

FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ METÁLICA DA LIGA DE ALUMÍNIO AA1100 COM REFORÇO CERÂMICO DE ÓXIDO DE ZINCO ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ*

André Emanuel Poroca Lins¹
Elinaldo Neves dos Santos²
Arimatea Pisom de Paiva Mesquita³
Edval Gonçalves de Araújo⁴
Lucas Sônego Feranades⁵
Oscar Olimpio de Araujo Filho⁶

Resumo

O objetivo principal desse trabalho é produzir compósitos de matriz de alumínio AA1100, reforçado com um material cerâmico, o óxido de zinco (ZnO), utilizando o processo de metalurgia do pó e técnica de moagem de alta energia, compactação uniaxial a frio e sinterização em atmosfera de nitrogênio (N₂). Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Difração de raios X (DRX) e difração a laser foram usadas para avaliar as características dos pós processados e dos compósitos sinterizados. Os pós processados foram compactados e sinterizados visando obter pastilhas dos compósitos para a caracterização mecânica via ensaios de microdureza. Validou-se a técnica de Metalurgia do Pó (MP) como uma técnica bem sucedida para a fabricação desses compósitos.

Palavras-chave: Compósitos de matriz metálica de ligas de alumínio; Óxido de zinco; Metalurgia do pó (MP); Propriedades mecânicas; Moagem de alta energia.

MANUFACTURING OF AA100 ALUMINUM ALLOY METAL MATRIX COMPOSITES REINFORCED BY ZINC OXIDE PROCESSED BY POWDER METALLURGY TECHNIQUES

Abstract

AA1100 aluminum metal matrix composites reinforced by zinc oxide were prepared by suitable powder metallurgy (PM) techniques of mechanical alloying, uniaxial compaction and sintering under nitrogen (N₂) atmosphere. The powders processed by mechanical alloying were characterized by SEM, XRD and Laser diffraction to evaluate the morphology of the powders, the structure and finally the particles sizes. The powders were cold compacted and sintered and then characterized. Powder metallurgy techniques were successfully used to produce these composites

Keywords: AA1100 aluminum alloy metal matrix composite; Zinc oxide; Mechanical properties; Mechanical alloying.

¹ Engenheiro Mecânico, MSc. Em Engenharia Mecânica pela UFPE, UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil.

² Licenciado em Matemática, Técnico do IFPE-Ipojuca, Ipojuca, Pernambuco, Brasil.

³ Engenheiro Mecatrônico, Professor do Futura Group, FG, Recife, Brasil.

⁴ Eng. Metalurgista, Doutor em Tecnologia Nuclear - Materiais IPEN - SP, Professor Adjunto I, Departamento de engenharia mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

⁵ Engenheiro Mecânico pela UFRGS, Engenheiro do Grupo Gerdau, Recife, Pernambuco, Brasil.

⁶ Engenheiro Mecânico, Doutor em Tecnologia Nuclear - Materiais IPEN - SP, Professor Adjunto I, Departamento de engenharia mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Nas indústrias modernas de produção, procura-se ao mesmo tempo aumentar a produtividade e melhorar a qualidade do produto, tudo isso com menores custos possíveis e isto conduz ao uso de materiais cada vez mais avançados. Nos tempos atuais se exige mais de toda tecnologia disponível, vários projetos de engenharia surgem todos os dias, os quais exigem desenvolvimento de novas ligas e materiais, para que estes suportem cargas e esforços os mais diversos, aliados ao baixo peso, com métodos de processamento compatíveis e competitivos em relação a processos e materiais convencionais; tais materiais possuir também propriedades mecânicas superiores, estabilidade estrutural, resistências térmica e ao desgaste; além de otimizados, a baixos custos e menos poluentes ao meio ambiente. Diante de tamanhas necessidades, é preciso encontrar possibilidades que atendam essa demanda por tecnologia. A metalurgia do pó tem se mostrado bastante competitiva perante tais requisitos, de importância e aplicação promissora frente ao mercado e tecnologia atual, tornando-se uma das principais fontes de produção massiva de peças e aplicação de novos materiais [1].

Na definição de materiais sólidos, existem três classificações básicas quanto ao tipo: metais, cerâmicas e polímeros. Podendo um material ser classificado exclusivamente em um grupo ou outro, ou então possuir características inerentes de dois ou mais grupos. No que concerne à classificação devida as propriedades, seis são as categorias: mecânica, elétrica, ótica, magnética, térmica e deteriorativa. Os compósitos são materiais resultantes da combinação de dois ou mais materiais de categorias diferentes, os quais possuem características finais que não são encontradas isoladamente em seus constituintes, por exemplo: fibra de vidro (cerâmica + polímero), combina resistência mecânica com flexibilidade [2]. Sobre compósitos ainda pode se acrescentar que seus constituintes são diferentes no aspecto químico e não são solúveis entre si [3]. Também foi dito que compósitos são materiais com pelo menos duas fases distintas com uma interface de separação entre elas [2].

