cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Otimização dos parâmetros de cura no processamento digital de luz (DLP) de suspensões de alumina a base de uma resina lavável em água

Marco A. de M. Miazaki; Icaro C. Finhana; Ana P. da Luz

Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP
marcomiazaki@estudante.ufscar.br ou analuz@ufscar.br

Introdução

A manufatura aditiva por processamento digital de luz (DLP) destaca-se na fabricação de componentes cerâmicos com elevada resolução e precisão dimensional. Entretanto, a obtenção de peças de alta qualidade depende do adequado controle da formulação das suspensões, especialmente do teor de sólidos, das propriedades reológicas e do comportamento de cura. Além disso, a elevada fração de componentes orgânicos necessária à fotopolimerização pode resultar em retração dimensional significativa durante a etapa de debinding e sinterização. Nesse contexto, a incorporação parcial de $CaCO_3$ à alumina (Al_2O_3) é investigada como estratégia para reduzir a retração por meio da formação da fase $CaAl_{12}O_{19}$ (CA_6) em altas temperaturas. Este trabalho avalia o efeito da adição de $CaCO_3$ sobre a etapa de exposição e estabilidade dimensional de componentes de alumina produzidos por DLP, buscando minimizar a retração sem comprometer a integridade e as demais propriedades das peças.

Materiais e Métodos



Resultados e Discussão

1. Comportamento reológico

Tabela 1 – Parâmetros reológicos das suspensões (ajuste ao modelo Herschel-Bulkley).

Parâmetro reológico	%vol.$CaCO_3$				
	0,0	0,5	1,0	2,5	5,0
y_0	23,06	21,03	18,61	14,88	24,35
K	21,37	23,17	18,30	18,68	18,06
n	0,90	0,87	0,91	0,88	0,93
R^2	0,9999	0,9995	0,9991	0,9998	0,9998

2. Teste de exposição

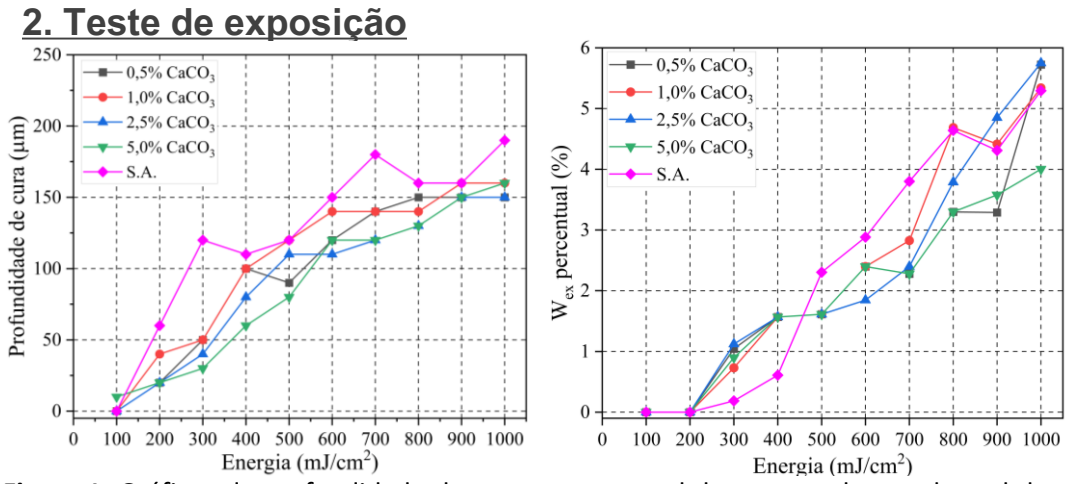


Figura 1: Gráficos de profundidade de cura e percentual de excesso de cura lateral das suspensões contendo 0-5 %vol. de $CaCO_3$, ambos em função da energia de exposição, considerando uma irradiância fixa de 50 mW/cm².

Tabela 2 – Parâmetros de cura vertical (S_d e E_c) e lateral (excesso - S_w e E_w).

Parâmetro de cura	%vol.$CaCO_3$				
	0,0	0,5	1,0	2,5	5,0
S_d (µm)	77,77	86,05	88,87	84,55	101,12
E_c (mJ/cm²)	78,13	151,55	130,68	161,80	161,43
R^2	0,9745	0,9631	0,9871	0,9727	0,9909
S_w (µm)	242,23	205,62	226,53	240,42	263,41
E_w (mJ/cm²)	328,45	311,91	322,37	341,16	336,22
R^2	0,9584	0,9262	0,9084	0,8727	0,9321

3. Caracterização dos corpos de prova

Tabela 3 – Densidade aparente (DA); porosidade aparente (PA); densidade teórica (DT); densidade relativa (DR); retração linear (R - XY e R - Z); módulo de ruptura (MoR). Propriedades das amostras obtidas com os seguintes parâmetros de impressão 500 mJ/cm² e 50 mW/cm².

