

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

FERRAMENTA DE CORTE CERÂMICA BIOINSPIRADA: DESENVOLVIMENTO DE TEXTURIZAÇÃO SUPERFICIAL ATRAVÉS DE MANUFATURA ADITIVA FOTOPOLIMÉRICA

MIGUEL A. OLIVEIRA¹, NATHÁLIA A. S. CRUZ², ITALO L. CAMARGO³, RENAN L. FRAGELLI⁴

¹Graduando em Engenharia Mecânica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Itaquaquecetuba, miguelaon2@gmail.com.

²Graduanda em Engenharia Mecânica, Bolsista PIBITI, IFSP, Campus Itaquaquecetuba, nathalia.cruz@aluno.ifsp.edu.br.

³Professor EBT, Área Mecânica, IFSP - Campus Itaquaquecetuba, italo.camargo@ifsp.edu.br.

⁴Professor EBT, Área Mecânica, IFSP - Campus Itaquaquecetuba, renan.fragelli@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.05.01-1 - Matrizes e Ferramentas Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.05.01-1 - Matrizes e Ferramentas

RESUMO: Durante o processo de torneamento de materiais duros, é necessária a utilização de máquinas adequadas e ferramentas de corte com elevada dureza, resistência ao desgaste e inércia química. Nesse contexto, foi proposto o desenvolvimento de uma ferramenta cerâmica com texturização superficial bioinspirada, já que a cerâmica se destaca por suas propriedades diferenciadas, como elevada estabilidade química e térmica e alta dureza a quente e a frio. A texturização superficial na ferramenta contribui para o aumento de sua vida útil. Nesta pesquisa, buscamos inspiração na natureza para o desenvolvimento de novas texturas, sendo criadas três variações: (a) escamas do pangolim, (b) carapaça do tatu e (c) escamas de peixe. A fabricação dessa ferramenta foi realizada por fotopolimerização em cuba, método escolhido por possibilitar a produção de diversas texturas sem a necessidade de confecção de vários moldes. Como resultados parciais obtidos até o momento, foi possível observar que a impressão em resina convencional apresentou bons resultados, embora tenham sido identificadas falhas em alguns padrões. Já na impressão com resina cerâmica, as texturas não foram reproduzidas, sendo totalmente preenchidas durante a cura. Esse comportamento se deve às propriedades da suspensão cerâmica e está sendo investigado para as próximas etapas da pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE: Usinagem; Manufatura Aditiva, Fotopolimerização em cuba; ferramenta de corte texturizada, Ferramenta Biomimética.

BIOINSPIRED CERAMIC CUTTING TOOL: DEVELOPMENT OF SURFACE TEXTURING THROUGH STEREOLITHOGRAPHY (SLA) ADDITIVE MANUFACTURING

ABSTRACT: During the turning process of hard materials, the use of appropriate machines and cutting tools with high hardness, wear resistance, and chemical inertness is required. In this context, the development of a ceramic cutting tool with bioinspired surface texturing was proposed, as ceramics stand out for their distinctive properties, such as high chemical and thermal stability and high hardness at both high and low temperatures. Surface texturing on the tool contributes to increasing its service life. In this research, inspiration was drawn from nature for the development of new textures, resulting in three different variations: (a) pangolin scales, (b) armadillo shell, and (c) fish scales. The manufacturing of this tool was carried out through stereolithography, a method chosen for enabling the production of multiple textures without the need for several individual molds. Based on the partial results obtained so far, printing in conventional resin showed good results, although some patterns presented flaws. In contrast, printing with ceramic resin did not reproduce the textures, which were completely filled during

curing. This behavior is attributed to the properties of the ceramic resin and is currently being investigated for the next stages of the research.

KEYWORDS: Machining; Additive Manufacturing; Vat Photopolymerization; Textured Cutting Tool; Biomimetic Tool.

INTRODUÇÃO

São considerados processos de usinagem aqueles em que ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco (DIN 8580). Durante esse processo, a ferramenta de corte responsável por efetuar o corte na peça é submetida a diversos esforços que, eventualmente, levam ao fim de sua vida útil. Com o objetivo de aumentar a eficiência desse processo, diversas soluções foram propostas, entre elas a escolha adequada da matéria-prima.