Existem várias formas de se produzir materiais avançados através do controle da sua síntese, visando à obtenção de materiais com estrutura e propriedades adequadas para determinadas aplicações [4-6]. A estrutura e constituição de novos materiais podem ser controladas com sucesso usando técnicas de processamento de não equilíbrio, assim como a síntese mecano-química por moagem de alta energia [7,8]. A metalurgia do pó consiste na obtenção de peças e materiais a partir de constituintes na forma de pó, obtido por diversos processos (atomização, trituração, usinagem, etc), sendo em seguida devidamente misturados e homogeneizados para que ocorram as reações químicas necessárias à base. Feito isso, segue-se o tratamento mecânico (compactação) e tratamento térmico (sinterização). Por fim temos um material praticamente acabado com tolerâncias próximas das finais (*Near Net Shape*), requerendo-se operações subsequentes de acabamento e dimensional, quando necessário.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A figura 1 apresenta a metodologia utilizada nesse projeto de pesquisa:

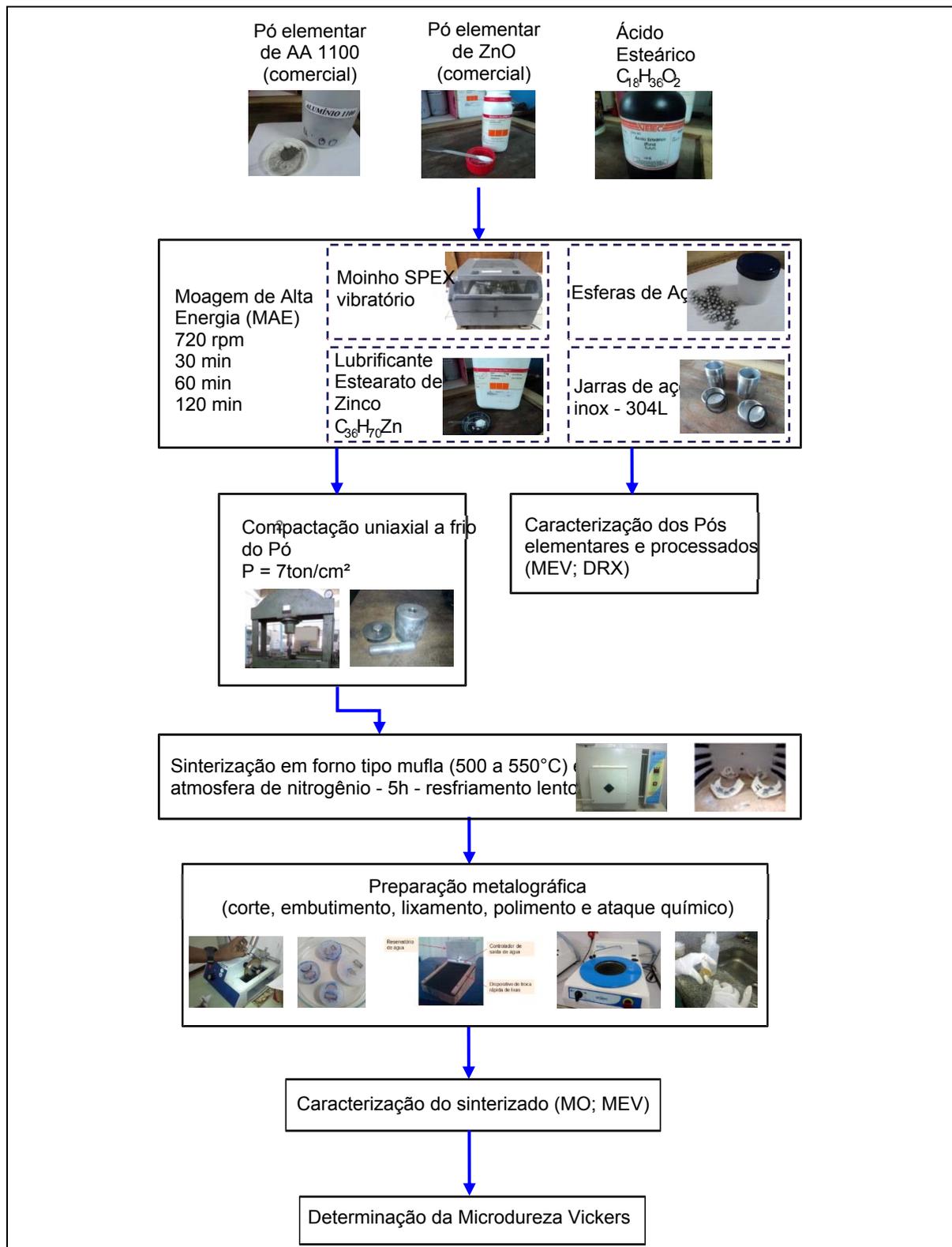


Figura 1. Fluxograma com a metodologia utilizada no trabalho de pesquisa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Granulometria dos pós por Difração a Laser

