

Fabricação e caracterização de compósito de matriz de alumínio AA7075 com reforço particulado de carbeto de titânio por técnicas de metalurgia do pó e moagem de alta energia

Ednaldo Evangelista de Lacerda Júnior, ednaldo.lacerda.jr@gmail.com ¹

Everthon Rodrigues de Araujo, rodrigues.everthon@gmail.com ²

Elinaldo Neves dos Santos, elinaldoneves@hotmail.com ³

Oscar Olimpio Araujo Filho, oscarof98@hotmail.com ⁴

Severino Leopoldino Urtiga Filho, severino.urtiga@gmail.com ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Universidade Federal de Pernambuco, Av. da Arquitetura, s/n CEP: 50.740-550 Recife-PE, Brasil

Resumo: Os compósitos de matriz de alumínio são muito utilizados, principalmente nos equipamentos da área de transporte por ter uma excelente relação de resistência mecânica e peso. Assim neste trabalho foram fabricados compósitos de Al-%TiC pela metalurgia do pó utilizando a moagem de alta energia (MAE) para moer e misturar a matriz e o reforço particulado. Os pós do compósito foram processados em um moinho vibratório do tipo SPEX durante 30, 60 e 120 minutos e a proporção de 5, 10 e 15% da fração mássica do reforço de carbeto de titânio a matriz de alumínio da liga AA7075, acrescido com o Ácido Estéarico (como agente controlador de processo). Em seguida, os pós foram compactados uniaxialmente a frio em matriz com compressão pelo topo e sinterizado em forno tipo mufla para obtenção de peças consolidadas. Durante esta fabricação, foram caracterizados as matérias primas e os pós do compósito metálico através das técnicas de MEV, EDS e DRX, bem como as amostras sinterizadas pelas técnicas de MO, MEV, EDS, Densidade e Microdureza (HV). Pelos resultados obtidos ficou evidenciado que o aumento da dureza por influência do processo de MAE e pelo incremento do reforço particulado (TiC) na matriz de alumínio (AA7075) chegando ao valor de 173,00 +/- 6,58 HV.

Palavras-chave: Compósito de matriz metálica AA7075-TiC. Metalurgia do pó. Moagem de alta energia.

1. INTRODUÇÃO

As ligas de alumínio, principalmente as do sistema Al-Zn-Mg-Cu, têm sido extensivamente usadas como material estrutural nas indústrias: aeronáutica, automotiva, bélica, informática e robótica, devido as suas propriedades como baixa densidade, alta resistência, boa ductilidade e tenacidade e alta resistência à fadiga.

Muitas aplicações na área de transporte exigem materiais com combinações de propriedades que não são encontradas em materiais poliméricos, cerâmicos e metálicos. Os compósitos são produzidos por combinação de materiais com diferentes características físico-químicas e mecânicas e pela utilização de diferentes processos de manufatura. Assim os componentes são classificados em dois tipos: matriz e reforço. A matriz dos compósitos preenche os espaços vazios que ficam entre as partículas de reforço e mantendo-os em suas posições relativas, transmitindo os esforços mecânicos aos reforços e contribuindo com um pouco da ductilidade para o compósito. Os materiais de reforço são os que realçam propriedades mecânicas, eletromagnéticas ou químicas do material compósito como um todo, e são os elementos que suportam os esforços no compósito, são em geral de elevadas resistência e rigidez.

A técnica metalurgia do pó possibilita a fabricação de peças metálicas pequenas e de geometria complexa. O processo tem início com um pó metálico muito fino. Esse pó é colocado em um molde e depois prensado, onde é compactado até adquirir uma forma definitiva chamada de compactado verde; sendo submetido à sinterização, em forno apropriado. Um das características da metalurgia do pó reside no fato de que a sinterização é realizada na ausência de fase líquida, ou pelo menos, na presença parcial de fase líquida, redundando em economia de energia e consequentemente em redução de custos por peças produzidas. Este processo confere três vantagens básicas: o custo de produção menor para grandes quantidades de peças, a obtenção de materiais e ligas fora do equilíbrio, à elaboração de componentes novos com melhores propriedades e com menos desperdício.

Assim, a contribuição tecnológica da presente dissertação consiste em produzir compósitos de matriz metálica de alumínio AA7075 com particulado de Carbeto de Titânio (TiC), através da compactação a frio e sinterização após

moagem e mistura com um moinho de alta energia. A contribuição científica foi determinada pela influência dos parâmetros de moagem e do particulado, sobre as características dos pós produzidos e seus efeitos sobre as propriedades do material sinterizado.

2. PRODIMENTO EXPERIMENTAL

Os procedimentos realizados tem como foco: moagem de alta energia dos pós (MAE), variando o tempo; compactação e sinterização e caracterização dos pós moídos e misturados através da MAE e das amostras sinterizadas. Fig. 1 ilustra o procedimento experimental do compósito do estudo (Al-%TiC).

