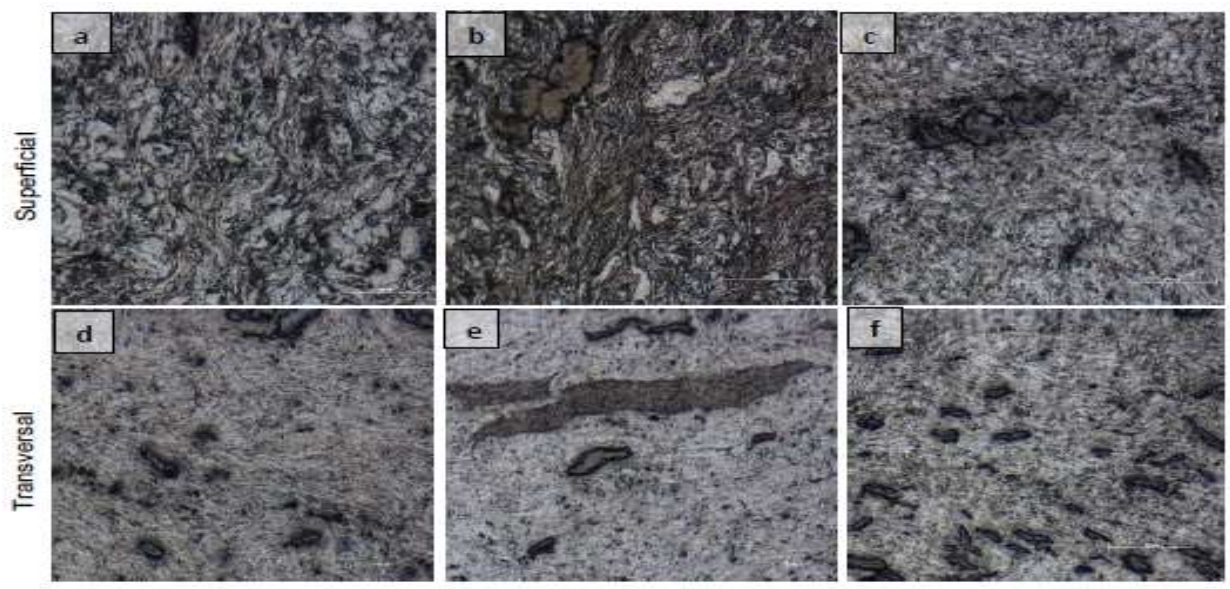


FIGURA 6. MO liga AA8079 com aumento de 200x (a) e (b) AM01 (c) e (d) AM02 (e) e (f) AM03.
Fonte: O Autor (2019).

A Figura 7 apresenta os resultados da MEV das amostras em suas seções superficiais e transversais nos tempos de moagem de 30, 60 e 120 minutos e aumento de 2.00kx. A Figura 8

apresenta MEV e EDS em cuja análise não apareceram elementos que não pertenciam as ligas confirmando que os pós não sofreram contaminação. Apenas apresentando precipitados de AlFeSi e AlSi, com a coloração mais clara para o precipitado ternário e mais opaca para o precipitado binário.