As figuras 1 e 2 apresentam os espectros por difração a laser dos pós da matriz de alumínio AA 1100 e seu reforço de óxido de zinco, conforme recebidos; junto com um gráfico do onde estão listados os resultados [d(0,1); d(0,5) e d(0,9)] para o diâmetro médio das partículas para 10, 50 e 90% dos resultados da distribuição normal. Nota-se a diferença de tamanho das partículas do reforço (ZnO) e da matriz (AA 1100). Em seguida estão as amostras de AA 1100 reforçadas com óxido de zinco, nas concentrações de reforço e tempo de processamento indicados.

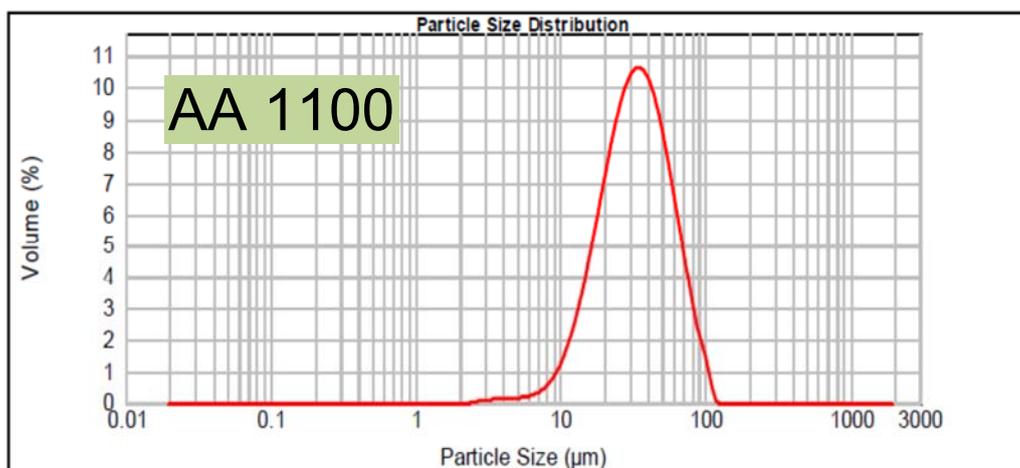


Figura 2. Granulometria por difração a laser: AA 1100

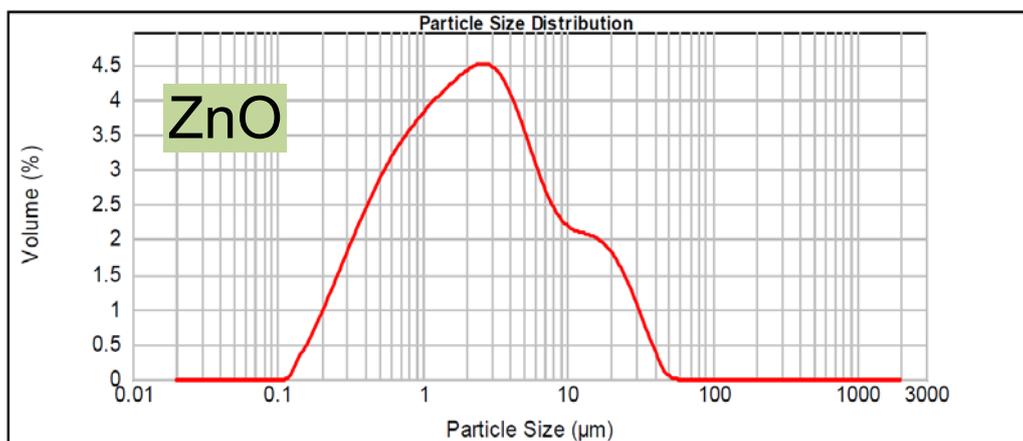


Figura 3. Granulometria por difração a laser: ZnO.