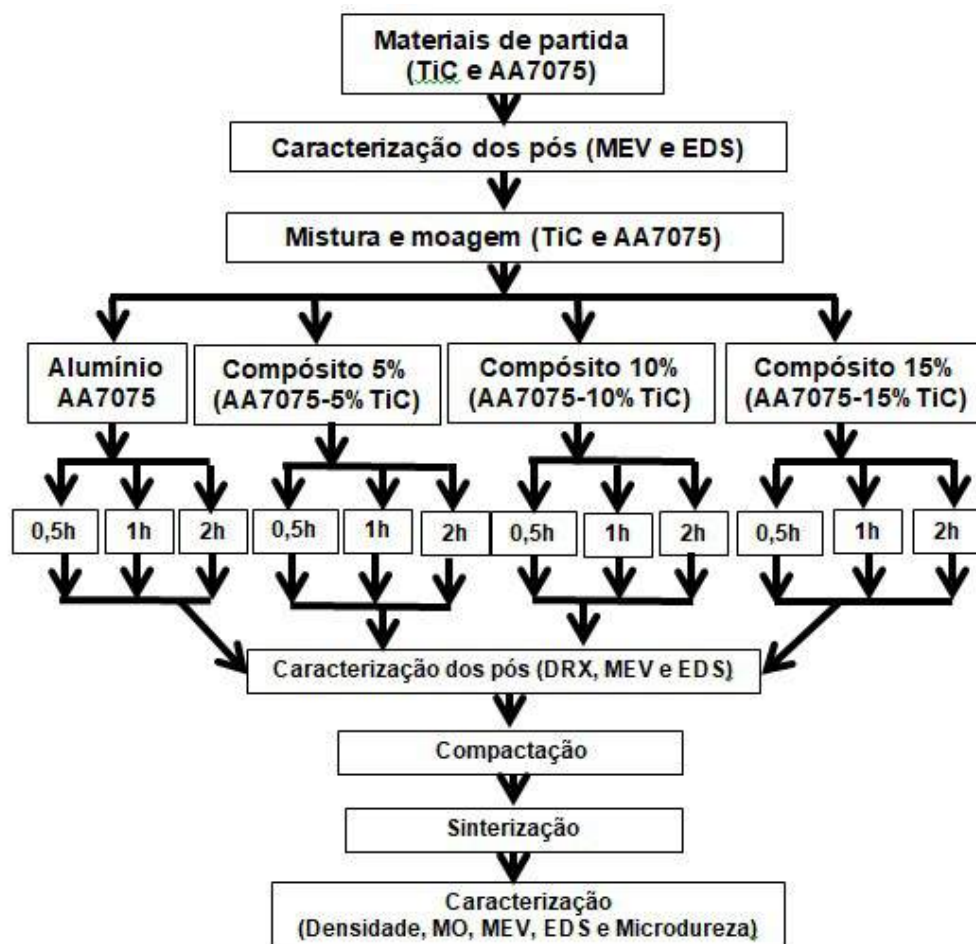


Figura 1: Fluxograma do processo.

A moagem de pós do alumínio AA7075 e do carbeto de titânio em moinho de alta energia visa à síntese de pó para os compósitos (através da mistura, da homogenização e da incorporação do reforço cerâmico na matriz metálica). Os pós do compósito foram colocados em uma jarra com corpos de moagem (esferas com 5 mm de diâmetro) fabricados em aço inox 304 L, com BRP de 7:1. Os tempos de moagem foram de 30, 60 e 120 min para cada concentração de reforço 5, 10 e 15% de carbeto de titânio de massa de mistura para formação do compósito de matriz metálica, alumínio (AA7075).

Após a moagem de alta energia, os pós foram compactados uniaxialmente a frio em matrizes metálicas de aço 304L para fabricação de amostras de ambos os compósitos de matriz metálica com reforço particulado (AA7075 + TiC) e também, amostras da liga de alumínio sem reforço, com a pressão de compactação de 16 MPa.

Em seguida, as amostras foram sinterizadas a 500°C durante 5 horas, com uma rampa de aquecimento de 20 °C/min e resfriado calmamente dentro do forno até retornar a temperatura ambiente.

A caracterização das amostras foram realizadas nas forma de pós e de peças sinterizadas. Nos pós processados foi iniciado com microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia por energia dispersiva de raios X (EDS), objetivando verificar alterações microestruturais de forma e composição química de forma qualitativa. Finalizando a caracterização pela análise por difração de raio X (DRX) objetivando verificar os elementos presentes nas amostras de pós das matérias primas e dos compósitos após a moagem de alta energia. Além disto, a caracterização do material sinterizado foi realizado através da determinação da densidade; da análise da microestrutura por microscopia ótica (MO); da análise da microestrutura por microscopia eletrônica de varredura (MEV); da análise qualitativa da composição química espectroscopia por energia dispersiva de raios X (EDS) e do ensaio de dureza Vickers.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Durante o processo de moagem de alta energia, os pós são submetidos a colisão de alta energia, o que provoca a deformação plástica através de soldagem a frio, fratura e ressolda das partículas dos pós. Na Fig. 2 mostra a micrografia da evolução das partículas da matriz de AA7075 ao longo do tempo de processamento, conforme os respectivos intervalos crescentes de 0, 30, 60 e 120 minutos de moagem de alta energia (SPEX) obtida por microscopia eletrônica de varredura com ampliação de 500 vezes.