As ferramentas de corte devem possuir propriedades como elevada dureza e tenacidade, resistência ao desgaste, à compressão, ao cisalhamento e ao choque térmico, além de manter boas propriedades mecânicas em altas temperaturas e apresentar inércia química (AMORIM, 2012). Por essa razão, optou-se pelo uso de material cerâmico, que atende a esses requisitos e se destaca pela elevada estabilidade química e térmica, bem como pela alta dureza tanto a quente quanto a frio.

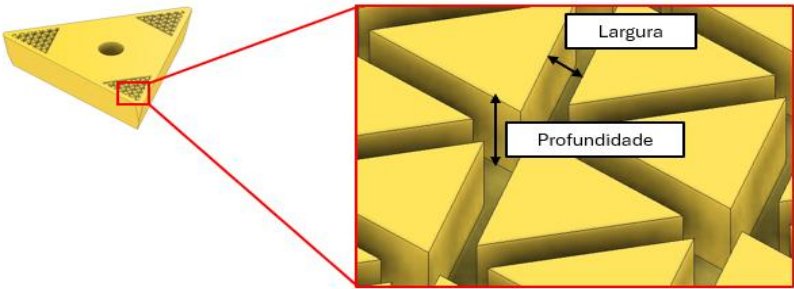
Nos últimos anos, as pesquisas têm explorado não apenas novos materiais, mas também o aperfeiçoamento do design das ferramentas como estratégia para prolongar sua vida útil e melhorar o desempenho em usinagem. Nesse contexto, surgem as ferramentas biomiméticas, inspiradas em características encontradas na natureza, que têm demonstrado avanços no desempenho de corte, na eficiência, na qualidade do acabamento, no design e na durabilidade. Além de superar desafios tradicionais de otimização, promovem a sustentabilidade ecológica por meio do design bioinspirado. Servem como referência e modelo para novos projetos, e seu desenvolvimento, focado em eficiência e sustentabilidade, tem atraído crescente interesse e impulsionado novas soluções para a concepção de ferramentas em diferentes áreas (HUANG et al., 2024).

(Li et al) desenvolveram uma ferramenta biomimética composta com microtextura em ranhura côncava a 45°. Constatou-se que, em comparação com ferramentas tradicionais, o revestimento composto reduziu a força de corte principal e a força radial em 35% e 62%, respectivamente, além de diminuir a temperatura de corte em 3,5%. Com a redução das forças de corte e da temperatura, a estabilidade do corte melhorou e a ocorrência de adesão de cavacos na superfície da ferramenta diminuiu. Esses resultados ressaltam o grande potencial de incorporar morfologias superficiais bioinspiradas no design de ferramentas de corte, proporcionando melhor desempenho por meio de maior controle de atrito, redução de adesão e aumento da resistência ao desgaste.

MATERIAL E MÉTODOS

O Autodesk Inventor foi utilizado como software de CAD, no qual foi desenvolvido o desenho técnico bioinspirado e, posteriormente, a extrusão dos modelos 3D contendo seis pontas de ferramentas com diferentes dimensões. As pontas de ferramentas foram denominadas por duas letras: a primeira representa a largura entre os padrões e a segunda, a profundidade da texturização, seguindo os parâmetros apresentados na Figura 1 e na Tabela 1. O processo de desenvolvimento está representado na Figura 2, e as Biotexturizações que foram escolhidas, (a) escamas do pangolim, (b) carapaça do tatu e (c) escamas de peixe foram decididas em função da análise feita por Alagan (2025), onde essas três texturas comparadas a outras nove analisadas, tiveram um desempenho melhor na redução do coeficiente de atrito.

FIGURA1. Demonstração das medidas do padrão



FONTE: do autor

TABELA 1. Dimensões da texturização
Largura (L)

Altura (H)	Largura (L)			
	A	C	D	
	A	0,10/0,10mm	0,15/0,10mm	0,20/0,10mm
	B	0,10/0,05mm	0,15/0,05mm	0,20/0,05mm
	C	0,10/0,15mm	0,15/0,15mm	0,20/0,05mm
	D	0,10/0,20mm	0,15/0,20mm	0,20/0,05mm

FONTE: do autor

FIGURA 2. Processo de desenvolvimento do modelo 3d das ferramentas

	Bioinspiração	Textura em 2d	Modelo 3d
(a)			
(b)			
(c)			

FONTE: do autor

Para a impressão 3D de protótipos, foi utilizada a impressora Moonray D75 com uma resina comercial. Usando o software fatiador próprio da máquina, o Sprintray, os arquivos STL foram impressos com resolução de 50 µm e tempo de exposição de 15 s.

