



## Manufatura aditiva de materiais cerâmicos em pequena escala

### Additive manufacturing of ceramic materials on a small scale

Luigi Roehrig Segala<sup>1</sup>, Gustavo Xavier Peres<sup>2</sup>, Bernardo Fabricio Martins Gonçalves<sup>3</sup>,  
Kamily Vitória Stricker Martins<sup>4</sup>, Lucas Freitas Berti<sup>5</sup>

#### RESUMO

A manufatura aditiva (MA), frequentemente chamada de impressão 3D, é um processo de fabricação que permite a criação de objetos tridimensionais adicionando material camada por camada com base em um modelo digital 3D. Existem diferentes tecnologias de impressão 3D disponíveis no mercado atualmente e a mais popular delas é a tecnologia de extrusão de material (MEX), devido à sua simplicidade e baixo custo. A manufatura aditiva a partir da tecnologia MEX pode ser realizada a partir de diferentes tipos de matérias-primas, como polímeros, cerâmicas, compósitos, etc., além disto os materiais podem ser usados em diferentes formas de alimentação, como filamentos, pellets ou pastas. Essa tecnologia de extrusão torna possível a criação de peças complexas e precisas com uma impressora 3D. O principal objetivo deste trabalho é mostrar o processo e adaptações realizadas para que se pudessem ser produzidas peças cerâmicas utilizando uma impressora 3D a partir de pastas produzidas no laboratório de pesquisa da universidade, assim como discutir sobre possíveis melhorias a serem feitas com a continuidade da pesquisa.

**PALAVRAS-CHAVE:** impressão 3D; manufatura aditiva; pasta cerâmica.

#### ABSTRACT

Additive manufacturing (AM), often called 3D printing, is a manufacturing process that enables the creation of three-dimensional objects by adding material layer by layer based on a digital 3D model. Different 3D printing technologies are available in the market today, and the most popular of them is material extrusion technology (MEX) due to its simplicity and low cost. Additive manufacturing using MEX technology can be performed with various raw materials, such as polymers, ceramics, composites, and more. Additionally, these materials can be utilized in different forms of feedstock, including filaments, pellets, or pastes. This extrusion technology makes it possible to produce complex and precise parts with a 3D printer. The primary objective of this work is to demonstrate the process and adaptations made to produce ceramic parts using a 3D printer from pastes generated in the university research laboratory. Furthermore, it aims to discuss potential improvements to be implemented as the research progresses.

**KEYWORDS:** 3D printing; additive manufacturing; ceramic paste.

## INTRODUÇÃO

A prototipagem rápida, posteriormente conhecida como manufatura aditiva ou impressão 3D, foi um dos processos de fabricação mais recentemente desenvolvido, na década de 1980, e se tratava inicialmente de uma forma simples de representação de um objeto tridimensional como um modelo estilizado, através da deposição da matéria prima em camadas sucessivas.(IPPOLITO; IULIANO; GATTO, 1995; VOLPATO, 2017). A

<sup>1</sup> Bolsista do CNPq. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: segalla@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5440702936123028>.

<sup>2</sup> Discente. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: gustavoperes@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8310357624306941>.

<sup>3</sup> Discente. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: bernardog@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6253364296923699>.

<sup>4</sup> Discente. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: kamilymartins@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2806191982931342>.

<sup>5</sup> Docente no Departamento de Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: lenberti@gmail.com. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8514222359362903>



tecnologia de impressão 3D se destaca na área de engenharia de tecido ósseo pela possibilidade de fabricar peças personalizáveis e de geometrias complexas.(FACCIO et al., 2021)

No decorrer dos anos a indústria de manufatura tem passados por significativas transformações e, após a criação das impressoras 3D, tem sido adotada a manufatura aditiva em diversos campos da sociedade, sendo o setor médico um dos mais beneficiados por essa tecnologia, juntamente com as áreas de Design e Engenharia.(LOPES et al., 2018)

As pastas cerâmicas são compostas por sólidos particulados, água e aditivos. Por possuírem um comportamento plástico, podem ser moldadas por meio de extrusão ou outras estratégias de deformação plástica. Os sólidos são compostos por argilas e misturas não-argilosas, enquanto os aditivos, que podem ou não ser utilizados, incluem plastificantes poliméricos e/ou eletrólitos inorgânicos. A reologia das pastas geralmente é ajustada otimizando as operações de moagem (redução do tamanho das partículas) e/ou selecionando componentes de argila com maior ou menor plasticidade. A reologia adequada para a conformação no estado plástico é alcançada por meio do ajuste do teor de água, conforme este aumenta, a plasticidade também aumenta, atingindo um máximo que depende da natureza da argila utilizada.(RUSCITTI; TAPIA; RENDTORFF, 2020)