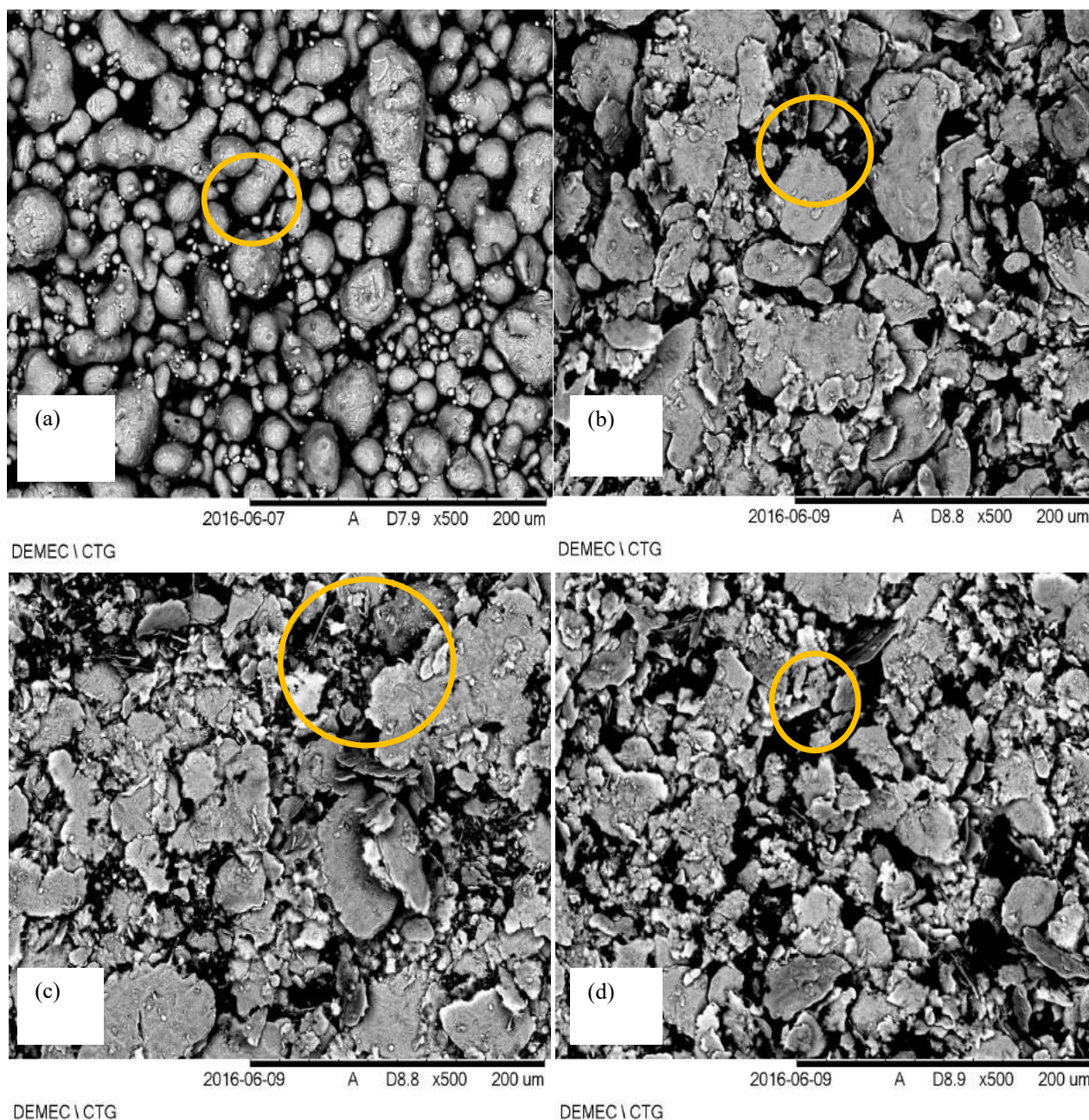


Figura 2. Evolução morfológica dos pós de alumínio AA7075 submetidos à MAE de processamento nos tempos: 0 min (a), 30 min (b), 60 min (c) e 120 min (d).

Na Fig. 2 pode se observar a mudança das partículas de circular, Fig. 2(a); para partículas achatadas, Fig. 2(b), depois escamas; Fig. 2(c), e por último escamas finas e pequenas, Fig. 2(d). Este resultado, relativo ao alumínio AA7075, já era esperado pelo princípio de funcionamento do moinho de alta energia no qual foi processado, tornando esses registros como base de comparação do compósito de matriz metálica que foi estudado.

A Fig. 3 mostra nas micrografias a evolução das partículas da matriz do compósito de matriz metálica Al-%TiC ao longo do tempo de processamento de 120 minutos conforme os respectivos intervalos de acréscimo do reforço (TiC) crescentes de 0%, 5%, 10% e 15% obtida por microscopia eletrônica de varredura com ampliação de 1.000 vezes.

Observa-se a homogeneização de partículas pequenas distribuídas sobre as escamas da matriz AA7075, de menor tamanho, devido a adição do reforço particulado de carbeto de titânio que aumentou o contato e melhorou as condições para sinterização.