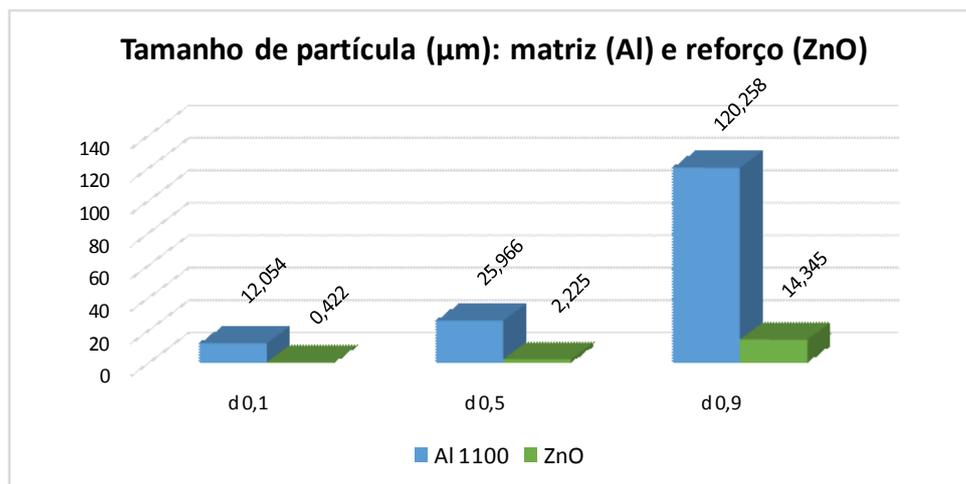


Figura 4. Gráfico tamanho de partículas do AA 1100 e ZnO.

3.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das Seções Superficiais e Transversais das Pastilhas

Nesta etapa do trabalho são apresentados os resultados e discussão acerca das amostras reforçadas sobre uma visão de MEV.

3.3. MEV do AA1100 com Reforços de 5%, 10%, 15% e 20% de ZnO – 120 minutos MAE – Seções Superficial e Transversal.

a) 5% ZnO - 120 min MAE:

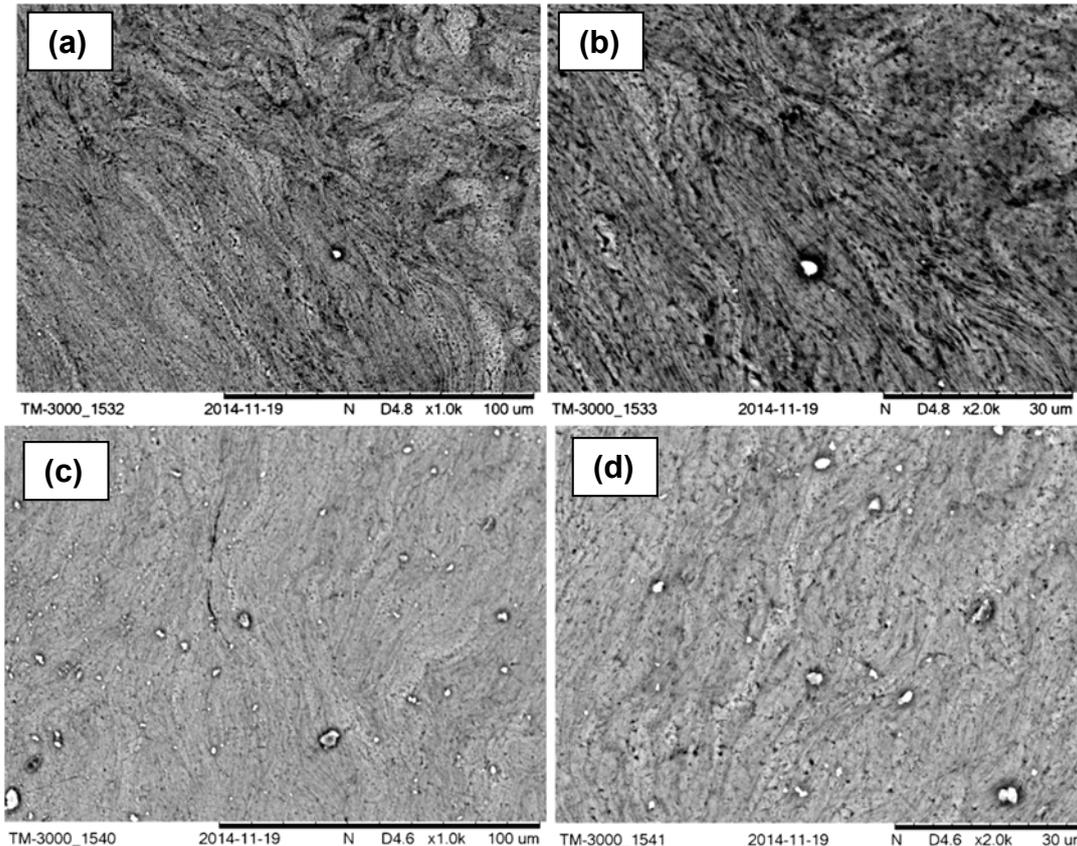


Figura 5. MEV do AA1100 + 5% de ZnO - 120 min MAE – seção superficial: 1000x (a), 2000x (b) – seção transversal: 1000x (c), 2000x (d).