Na área da saúde, uma das mais impactadas pela tecnologia de manufatura aditiva, são amplamente utilizados biomateriais cerâmicos como a hidroxiapatita (HA), o fosfato tricálcico (TCP). Considerando os materiais utilizados devem ser tomados alguns cuidados na extrusão para que não ocorram problemas de desarejamento. (BHATIA; SEHGAL, 2021; RIBEIRO, 2021)

O objetivo deste trabalho é mostrar os processos necessários para a impressão 3D de uma pasta pré-cerâmica bioinerte, que permitirá posteriormente a produção de peças a serem usadas em pesquisas das áreas de engenharia em conjunto com áreas biomédicas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho será dividido em duas frentes principais, a produção da pasta cerâmica para a manufatura aditiva e a adequação da impressora 3D de materiais poliméricos para a extrusão da pasta produzida.

### PRODUÇÃO DA PASTA CERÂMICA

A pasta deste projeto foi produzida através da mistura da parte líquida e aditivos à parte sólida, esta mistura foi feita manualmente pela adição gradual dos componentes ao pó cerâmico. O pó cerâmico utilizado, visto a necessidade de as peças serem bioinertes, foi a alumina, material com diversas aplicações na biomedicina(LA FLAMME et al., 2007). A pasta consiste de uma suspensão aquosa preparada com 52 vol.% de alumina com a adição de 10 wt.% de polietilenoglicol (PEG 6000) em relação à massa de alumina e 0,75 vol.% em relação à volume de alumina de dispersante aniônico (Dolapix CE64) para tornar a pasta adequada para a impressão em camadas.



Os arcabouços foram projetados em forma de prisma com base de dimensões 40 x 40 mm e foram impressos em uma impressora 3D sem marca/modelo que foi confeccionada/montada na universidade. Após a impressão das peças a pasta deve passar pelos processos de secagem e sinterização antes que estejam com suas formas e características finais. A agenda de tratamento térmico é realizada com taxa de 10°C min<sup>-1</sup> até 1000°C, 5°C min<sup>-1</sup> até 1520°C e tempo de permanência em 1520°C de 1h. O resfriamento é realizado com taxa de 10°C min<sup>-1</sup> até temperatura ambiente.

## ADEQUAÇÃO DA IMPRESSORA 3D

Levando em consideração a natureza da pesquisa realizada no laboratório de pesquisa, optou-se pela adequação da impressora para operar com pouco material, a fim de evitar desperdícios da matéria prima utilizada na produção da pasta. Para possibilitar a extrusão da pasta cerâmica foi necessário projetar um cabeçote de extrusão que pudesse ser utilizado na impressora 3D disponível no laboratório.

Após deliberações foi decidido que o cabeçote teria como base uma seringa para servir como depósito da pasta e também bico de extrusão. O projeto levou em consideração também a necessidade do cabeçote de sofrer o mínimo de deformação possível devido aos esforços da extrusão e a facilidade de montagem e desmontagem do cabeçote.

O cabeçote consiste de uma estrutura impressa em PLA na qual são fixados os componentes. Um motor de passo (NEMA 17) é fixado à uma engrenagem com 10 dentes que move outras duas engrenagens de 35 dentes, cada engrenagem de 35 dentes está fixada em um fuso trapezoidal de 8mm. Os fusos movimentam verticalmente, através de duas castanhas trapezoidais, uma plataforma de PLA na qual é encaixado o êmbolo da seringa. A seringa utilizada é uma seringa de 60ml com conexão luer lock e é encaixada na parte inferior da estrutura. A estrutura de PLA foi dividida em 3 partes para facilitar a impressão e permitir a impressão em orientações que favorecessem as resistências nas orientações das forças exercidas sobre cada parte, além de facilitar a montagem do cabeçote. Todas as peças impressas em PLA foram modeladas utilizando o software de CAD SolidWorks e impressas em uma impressora 3D de filamentos (Ender-5 Pro), as demais peças foram adquiridas comercialmente.