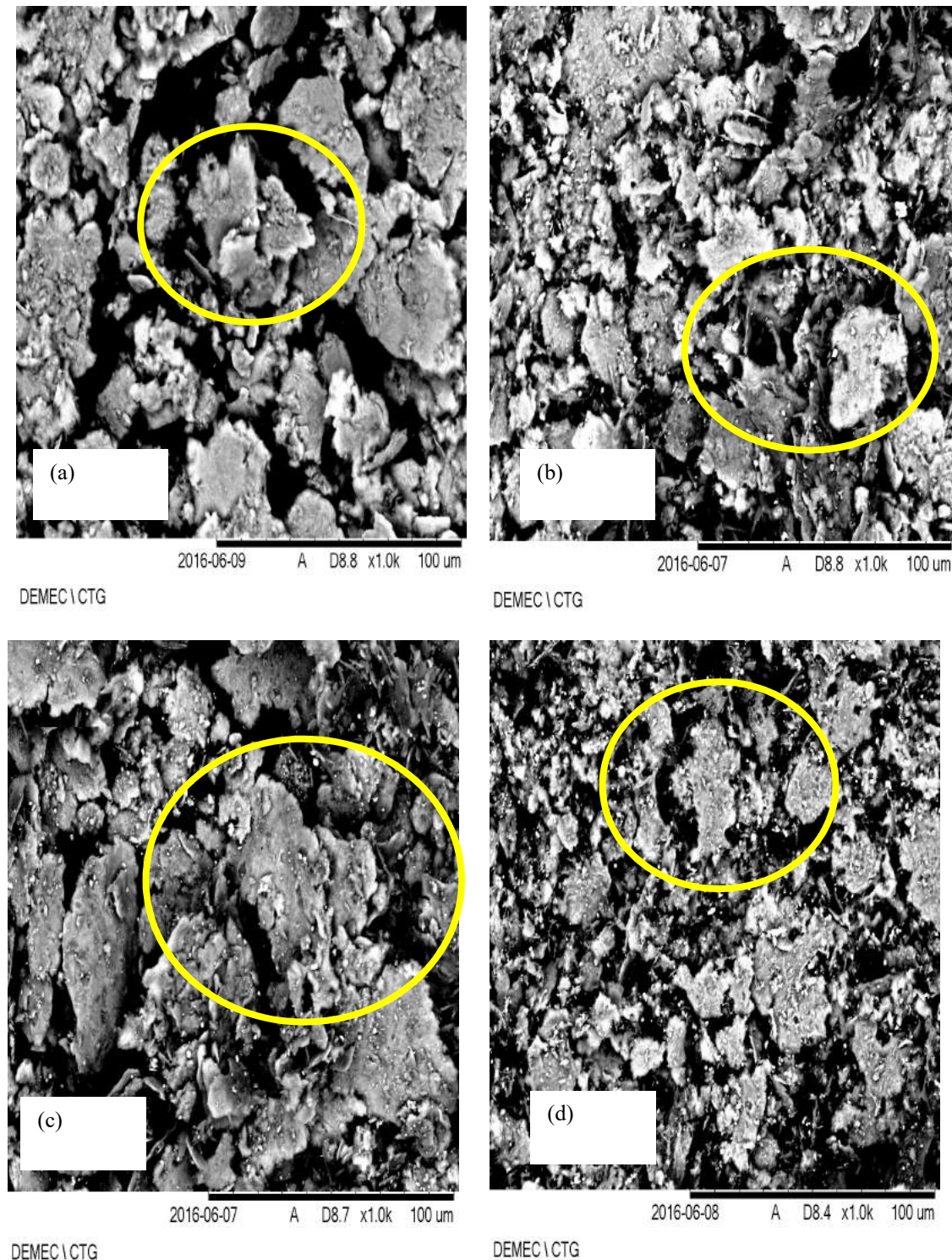


Figura 3. Evolução morfológica do pó CMM reforçado com TiC nas frações em massa de 0% (a), 5% (b), 10% (c) e 15% (d) submetido a MAE de processamento durante 120 minutos.

A análise por EDS mostra, na Fig. 4 do compósito de matriz metálica Al-15%TiC processado no moinho de alta energia (SPEX) por 120 minutos, uma partícula do reforço de TiC na forma dos elementos de sua constituição de titânio e carbono, além dos elementos que compõem esta liga de base quaternária Al-Zn-Mg-Cu. Neste ponto de análise da amostra, o carbono apresenta dificuldade de identificação, mesmo em quantidade atômica equivalente no carbeto de titânio, por ter baixo número atômico resultando em baixa emissividade ($Z=6$) e, por consequência, ter menores emissões de fluorescência de raios-X por ionização, além da baixa eficiência em captar estes raios gerados durante o

experimento. Na Fig. 04a pode-se identificar uma partícula do reforço de carbeto de titânio que compõe o compósito de matriz metálica Al-15%TiC processado no moinho de alta energia (SPEX) por 120 minutos não incorporado.