Para a fabricação das peças em resina cerâmica, diferente da impressão com resina comercial, a suspensão que usamos para realizar a impressão foi preparada utilizando pó cerâmico de alumina com tamanho médio de partícula de 1 µm, resina líquida poly (ethylene glycol) -diacrylat, dispersante

DISPERBYK-111 (BYK-Chemie), fotoiniciador Phenylbis (2,4,6-trimethylbenzoyl) phosphine oxide e quartzo (MCQ-325, Minasolo).

Além disso, foram processadas dentro de um jarro com bolas de zircônio a uma frequência de 3,58 Hz por 24 horas, a fim de quebrar os aglomerados e homogeneizar a suspensão (CAMARGO et al., 2021) e, assim, imprimir as ferramentas de corte na impressora LD-002H Creality.

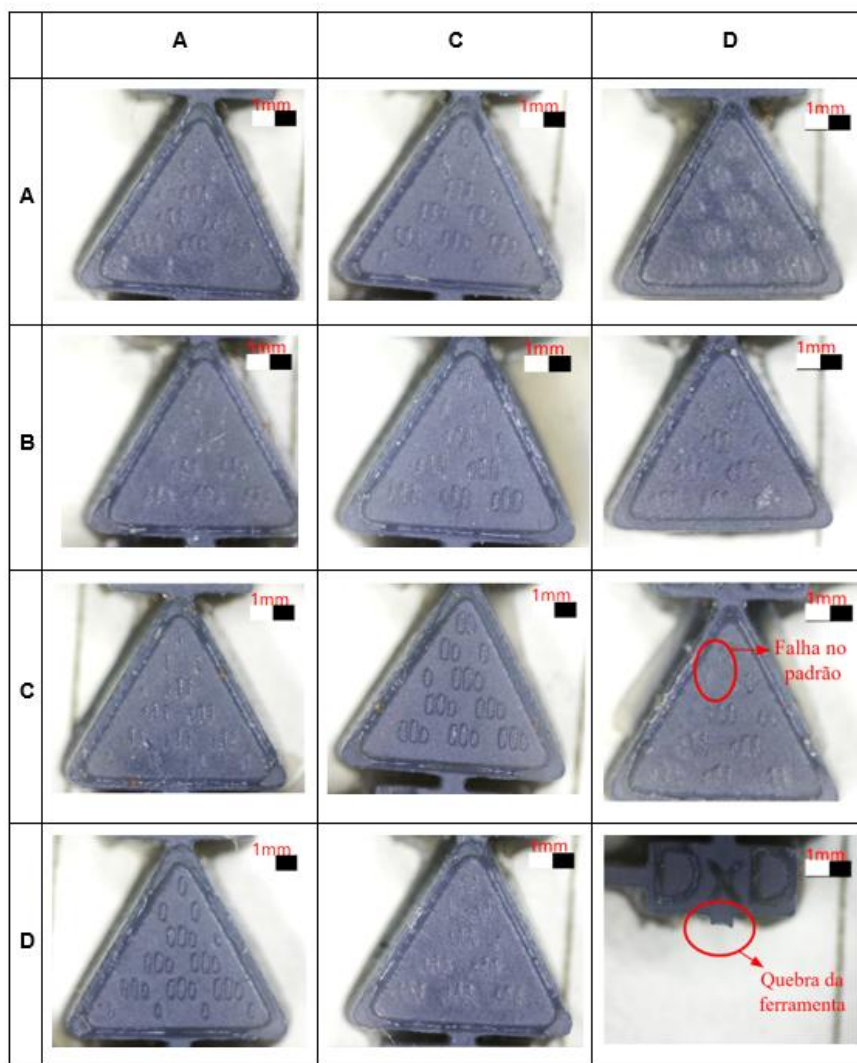
Com a finalidade de compreender qual seria o melhor tempo de exposição para a impressão das superfícies texturizadas, realizou-se a impressão de apenas uma camada com a variação do tempo. Neste caso, foi utilizado o software fatiador Chitubox como software de CAM para definir os parâmetros de impressão.

