

Ligas de Al com aditivo oriundo da queima da casca do arroz produzidas via metalurgia do pó

Palavras-Chave: Alumínio; Cinza da casca de arroz; Metalurgia do pó

Autores(as):

Pedro Souza, FEM – UNICAMP

Dr. Rafael Kakitani (coorientador), FEM - UNICAMP

Prof. Dr. Juliano Soyama (orientador), FEM - UNICAMP

INTRODUÇÃO

O objetivo deste projeto é a realização de um estudo do processamento de ligas de Al, com aditivo oriundo da queima da casca de arroz, via metalurgia do pó. As ligas de Al têm sido amplamente utilizadas em várias aplicações, devido à sua boa resistência mecânica específica e baixa densidade (cerca de $2,7 \text{ g/cm}^3$). No entanto, para atender as demandas de algumas indústrias, como por exemplo as indústrias automobilística e aeronáutica, é necessário elevar as propriedades mecânicas das ligas de Al.

A cinza da casca de arroz (CCA) é um subproduto oriundo da queima da casca de arroz que, normalmente, acaba sendo rejeitado. Ela é composta majoritariamente por sílica (SiO_2) [1], com a possibilidade de ser empregada como reforço em concretos de alta performance e ligas de Al [2,3] evitando, assim, o seu descarte. Além disso, a metalurgia do pó é um processo viável para estudar novas ligas, já que, ao comparar com os métodos de fundição, a metalurgia do pó se mostra mais eficiente.

A metalurgia do pó é um processo de fabricação onde metais são transformados em pós e então ocorre a compactação e sinterização para formar peças sólidas. Este método permite a produção de componentes com formas complexas e características específicas que seriam difíceis de obter com técnicas tradicionais de fundição ou usinagem. Essa técnica é amplamente utilizada em indústrias como a automotiva e aeroespacial, sendo conhecida por sua eficiência no uso de materiais e capacidade de produzir peças de alta precisão com propriedades mecânicas superiores [4]. Além disso, este processo minimiza o desperdício de material, tornando-se uma opção sustentável e econômica.

Nesse sentido, foi proposta a fabricação das ligas Al-1%CCA, Al-5%CCA e Al-10%CCA pelo método de metalurgia do pó, por meio da sinterização em atmosfera controlada (argônio). A caracterização microestrutural foi realizada por Microscopia Óptica (MO) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), enquanto ensaios de microdureza dureza Vickers avaliaram o comportamento mecânico das ligas.

METODOLOGIA

Primeiramente, foram preparadas misturas dos pós, usando proporção em peso como base, de forma que a liga Al-10%CCA teve 90% do peso total de pó de alumínio puro e 10% de CCA. A mesma lógica foi adotada para as ligas Al-5%CCA e Al-1%CCA. Além disso, também foi preparada uma amostra de Al puro. Após a mistura dos pós por agitação mecânica, foi feita uma compactação a frio, em uma matriz cilíndrica com diâmetro de 8,1 mm,

utilizando-se uma prensa hidráulica da marca MARCON Mph-10, com capacidade de 10 toneladas. E após esse processo, foi feita uma sinterização de todas as amostras em um forno tubular do fabricante GRION, com atmosfera controlada (de argônio) a 650 °C por 60 minutos. Posteriormente, as amostras foram tratadas, nas quais algumas foram cortadas na seção longitudinal, com o auxílio de uma serra de fita, e outras mantidas intactas para análise da seção transversal. As amostras foram embutidas em resina acrílica e as superfícies foram lixadas até #1200 mesh, seguido de polimento com pastas diamantadas de 3 a 1 µm.

Na caracterização microestrutural foi utilizado o microscópio óptico Leica DM500 para obter imagens das amostras. Posteriormente, foi feito uso da microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando-se um microscópio da marca ZEISS, modelo EVO MA15, onde foram obtidas imagens dos pós de Al e CCA, e das amostras de Al-1%CCA, Al-5%CCA e Al-10%CCA. Já a composição química dos pós de Al e das misturas foi analisada via espectroscopia de raios-X por dispersão de energia (EDS) com detector da Oxford acoplado ao MEV e o pó de CCA foi analisado via fluorescência de raios-X, utilizando o equipamento da Panalytical, modelo Axios 1KW.