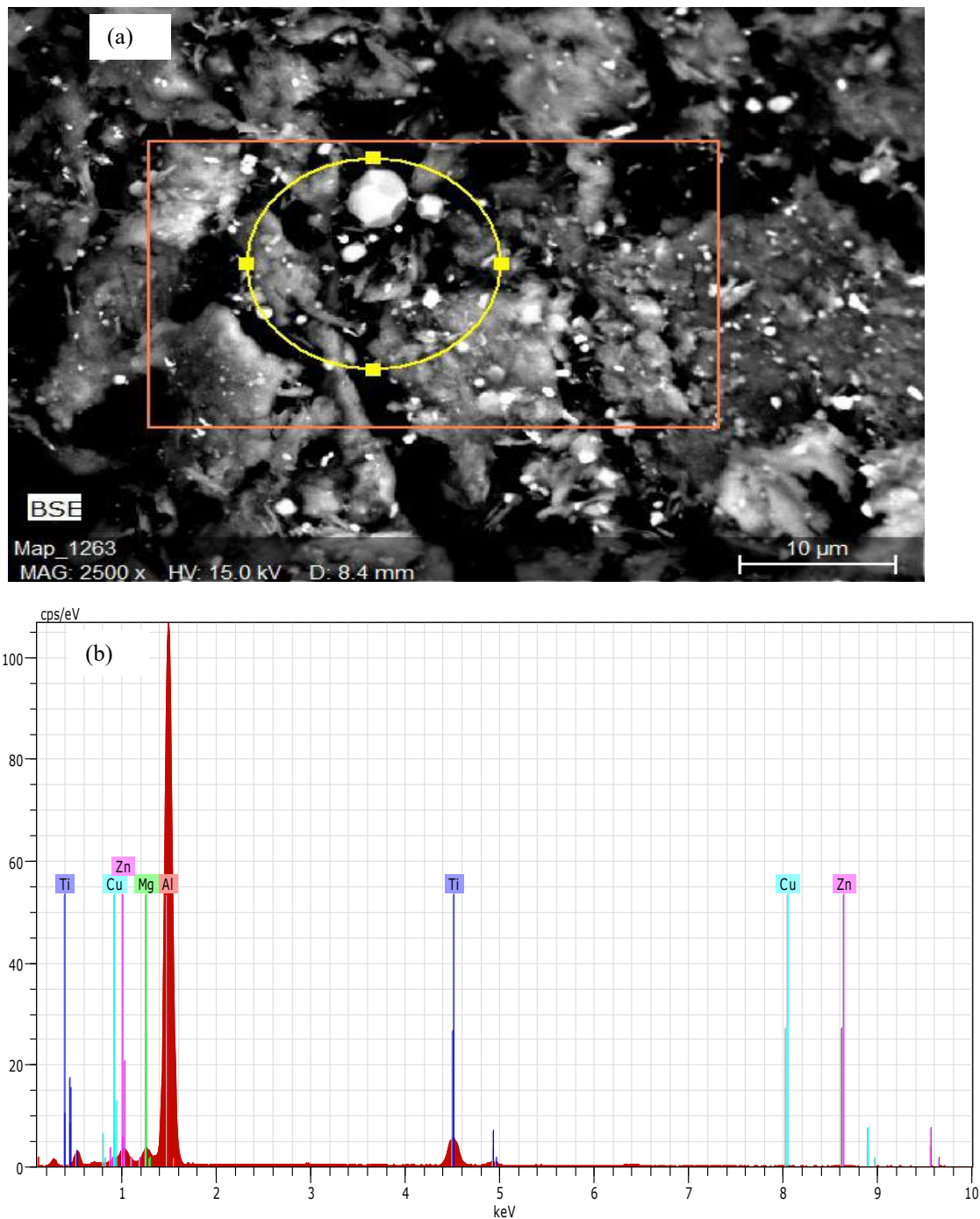


Figura 4. EDS de amostra em pó de Al-15%TiC com MAE de 120min (a). Espectros de Al, Ti, Zn, Mg e Cu (b).

Na Fig. 5 foi colocado sobre o mesmo eixo de abscissas 2θ o material da matriz (alumínio AA7075), o reforço (TiC) e os compósitos de matriz metálica processados com 30 minutos no moinho SPEX na sequência de 5, 10 e 15% do reforço. Dessa forma, pode se observar que, apesar das mudanças na intensidade dos picos, os compósitos apresentaram os mesmos valores de ângulo de difração (2θ) da matriz em alumínio (AA7075) acrescidos aos do reforço de carbeto de titânio.