Assim como no Sprintray, foi empregada resolução de 50 μm ; entretanto variando o tempo de exposição, sendo eles 1 s e 2 s. Para a realização da análise, utilizou-se o microscópio Stemi 508, acoplado à câmera AxioCam 208 color, empregada para a digitalização e captura das imagens.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a impressão das peças com resina convencional, notou-se que, quanto maior a profundidade, mais visível se tornava a texturização sob o microscópio. Também que, mesmo com o processo completo de impressão, a impressora falhava em reproduzir o padrão em algumas ocasiões, deixando espaços vazios como indicado na Figura 3 - 3xC, que apresenta uma região sem texturização. Além disso, devido à fragilidade da resina convencional, houve quebra da peça no momento da remoção da mesa de impressão, fato visível na peça 3xD

FIGURA 3. Fotos retiradas da peça impressa em resina convencional

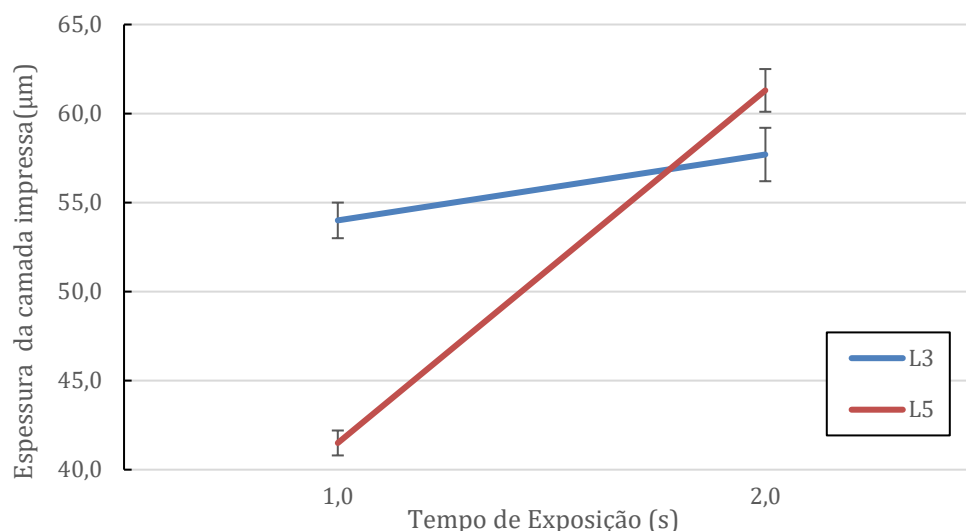


FONTE: do autor

Após verificarmos a viabilidade da impressão das texturas com a resina convencional, prosseguimos para a etapa de impressão utilizando resina cerâmica. Os primeiros testes foram realizados com uma geometria de ferramenta de corte previamente desenvolvida nesse material, cujos dados de tempo de exposição em relação à espessura da camada estão apresentados na Figura 4 e as fotos do modelo impresso estão dispostas na Figura 5.

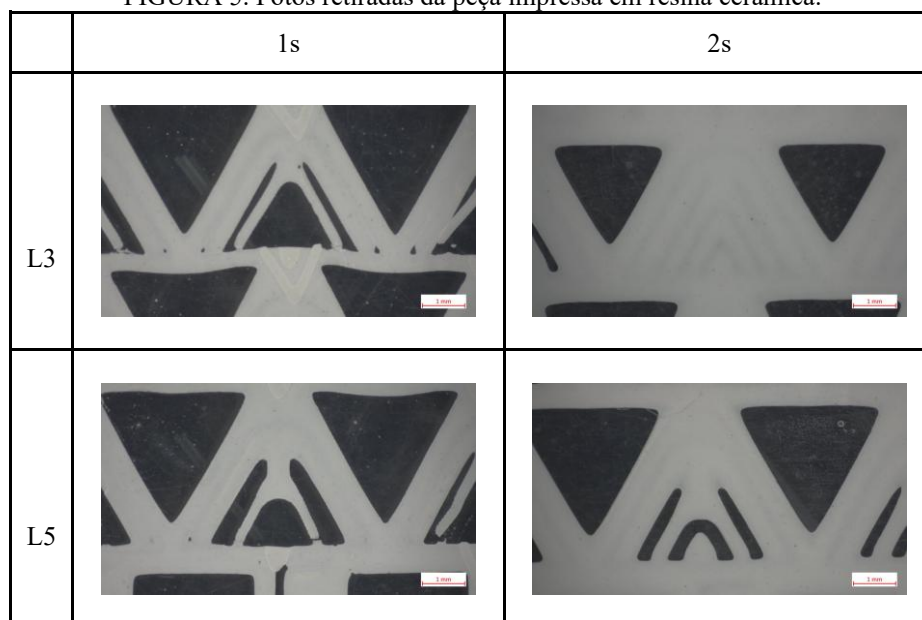
Em seguida, foram realizados testes com texturização biomimética; entretanto, quando aplicados ao modelo bioinspirado, os padrões não apareceram no resultado, pois a resina preenche totalmente os espaços entre as texturas. Acredita-se que isso tenha ocorrido porque o espaçamento entre os padrões era menor do que o limite possível de ser reproduzido pela manufatura aditiva cerâmica.