b) 10% ZnO - 120 min MAE:

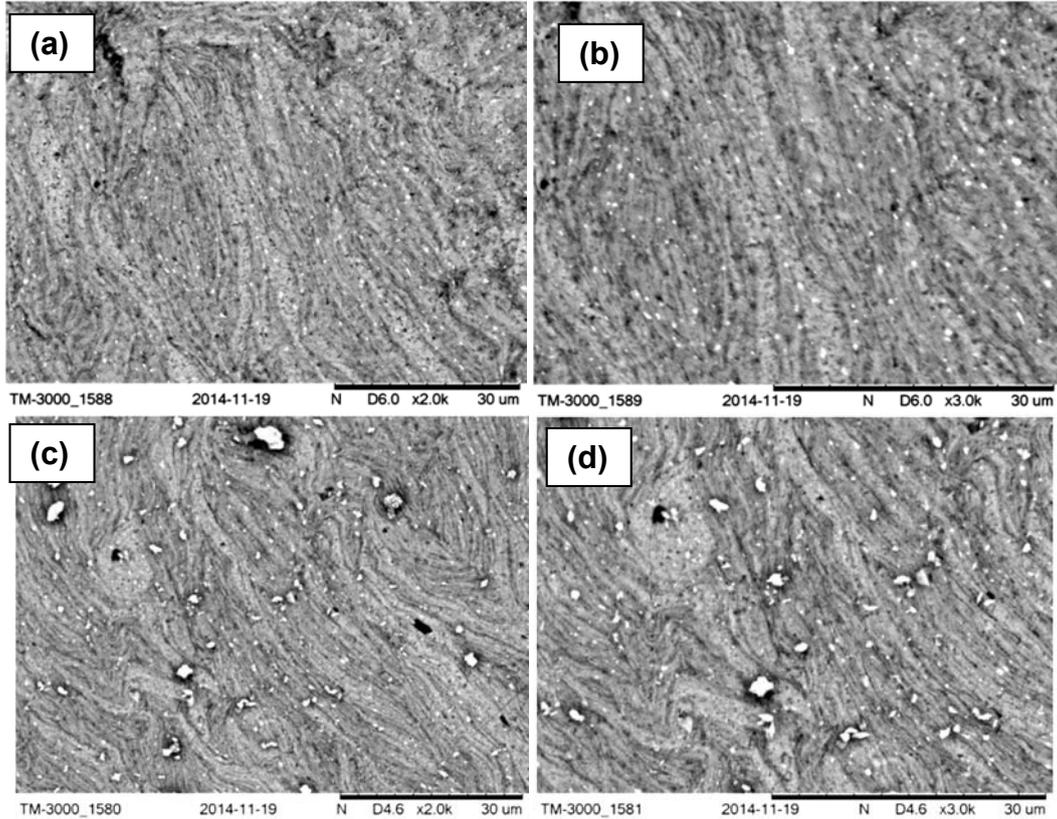


Figura 6. MEV do AA1100 + 10% de ZnO - 120 min MAE – seção superficial: 2000x (a), 3000x (b) – seção transversal: 2000x (c), 3000x (d).

c) 15% ZnO - 120 min MAE:

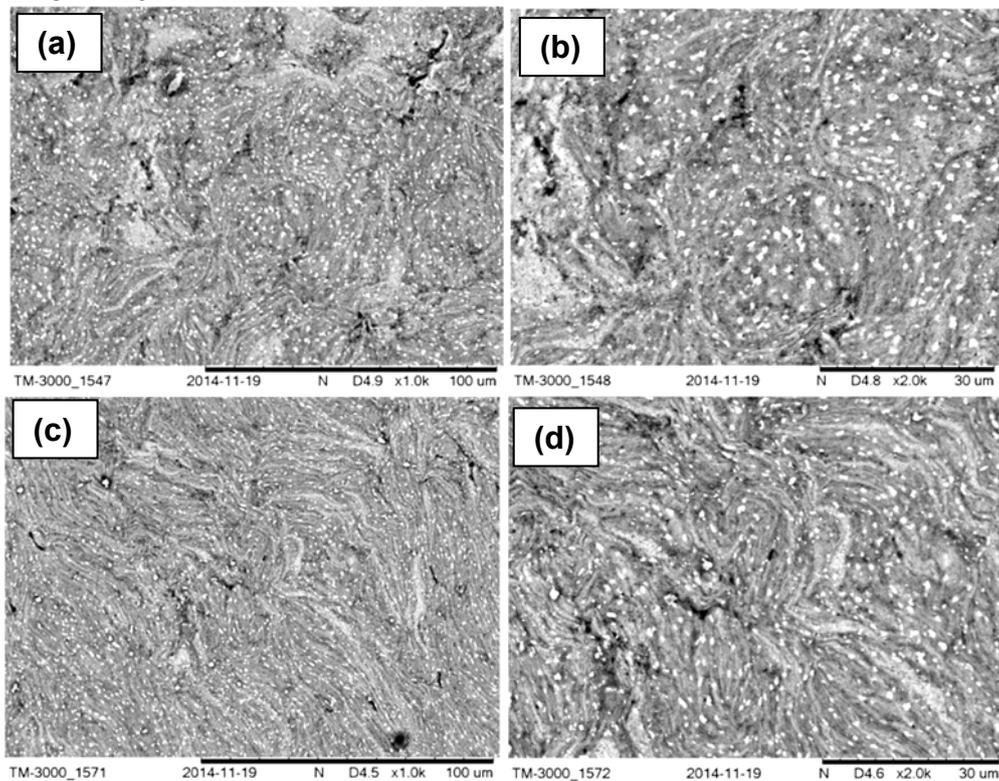


Figura 7. MEV do AA1100 + 15% de ZnO - 120 min MAE – seção superficial: 1000x (a), 2000x (b) – seção transversal: 1000x (c), 2000x (d).

d) 20% ZnO - 120 min MAE:

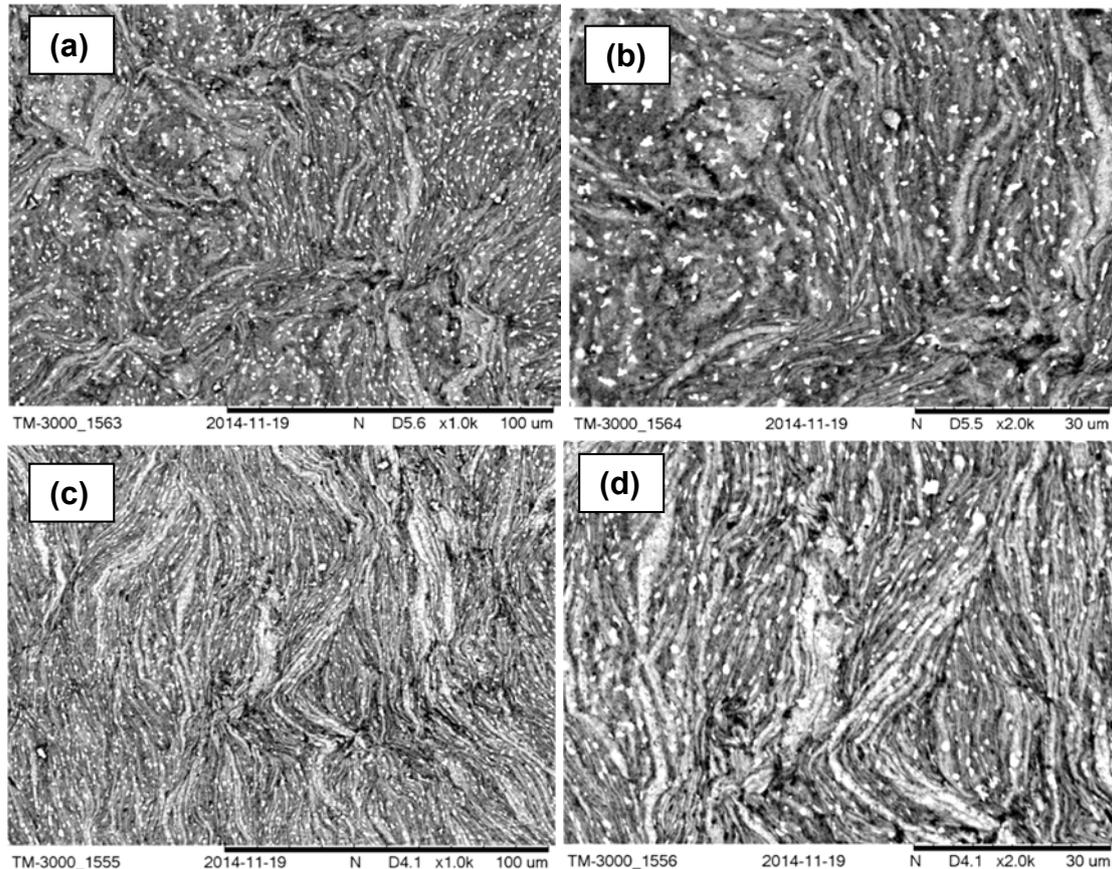


Figura 8. MEV do AA1100 + 20% de ZnO - 120 min MAE – seção superficial: 1000x (a), 2000x (b) – seção transversal: 1000x (c), 2000x (d).