Por fim, foi realizada a análise da propriedade mecânica através de medições de microdureza Vickers, utilizando o equipamento FV-800 da Future-Tech. Para isso, foi utilizada uma carga de 0,5 kgf com tempo de permanência de 15 s.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da microscopia óptica foram obtidas as imagens das amostras, conforme apresentado na Figura 1, na qual observam-se as microestruturas das amostras Al, Al-1%CCA, Al-5%CCA e Al-10%CCA, todos após a sinterização. Pode-se notar que as amostras apresentaram boa homogeneidade após a sinterização, apesar da pequena fração de porosidade.

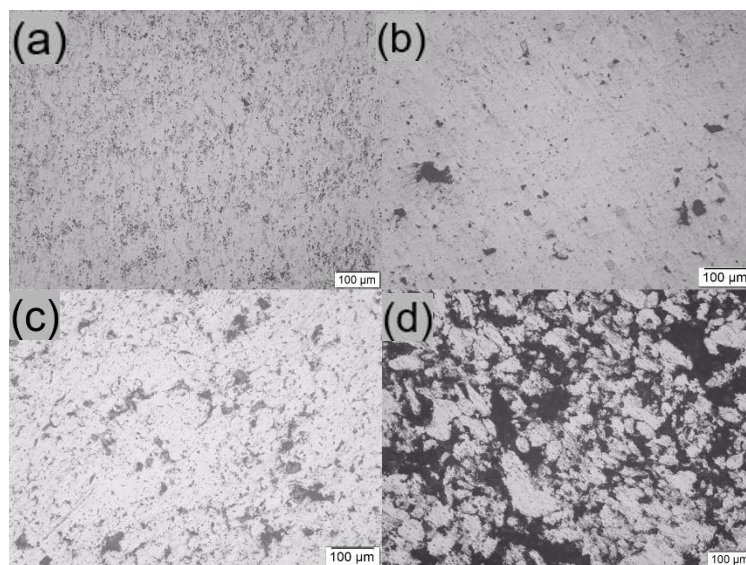


Figura 1: Microestrutura das ligas sinterizadas: (a) Al, (b) Al-1%CCA, (c) Al-5%CCA e (d) Al-10%CCA.

Já as imagens obtidas no MEV podem ser vistas nas Figuras 2 e 3. O pó de Al (Figura 2) apresenta uma morfologia mais arredondada, enquanto o pó de CCA (Figura 2) apresenta uma morfologia irregular. Analisando a Figuras 3, verifica-se a presença de poros nas amostras das ligas Al-1%CCA, Al-5%CCA e Al-10%CCA. A formação de poros está relacionada com o processo já que as amostras feitas via metalurgia do pó em geral apresentam um certo nível de porosidade, que ocorre por diversos fatores como, por exemplo, um baixo tempo de sinterização, a oxidação dos pós, falta de afinidade entre os pós e entre outros.