Propriedade	%vol.$CaCO_3$				
	0,0	0,5	1,0	2,5	5,0
DA (g/cm³)	3,78	3,68	3,71	3,36	2,70
DR (%)	97,02	92,75	93,51	85,37	69,25
PA (%)	1,89	1,24	1,25	6,92	23,85
MoR (MPa)	158,62	317,03	240,50	251,92	107,32
R - XY (%)	18,31	18,00	17,74	15,79	10,63
R - Z (%)	19,69	17,73	16,68	14,87	9,58

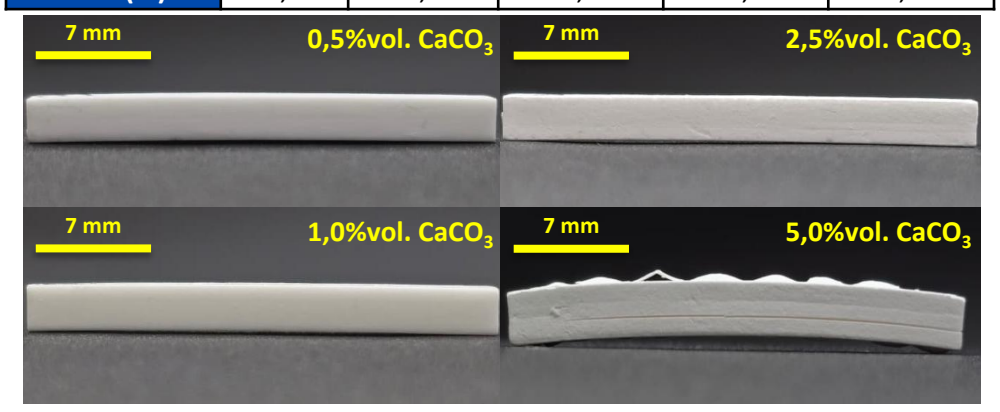


Figura 2: Fotos dos corpos de prova após as etapas de *debinding* e sinterização até 1600 °C.

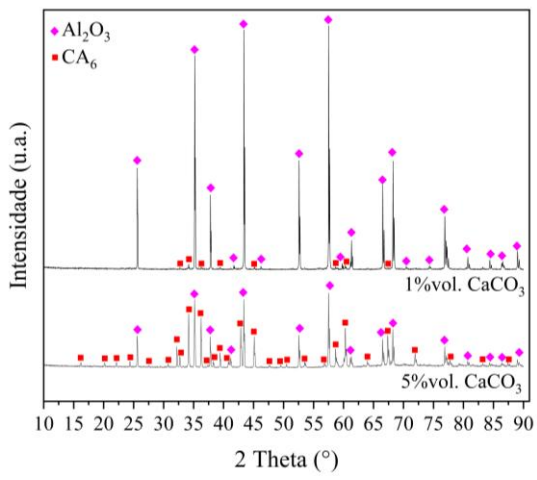


Figura 3: Difratogramas de raios-X das amostras contendo 1 %vol. e 5 %vol. de $CaCO_3$. Foram identificadas as fases CA_6 e Al_2O_3.

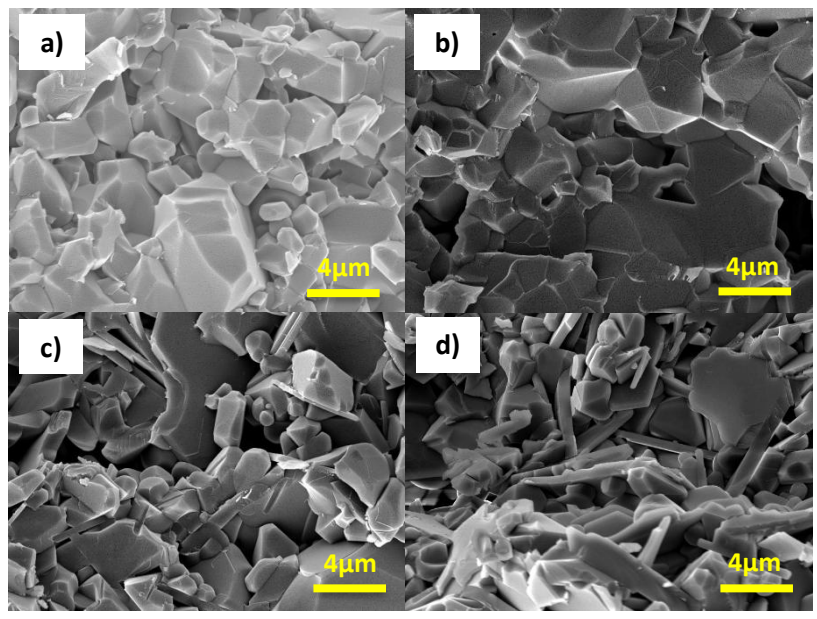


Figura 4: Imagens de MEV das amostras contendo a) 0,5 %vol., b) 1 %vol., c) 2,5 %vol. e d) 5 %vol. de $CaCO_3$.

Conclusões

Os resultados demonstraram que 500 mJ/cm² de energia de exposição foi adequado para o processamento das suspensões por DLP sem perda significativa de fidelidade dimensional das peças impressas. A incorporação de $CaCO_3$ contribuiu para a redução da retração dimensional por meio da formação *in situ* da fase CA_6, havendo destaque para as composições contendo 1,0 e 2,5 %vol. deste aditivo que apresentaram MoR superior em relação à alumina pura. Entretanto, teores mais elevados de $CaCO_3$ comprometeram a densificação e a resistência, evidenciando a importância do controle da composição e dos parâmetros de cura para a obtenção de componentes cerâmicos de alta qualidade.

Referências e Agradecimentos

I.L. Camargo, M.M. Morais, C.A. Fortulan, M.C. Branciforti, Ceram Int 47 (2021).
Y. Li, S. Huang, S. Wang, X. Zhang. Ceram Int 48 (2022) 3652–3658.
C.W. Park, D.Y. Yoon, Journal of the American Ceramic Society 83 (2004) 2605–2609.

2026/00264-8