As figuras 5 a 8 apresentam os resultados de Microscopia Eletrônica de Varredura das seções superficial e transversal das amostras de alumínio AA1100 com 5%, 10%, 15% e 20% de reforço de ZnO com tempo de processamento de 120 minutos de MAE. É notório que com o aumento do reforço houve um incremento nas formações das lamelas. Notamos uma maior deformação nas lamelas com o aumento do tempo de moagem. Esta caracterização apresenta o óxido de zinco evidentemente em menor quantidade e seu aumento nítido. Da mesma forma, pode-se notar nas figuras a pureza da liga e a boa incorporação do reforço na matriz, bem distribuído e disperso. Observa-se também uma estrutura mais deformada com o incremento do reforço.

3.4. Microdureza Vickers das Pastilhas Reforçadas

Nesta etapa do trabalho são apresentados os resultados da análise por microdureza Vickers para as pastilhas reforçadas comparadas com a microdureza da matriz AA 1100 e para tal, utilizamos uma carga de 0,5kgf. Esse ensaio revela a influência do percentual de reforço na matriz.

Os resultados de dureza apresentam-se crescentes com a incorporação do reforço.

Tabela 1. Planilha do Excel: Valores das durezas das seções superficiais e transversais e o incremento na dureza com o aumento de reforço

AMOSTRAS	Seção Superficial (HV)	Seção Transversal (HV)	Incremento na Dureza (%)	
	Média Microdureza	Média Microdureza	Superficial	Transversal
AA 1100 - Sem reforço	23,0	24,4	-	-
AA 1100 + 5% ZnO - 120 min (amostra 11)	70,2	72,4	205,22%	196,72%
AA 1100 + 10% ZnO - 120 min (amostra 12)	81,2	81,0	253,04%	231,97%
AA 1100 + 15% ZnO - 120 min (amostra 13)	82,3	84,5	257,83%	246,31%
AA 1100 + 20% ZnO - 120 min (amostra 14)	84,3	86,4	266,52%	254,10%

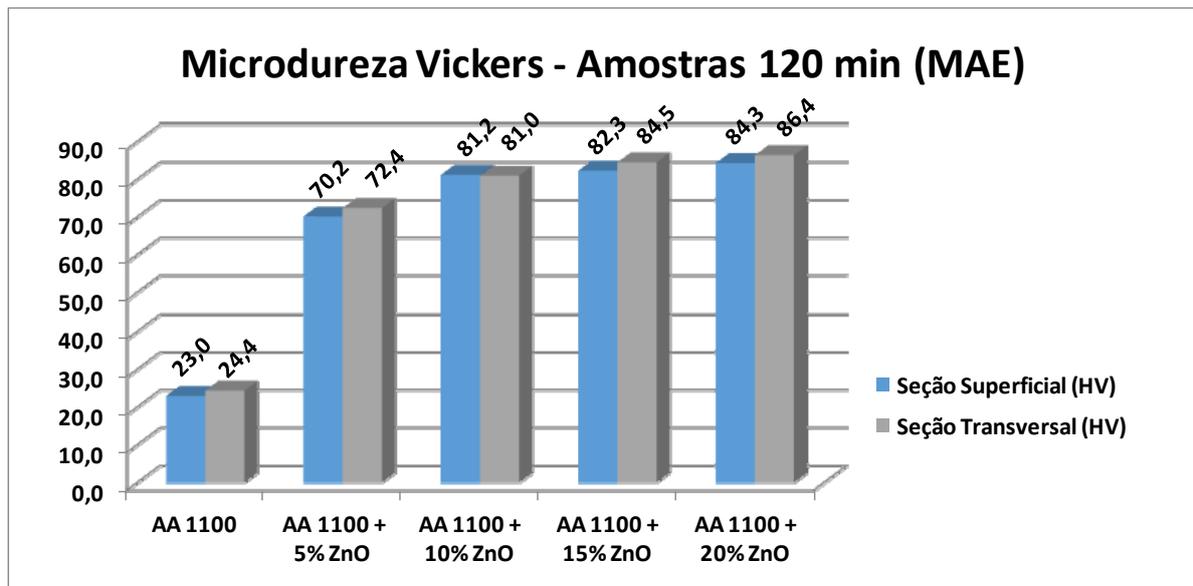


Figura 9. Gráfico da microdureza vickers - seções superficial e transversal.