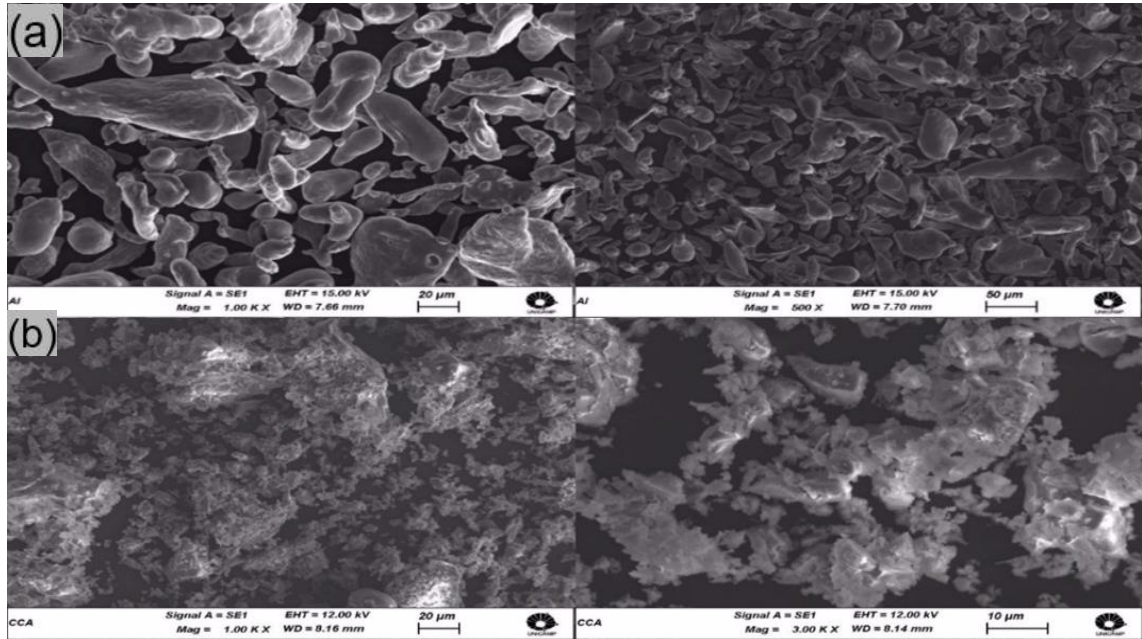


Figura 2: Imagens obtidas no MEV: (a) Pó de Al e (b) Pó de CCA.