FIGURA 4. Tabela espessura x tempo de camada



FONTE: do autor

FIGURA 5. Fotos retiradas da peça impressa em resina cerâmica.



FONTE: do autor

CONCLUSÃO

O presente trabalho ainda está em andamento, portanto apresenta apenas resultados parciais. Os resultados preliminares indicam que, embora as peças apresentem bons resultados com a resina

convencional, a manufatura aditiva de cerâmicas apresenta desafios que impactam o resultado e ainda estão sendo definidos. Uma possível solução para a imprevisibilidade observada na impressão cerâmica está sendo investigada e consiste na modificação das dimensões dos modelos, com o aumento do espaçamento entre os padrões. Nesse caso, quando o espaçamento é muito pequeno, apesar de o feixe de UV responsável pela solidificação da resina possuir uma geometria limitada, o processo de cura acaba ocorrendo também nas regiões periféricas ao contorno pré-definido pela luz UV emitida. Sendo assim, dependendo do tempo de exposição, o processo de cura nessas regiões periféricas pode preencher todos os espaços, inclusive os que deveriam permanecer vazios. Por esse motivo, ajustes no espaçamento estão sendo estudados, tendo em vista que, realizando essas mudanças, mesmo se o processo de cura preenchesse uma região indesejada, a geometria não seria comprometida por ter mais espaço entre elas. Isso também poderia trazer benefícios à ferramenta, já que, por possuir uma cavidade mais acentuada, poderia acumular maior quantidade de resíduos e fluido refrigerante, promovendo uma dupla lubrificação e impedindo desgaste secundário provocado por esses resíduos, auxiliando no processo de usinagem.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

R. L. F. contribuiu com a supervisão do trabalho, administração do projeto, curadoria e análise dos dados, além de orientações para a tomada e interpretação dos mesmos.

I. L. C. contribuiu com a pesquisa, metodologia e execução de experimentos.

M. A. O. N. contribuiu com o desenvolvimento de modelos 3D, metodologia, execução de experimentos, tomada e análise dos dados e redação do trabalho.

N. A. S. C. contribuiu com a pesquisa, metodologia, curadoria e análise dos dados, além da redação do trabalho.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) - Campus Itaquaquecetuba

REFERÊNCIAS

ALAGAN, Nageswaran Tamil et al. Sustainable machining of aluminum MMCs: The role of biomimetic textured cutting tools in cryogenic conditions. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 133, p. 1005-1024, 2025. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.11.057> Acesso em: 15 Ago. 2025.

AMORIM, Heraldo José de. Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro. 2002.

CAMARGO, I. L. D.; ERBERELI, Rogério; FORTULAN, Carlos Alberto. Additive manufacturing of electrofused mullite slurry by digital light processing. **Journal of the European Ceramic Society**, [s. l.], v. 41, n. 14, p. 7182–7188, 2021.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. *DIN 8580: Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung*. Berlin: DIN, 2003.

HUANG, Shuai et al. Bionic design and optimization of cutting tools: Applications and processability. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 131, p. 1086-1131, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.09.058>. Acesso em: 30 jul. 2025.

LI, Q.; MA, C.; WANG, C.; WANG, B.; ZHANG, S. Analysis of the cutting performance of coated micro-textured bionic tools for dry cutting AISI 52100. *Machines*, v. 11, n. 886, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines11090886>. Acesso em: 15 Ago. 2025.