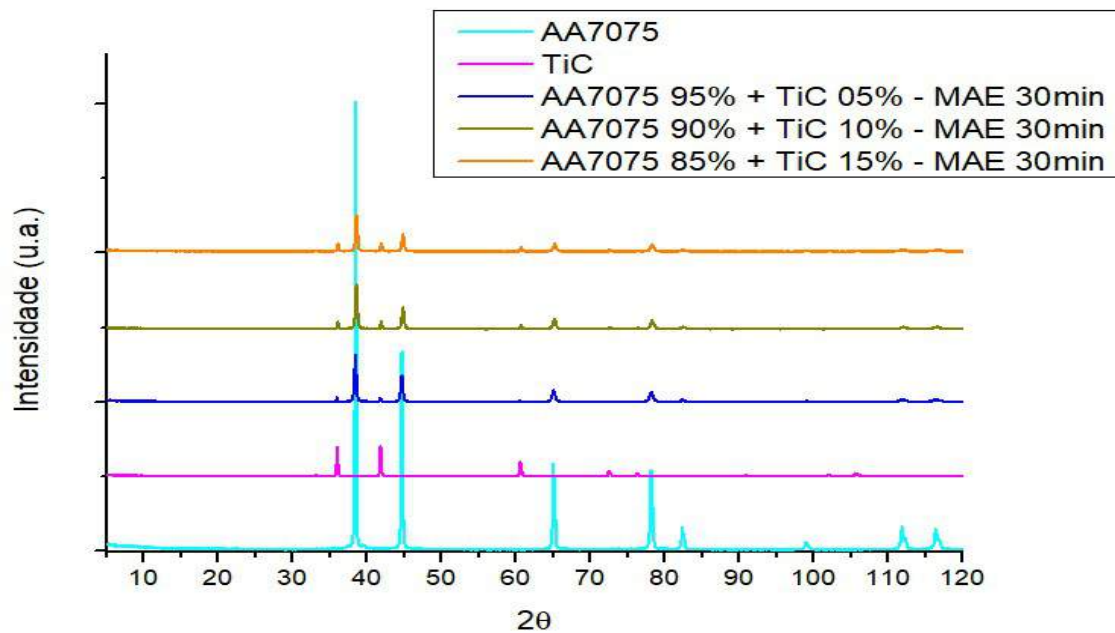


Figura 5. Difratomogramas comparando o AA7075, o reforço de TiC com os CMM processado por 30 min com particulado 5%, 10% e 15% de carbeto de titânio.

A densidade aparente é utilizada para medir a relação de massa aparente pelo volume deslocado de líquido, ou seja, considerando os grãos utilizados na formação da amostra da metalurgia do pó e os vazios entre eles, sendo usado o método de Arquimedes. Todas as amostras apresentaram densidade em torno de 89% a 95% da densidade teórica de cada amostra, proporcional a massa do alumínio AA7075 ($2,81 \text{ g/cm}^3$) e do carbeto de titânio ($4,95 \text{ g/cm}^3$) utilizado em sua composição do compósito de matriz metálica, como na Fig. 6. Mesmo com todas as amostras sinterizadas, os valores de densidade obtidos não ultrapassaram 94,6%.

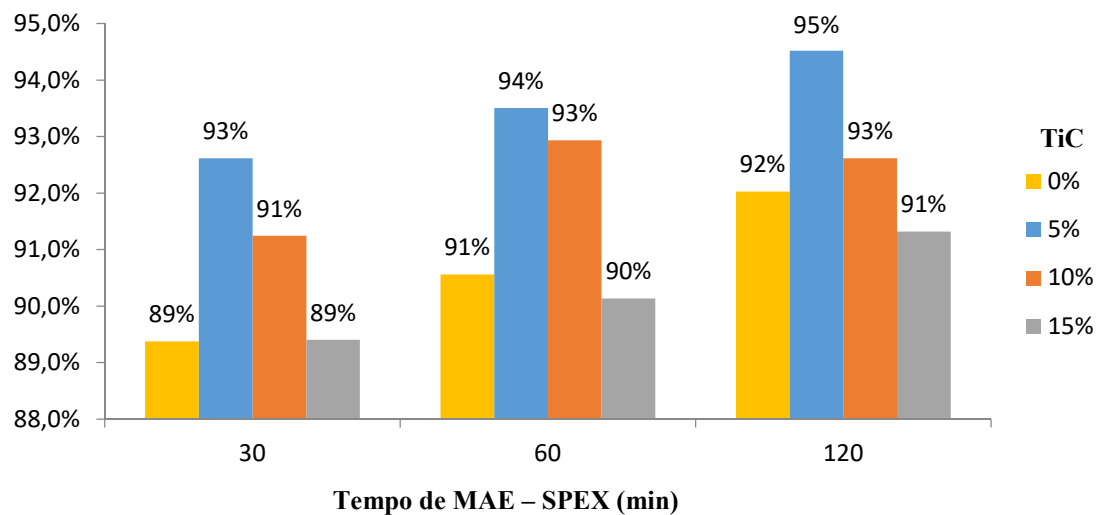


Figura 6. Evolução da densidade nas amostra sinterizada CMM reforçado com TiC fração em massa de 0, 5, 10 e 15% submetido à moagem de processamento durante 30 min, 60 min e 120 min.

O compósito de matriz metálica com reforço de partícula de TiC (Al-5%TiC) processado MAE-SPEX por 120 minutos obteve o melhor resultado da densidade, com 94,6% da densidade teórica. Como o mecanismo de sinterização de pós metálicos é chamado de empescoamento a partir dos pontos de contatos entre as partículas mais próximas, pelo mecanismo da difusão a partir dos pontos de contato entre as partículas aumentando a difusão de forma mais eficiente, ocasionando uma maior densidade.

Na Fig. 7, vemos a influência nos valores do ensaio de dureza Vickers (HV) no compósito de matriz metálica com alumínio AA7075 em relação à adição de reforço particulado de carbeto de titânio, nas frações mássicas de 0%, 5%, 10% e 15%; bem como a moagem de alta energia com moinho do tipo SPEX nos tempos de processamento de 30, 60 e 120 minutos.