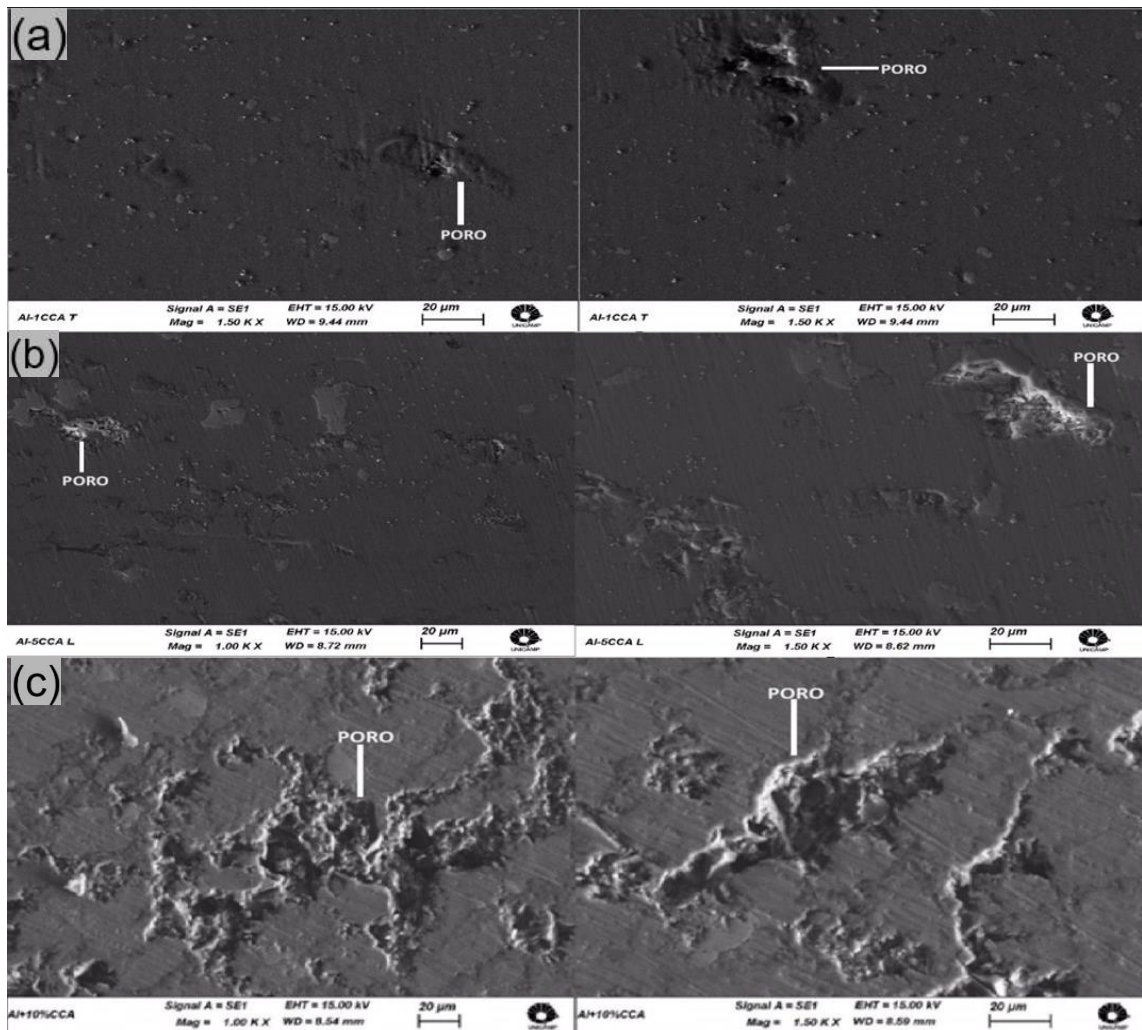


Figura 3: Imagens obtidas no MEV: (a) Amostra de Al-1%CCA, (b) Amostra de Al-5%CCA e (c) Amostra de Al-10%CCA.

Os resultados da espectroscopia de raio-X por dispersão de energia (EDS) dos pós de Al e da amostra de Al-1%CCA, Al-5%CCA, Al-10%CCA, e o resultado da fluorescência de raios-X do pó de CCA podem ser vistos nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente (as porcentagens mostradas estão em massa). No pó de Al foi possível observar além do próprio Al, baixos teores de Mn e Fe, conforme a Tabela 1. No pó de CCA, seguindo o esperado, foi constatado que é formado majoritariamente por SiO₂, além de baixas concentrações de K₂O, CaO, MnO e Cl, de acordo com a Tabela 2. Já na amostra de Al-1%CCA constatou-se a presença de Al, Si além de Mn (Tabela 3). Na liga Al-5%CCA, apenas a presença de Al e Si (Tabela 3). Por fim, na amostra Al-10%CCA o predomínio de Al e Si, além de baixos teores de K, Mn e Fe (Tabela 3).

Tabela 1: Resultado da EDS do pó de Al.

Elementos	% em massa
Al	98,44
Mn	0,63
Fe	0,93

Tabela 2: Resultado da EDS do pó de CCA.

Elementos	% em massa
SiO ₂	97,6
K ₂ O	1,4
CaO	0,6
MnO	0,3
Cl	0,1

Tabela 3: Resultado da EDS das amostras de Al-1%CCA, Al-5%CCA e Al-10%CCA.

Elemento	Al-1%CCA	Al-5%CCA	Al-10%CCA
	% em massa	% em massa	% em massa
Al	98,52	93,66	80,70
Si	0,75	6,34	17,42
Mn	0,74	-	0,69
Fe	-	-	0,68
K	-	-	0,51

Através dos ensaios de dureza (Tabela 4), pode-se perceber que, de fato, a resistência mecânica do Al-10%CCA teve um aumento considerado ao compará-la com a do Al puro. Isso porque, a sílica (composto majoritário da CCA) apresenta uma dureza maior que a do alumínio, atuando como reforço para a matriz de alumínio.

Tabela 4: Microdureza Vickers das amostras transversais do Al e Al-10%CCA.

	Al Transversal	Al-10%CCA Transversal
Média	17 HV	29 HV
Desvio padrão	1,0	2,4

CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados, conclui-se que foi possível aumentar a dureza em 70,6% com a adição de 10% de CCA, em comparação com o Al puro. Após a sinterização, as ligas de Al com cinza de casca de arroz demonstraram uma microestrutura homogênea, com um pequeno nível de porosidade.

BIBLIOGRAFIA

1. Fernandes IJ, Calheiro D, Kieling, AG, et al (2016) Characterization of rice husk ash produced using different biomass combustion techniques for energy. *Fuel* 165:351-359. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.086>
2. Singh B (2018) Rice husk ash. In: Siddique R, Cachim, P (eds) *Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete : Characterisation, Properties and Applications*. Woodhead Publishing, Duxford, pp 417-460. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102156-9.00013-4>
3. Dixit P, Suhane, A (2022) Aluminum metal matrix composites reinforced with rice husk ash: A review. *Mater Today Proc* 62:4194-4201. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.711>
4. German, R. M. "Powder Metallurgy Science." Metal Powder Industries Federation, 1994.