A tabela 1 e o gráfico da figura 9 apresentam os resultados encontrados no ensaio de microdureza das amostras nas seções superficiais e transversais, utilizados para a confecção do gráfico da figura 9. Da mesma forma, mostra o ganho na microdureza obtido com o aumento no percentual do reforço de ZnO.

O gráfico mostra os valores de microdureza das amostras para as diferentes concentrações de reforço e o tempo de processamento de 120 min, para as quatro amostras escolhidas. Nota-se um comportamento crescente para a maior concentração do reforço de ZnO.

4 CONCLUSÕES

- A fabricação das amostras à base de compósitos sinterizados através da técnica de metalurgia do pó, da liga de alumínio AA1100 com reforço de 5%, 10%, 15% e 20% em massa de óxido de zinco (ZnO) separadamente, foi executada com relativo sucesso, utilizando-se uma rota de processamento de metalurgia do pó de moagem de alta energia, compactação uniaxial a frio e sinterização em atmosfera de nitrogênio (N₂).
- As amostras processadas por moagem de alta energia com 120 minutos foram escolhidas para serem compactadas uniaxialmente a frio e sinterizadas sob atmosfera de nitrogênio, uma vez que maiores tempos de moagem levam a uma melhor condição de equilíbrio nos mecanismos de soldagem, fratura e

- resoldagem entre matriz e reforço, levando a uma estrutura mais uniforme e equilibrada em termos de composição e menores tamanhos de partículas.
- Após o processamento de moagem de alta energia (Mechanical Alloying – MA) em moinho vibratório tipo SPEX, observou-se uma redução apreciável no tamanho das partículas dos pós e incorporação das partículas duras do reforço pela matriz dúctil.
 - As imagens feitas através de MEV e os espectros de DRX dos pós processados por Moagem de Alta Energia (MAE), apresentam uma eficiente inserção e distribuição das fases do reforço na matriz, sem aglomeração, indicando boa solubilidade, sendo observado em maior quantidade da fase cerâmica de (ZnO) à medida que aumenta o percentual de reforço no compósito sinterizado. Nota-se uma formação de estruturas lamelares com arranjos em sequências regulares, com boa parte dos reforços orientados na mesma direção da matriz.
 - Os resultados de dureza apresentaram-se linearmente crescentes com o aumento da fração de reforço na matriz, destacando o efeito positivo da técnica de Metalurgia do Pó utilizando moagem de alta energia (MAE), compactação uniaxial a frio e sinterização sob atmosfera de nitrogênio (N₂) na produção dos compósitos.
 - Tomando como base a dureza da matriz AA1100, observamos que os compósitos com adição de 15% e 20% de reforço, apresentaram os maiores valores de dureza evidenciando um ganho de 266% nessa propriedade mecânica.

REFERÊNCIAS

- 1 Vários Autores. A Metalurgia Do Pó: Alternativa Econômica Com Menor Impacto Ambiental. 1ª. Edição. São Paulo: editora Metallum Eventos Técnicos E Científicos; 2009.
- 2 Chawla K.K.. Composite materials science and Engineering, New York: Springer Verlag; 1987.
- 3 Clyne T.W.; Withers P.J. An introduction to metal matrix composites, Cambridge University Press; 1993.
- 4 Fogagnolo J.B. et al..Aluminum Matrix composites reinforced with Si₃N₄ , AlN and ZrB₂ produced by powder metallurgy and mechanical alloying. Kona. 2004 n 22, 2004.
- 5 Moura, Alexandre D. Araújo de. Obtenção e Caracterização de Compósitos de Matriz Metálica da Liga de Alumínio AA 1100 com reforço cerâmico particulado de Carboneto de Silício e Alumina produzidos através de técnicas de Metalurgia do Pó. Dissertação de Mestrado. UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, 2013.
- 6 Moro N.; Auras A.P., Processos de fabricação: metalurgia do pó e o futuro da indústria, CEFET Florianópolis, Santa Catarina; 2007.
- 7 Sousa, Márcio M. Sampaio. Estudo do Processo de Fabricação de Compósitos de Matriz Metalúrgica de Liga de Alumínio AA 6061 por Metalurgia do Pó via Moagem de Alta Energia. Dissertação de Mestrado. UFPE, 2012.
- 8 Suryanarayana. C. In: Powder metal Technologies and applications. ASM Handbook, vol. 7. Materials park, oh: ASM International, 1998.