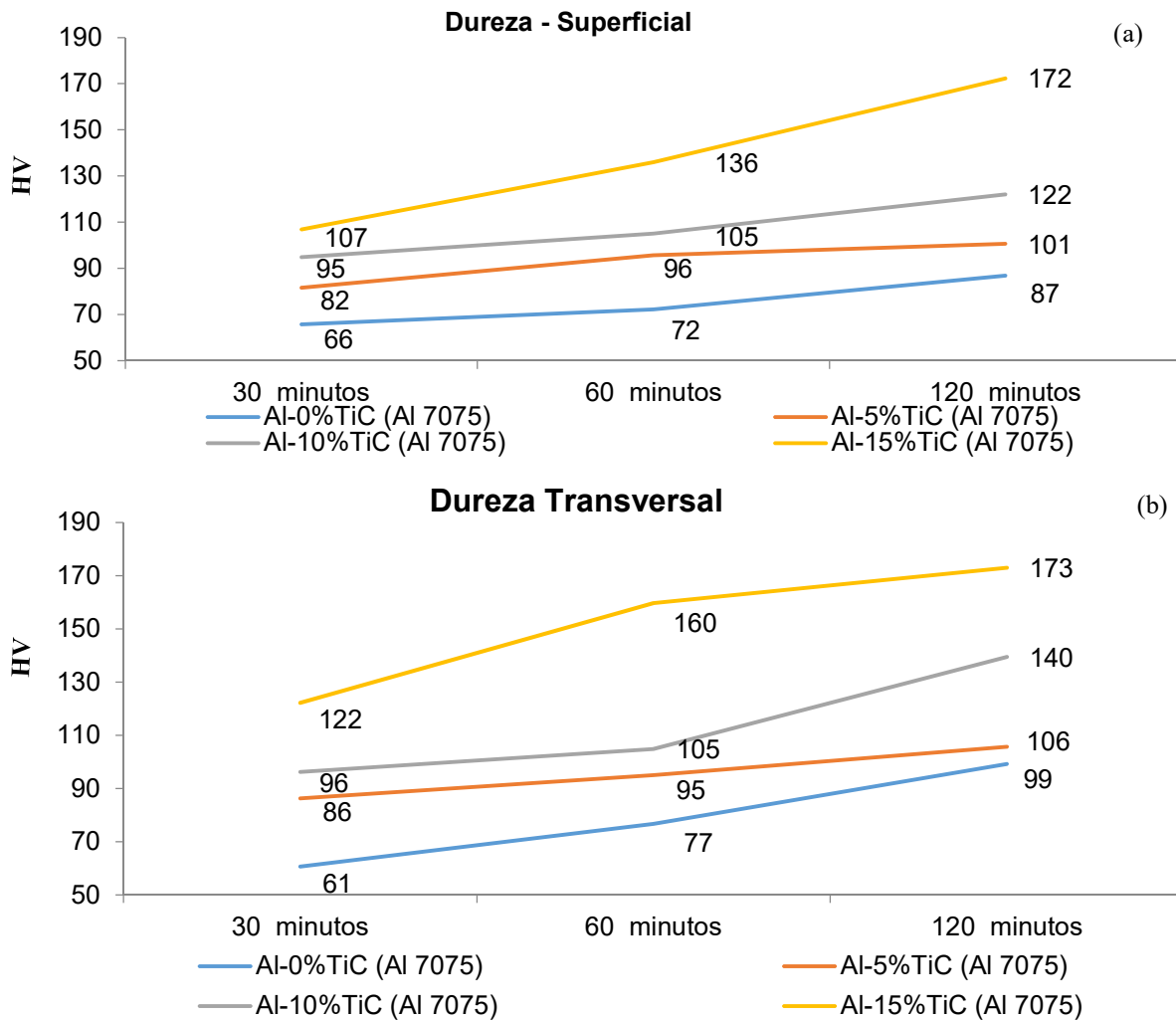


Figura 7. Comparativo da evolução de microdureza em dureza Vickers (HV) nas amostras sinterizadas CMM reforçado com TiC frações em massa de 0, 5, 10 e 15% submetido à MAE de processamento durante 30 min, 60 min e 120min na face superficial (a) e na face transversal (b).

Os ensaios de dureza Vickers (HV) foram executados a fim de avaliar o efeito dos reforços de carbeto de Titânio (TiC) na liga de alumínio AA7075 e da moagem de alta energia no sentido de incorporar as partículas do reforço. Durante o ensaio de dureza foi realizado 4 endentações em cada superfície de todas as amostras e os resultados foram analisados como base nos critérios de Chauvenet, Dixon e Grubbs pelo software Analysis 1.0 e todos os pontos mostraram representatividade estatística (nenhum deles são outliers) (Oliveira, 2008).