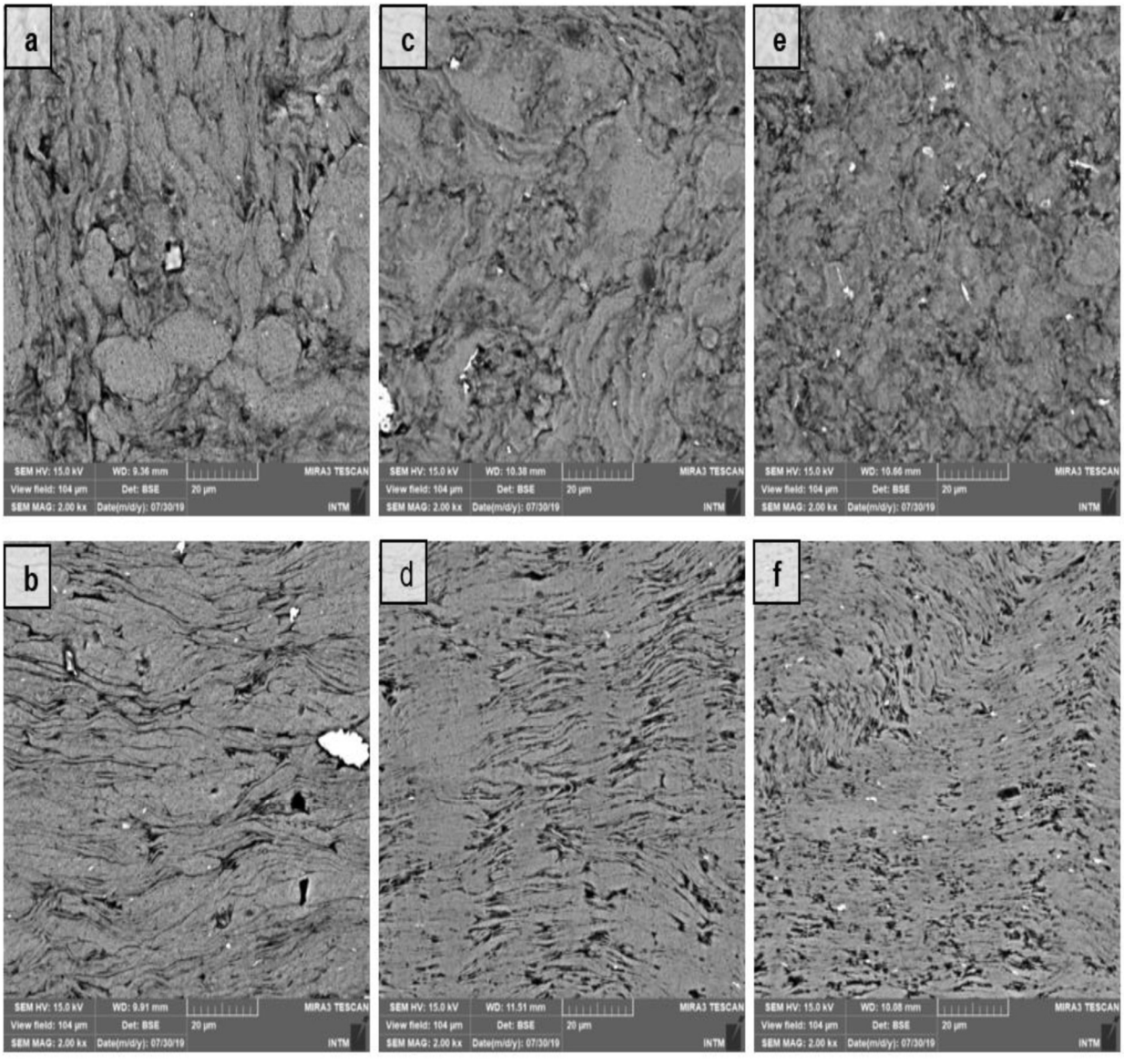


FIGURA 7. MEV com aumento de 2.00 kx (a) e (b) AM01 (c) e (d) AM02 (e) e (f) AM03. Fonte: O Autor (2019).