Para a impressão das peças foram utilizados os seguintes parâmetros:

**Tabela 1 - Parâmetros de Impressão**

Altura da camada	1,9 mm
Altura da primeira camada	1,3 mm
Densidade de preenchimento	20%
Padrão de preenchimento	Rectilínio
Velocidade de impressão	5 mm/s
Diâmetro do bico	2,1 mm

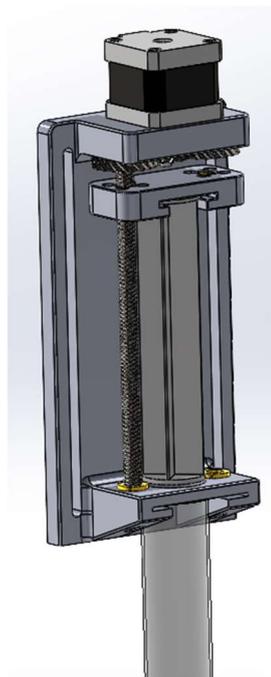
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

## RESULTADOS

Nas Figuras abaixo podemos ver o cabeçote desenvolvido.



Figura 1 – Modelo tridimensional



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 2 – Cabeçote montado na impressora 3D



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

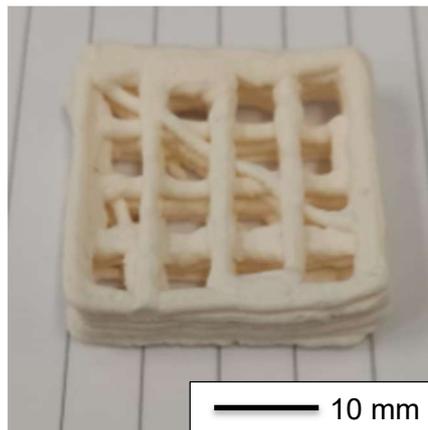
A partir da pasta produzida e a da impressora adaptada foi possível obter peças cerâmicas satisfatórias conforme as Figuras a seguir:

Figura 3 – Peça à verde Impressa sem preenchimento



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Figura 4 – Peça sinterizada



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

## CONCLUSÃO

Conclui-se que o projeto atingiu seus objetivos principais de imprimir peças cerâmicas a partir de pastas produzidas no laboratório. Observou-se, porém, que melhorias podem ser feitas no cabeçote com o intuito de melhorar sua rigidez e evitar flexões, melhorias estas que serão implementadas na continuidade do projeto de pesquisa.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente ao orientador Prof. Dr. Lucas Freitas Berti por todos os ensinamentos e orientações no decorrer do projeto.

Agradeço também ao CNPq pela disponibilização da bolsa que permitiu este trabalho.

Estendo os agradecimentos a todos os discentes e docentes que participaram de forma direta ou indireta deste projeto.



## CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

BHATIA, A.; SEHGAL, A. K. Additive manufacturing materials, methods and applications: A review. **Materials Today: Proceedings**, maio 2021.

FACCIO, M. et al. Effect of stearic acid on alumina scaffolds obtained by additive manufacturing using the fused filament fabrication method. **Ceramica**, v. 67, n. 384, p. 486–497, 2021.

IPPOLITO, R.; IULIANO, L.; GATTO, A. **Benchmarking of Rapid Prototyping Techniques in Terms of Dimensional Accuracy and Surface Finish Technique SLA**. [s.l: s.n.].

LA FLAMME, K. E. et al. Biocompatibility of nanoporous alumina membranes for immunoisolation. **Biomaterials**, v. 28, n. 16, p. 2638–2645, jun. 2007.

LOPES, T. G. et al. **A Utilização de Manufatura Aditiva em Projetos de Pesquisa Detection and classification of anomalies during the process of additive manufacturing by fusion and deposition through piezoelectric transducers and signal processing View project Development of didactic devices View project**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/338582710>>.

RIBEIRO, M. J. **A extrudabilidade das pastas cerâmicas no processo de conformação plástica**. Viana do Castelo: [s.n.]. Disponível em: <<https://publicacoes.riqual.org/wp-content/uploads/2021/03/TECNICA-7.pdf#page=32>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

RUSCITTI, A.; TAPIA, C.; RENDTORFF, N. M. **A review on additive manufacturing of ceramic materials based on extrusion processes of clay pastes**. **Ceramica** Associação Brasileira de Cerâmica, , 2020.

VOLPATO, N. **Manufatura aditiva; Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2017.