4. CONCLUSÃO

Foi fabricado o compósito de matriz metálica (Al-%TiC) de alumínio AA7075 com adição de reforço de carbeto de titânio (TiC) pelo método da metalurgia do pó usando um moinho de alta energia do tipo SPEX, sendo avaliadas e caracterizadas todas as etapas de processamento; desde a pesagem dos componentes, da mistura em moinho de alta energia, da compactação uniaxial e da sinterização das amostras dos CMM, concluiu-se que:

- Na análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos pós apresentou mudança morfológica de escamas grandes para pequenas, com muitas partículas pequenas de alumínio e carbeto de titânio; demonstrando a influência do processo de moagem de alta energia na deformação plástica através de soldagem a frio, fratura e ressolda das partículas dos pós e junto com a adição do reforço de TiC, tornado mais homogêneo os compósitos de maior massa de reforço e maior duração da moagem de alta energia. Sendo visível o resultado desta distribuição pelos ensaios de MO e MEV das amostras sinterizadas.
- A análise de espectroscopia de raios-X por dispersão de energia (EDS) dos pós mostrou os componentes da liga de alumínio AA7075; alumínio, zinco, magnésio e cobre; acrescido com o titânio, demonstrando a

presença do reforço, mesmo não aparecendo o carbono na proporção do titânio por dificuldade do método ao analisar de baixo número atômico.

- Na análise de difração de raios-X dos pós de formação do compósito com picos do alumínio da matriz e do carbeto de titânio do reforço sem evidenciar contaminação.
- A densidade aparente das peças compactadas e sinterizadas respondeu bem ao processo de moagem de alta energia (como esperado), mas não teve a mesma resposta quanto à quantidade de reforço aplicado no compósito. Esta característica apresentou valores em torno de 89% a 94,6%.
- Por fim a dureza superficial mostrou aumento significativo em função da moagem de alta energia em moinho tipo SPEX e pelo aumento da quantidade de reforço colocado: dureza na face superficial de $172,3 \pm 26,6$ HV e dureza transversal de $173,0 \pm 10,4$ HV.

5. REFERÊNCIAS

- ASM International, 1993, “Aluminium and alloys”.. v 2.
- Ahmad, K. R.; Lee, W. J.; Zaki, R. M.; Mazlee, M. N.; Fitri, M. W. M.; Rizam, S. S.; Shusul, J. B., 2007, “The microstructure and properties of aluminium composite reinforced with 65 µm alumina particles via powder metallurgy”. ICoSM.
- Araújo, E. R. , 2011, “Fabricação e caracterização de compósito de matriz metálica da liga de alumínio AA6061 com reforço particulado de carboneto de silício e alumina através da técnica de metalurgia do pó”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE.
- ASTM International, 2011, “E-384 – 11e1. Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials”. United States of America.
- Barbosa, C., 2014, “Metais não ferrosos e suas ligas: microestrutura, propriedades e aplicações”. Ed. E-papers. Rio de Janeiro.
- Cruz, S.; Rey, P.; Cabeza M.; Merino P., 2013, “Efecto del tamaño de partícula em composites de matriz de alumínio 7075 reforzados com TiC processados por extrusion”. X Congresso Nacional de Materiales Compuestos, Algeciras, Espanha.
- Cruz, S.; Rey, P.; Román M.; Merino P. Influence of content and particle size on properties of TiC reinforced 7075 aluminum matrix composite. 15th. European Conference on Composite Materials, Venice, Italy, 2012.
- Oliveira, J. E. F., 2008, “A metrologia aplicada aos setores industriais e de serviços. Principais aspectos a serem compreendidos e praticados no ambiente organizacional”. Brasília – DF.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

Production and characterization of aluminum matrix composite (AA7075) with titanium carbide particulate reinforcement (TiC) by powder metallurgy and mechanical alloying

Ednaldo Evangelista de Lacerda Júnior, ednaldo.lacerda.jr@gmail.com ¹

Everthon Rodrigues de Araujo, rodrigues.everthon@gmail.com ²

Elinaldo Neves dos Santos, elinaldoneves@hotmail.com ³

Oscar Olimpio Araujo Filho, oscarof98@hotmail.com ⁴

Severino Leopoldino Urtiga Filho, severino.urtiga@gmail.com ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Universidade Federal de Pernambuco, Av. da Arquitetura, s/n CEP: 50.740-550 Recife-PE, Brasil

Abstract. *Aluminum matrix composites are widely used, especially in the transport area equipment because they have an excellent mechanical strength and weight ratio. Thus in this work, Al-TiC composites were produced by powder metallurgy using mechanical alloying (MA) to grind and mix the matrix and the particulate reinforcement. The composite powders were processed in a SPEX type vibrating mill for 30, 60 and 120 minutes and the proportion of 5, 10 and 15% of the titanium carbide reinforcement mass fraction to the aluminum matrix of the AA7075 alloy, plus Stearic Acid (as process controlling agent). After the powders were compacted uniaxially in cold in matrix with compression by the top and sintered in muffle furnace to obtain consolidated pieces. During this work the raw materials and the powders of the metallic composite were characterized by SEM, EDS and XRD techniques, as well as the samples sintered by OM, SEM, EDS, Density and Microhardness (HV). The results obtained the increase of the hardness by influence of the MA process and the increment of the particulate reinforcement (TiC) in the aluminium matrix (AA7075) reaching the value of 173,00 +/- 6,58 HV.*

Keywords: *Metal Matrix Composite AA7075-TiC. Powder Metallurgy. Mechanical alloying.*