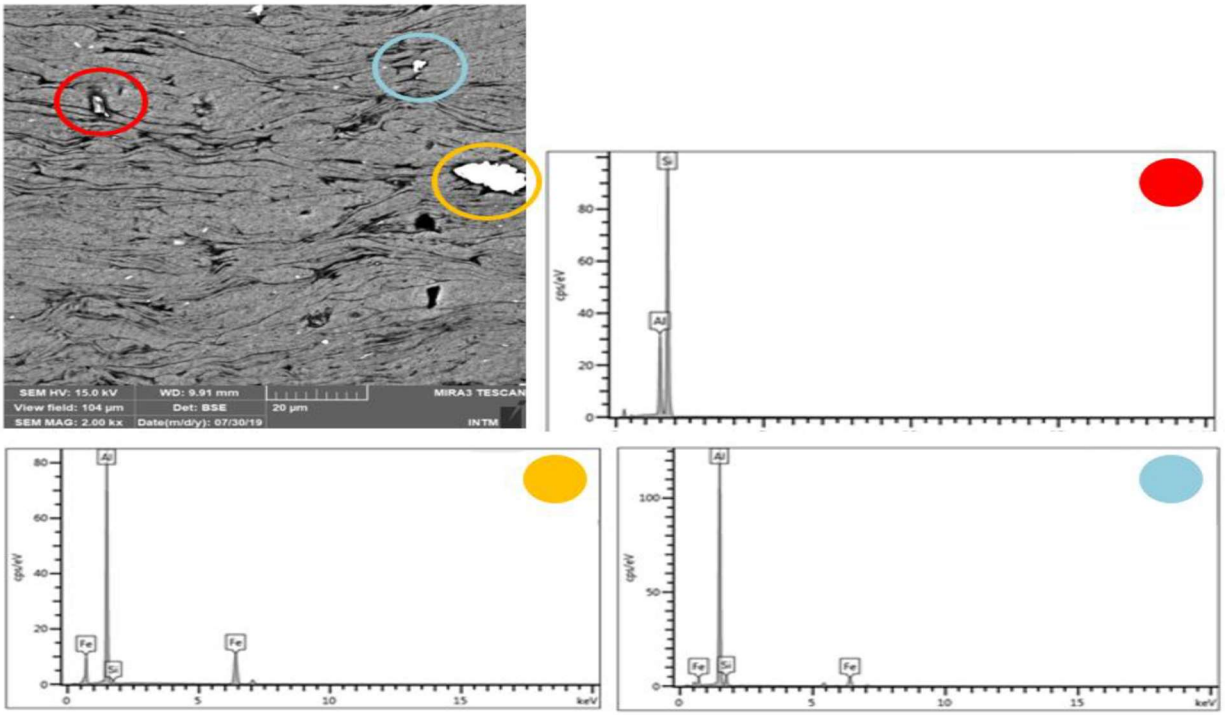


FIGURA 8. MEV e EDS dos precipitados. Fonte: O Autor (2019).

Os valores de dureza houve um aumento de 39,53% entre os tempos de moagem inicial (30 min) e final (120 min) para a seção superficial. Para a seção transversal, esse percentual de aumento foi de 53,53%. Apresentado na Tabela 4.

TABELA 4. Médias e desvios padrões dos valores de microdureza Vickers das amostras, cortes Superficial (S) e Transversal (T).

Amostra	AM01_S	AM02_S	AM03_S	AM01_T	AM02_T	AM03_T
Média (HV)	33,64	55,38	55,68	43,16	66,88	92,88
Desvio Padrão	7,91	5,95	6,53	7,78	5,75	15,31

Fonte: O Autor (2019).

4. CONCLUSÕES

Os achados experimentais sobre o desenvolvimento apresentaram a morfologia dos pós elementares com formas irregulares ou arredondadas. Através do ensaio de granulometria, verificou-se a diminuição do tamanho das partículas dos pós à medida que o tempo de moagem aumenta. Observou-se nas imagens do MO e MEV das amostras sinterizadas, uma estrutura mais deformada à medida que o tempo de moagem aumenta de 30min para 120min. Nas imagens das seções transversais fica evidenciado a formação de lamelas perpendiculares a direção da compactação. Pela análise dos EDS, foram identificados os precipitados ternário (AlFeSi) e binário (AlSi). A análise das imagens do MO e principalmente do MEV das amostras sinterizadas verificou-se porosidade das amostras. E houve um ganho de dureza efetivo na amostra com tempo de moagem de 120 minutos.

REFERÊNCIAS

ASM Handbook. Properties and Selection: Non Ferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Vol 2, 1990

BARBOSA, CÁSSIO. Metais não Ferrosos e suas Ligas: Microestrutura, Propriedades e Aplicações. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda, 2014.

COUTINHO, TELMO DE AZEVEDO. Metalografia de Não-Ferrosos. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1980.

CUNGUANG CHEN; LEICHEN GUO; JI LUO; JUNJIE HAO; ZHIMENG GUO; VOLINSK, ALEX A. Aluminum powder size and microstructure effects on properties of boron nitride reinforced aluminum matrix composites fabricated by semi-solid powder metallurgy. Materials Science & Enginnering A, 646, pp. 306–314, 2015.

MEIGNAMOORTHY, M.; RAVICHANDRAW, A. Synthesis, properties and microstructure of sintered and hot extruded boron carbide reinforced AA8079 (Al-Cu-Fe-Si-Zn) matrix composites. Materials Research Express, 2018.

MEIGNAMOORTHY, M.; RAVICHANDRAW, A.; ELMARIUNG, A. Effect of Sintering Temperature on the Microstructure and Forming Behavior of AA8079 (Al-Cu-Fe-Si-Zn). Advances in Manufacturing Technology, pp. 607 – 613, 2019.

SHACKELFORD, JAMES F. Ciência dos Materiais. 6° edição, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.