



IMPRESSÃO 3D APLICADA À QUÍMICA: DA CALIBRAÇÃO À PRODUÇÃO DE RECURSOS DIDÁTICOS E LABORATORIAIS

Karen B. L. da Silva¹; Jonathan J. F. Cruz¹; Maria F. V. de Moura²; Pollyana S. Castro¹

¹Núcleo Integrado de Soluções Analíticas, Instituto de Química, ²Central de Laboratórios da Engenharia de Alimentos - Universidade Federal do Rio Grande do Norte
kbeatriz231@gmail.com

Palavras-Chave: Manufatura Aditiva, Química Analítica, Aplicações em Laboratório

Introdução

A manufatura aditiva, mais conhecida como impressão 3D, tem ampliado suas aplicações em laboratórios de Química, tanto no ensino quanto na pesquisa. Inicialmente associada às áreas de engenharia e prototipagem, essa tecnologia passou a ser empregada na fabricação de suportes e acessórios laboratoriais, recursos didáticos, reatores personalizados e dispositivos funcionais. Nas ciências analíticas, suas aplicações incluem sistemas de separação e sensoriamento, plataformas microfluídicas, imunossensores e biossensores, além de dispositivos de baixo custo que integram técnicas eletroquímicas e ópticas (TULLY; MELONI, 2020).

A manufatura aditiva compreende diferentes técnicas, definidas principalmente pelo material empregado e pelo mecanismo de formação das camadas. Entre elas, destacam-se a estereolitografia (SLA), baseada na cura de resinas fotossensíveis por radiação ultravioleta; o Digital Light Processing (DLP), que utiliza a projeção de luz para solidificar as camadas; a sinterização seletiva a laser (SLS), baseada na sinterização de materiais em pó; e o material jetting, que promove a deposição controlada de materiais fotopoliméricos (DADDA, 2021; COSTA et al., 2021; HIGGINS et al., 2021; LUPONE et al., 2022).

Entre essas técnicas, destaca-se a modelagem por deposição fundida (FDM – Fused Deposition Modeling), amplamente utilizada devido ao baixo custo e à facilidade de operação. Nesse processo, um filamento termoplástico é aquecido, extrudado por um bico e depositado sucessivamente sobre uma plataforma até a formação do objeto tridimensional (DA SILVA et al., 2020; ACIERNO; PATTI, 2023). A qualidade das peças depende de parâmetros como temperatura de extrusão, altura de camada, velocidade de impressão, preenchimento e



resfriamento, os quais influenciam a adesão entre camadas, o acabamento superficial e a ocorrência de defeitos. Assim, a calibração do processo é essencial para definir condições adequadas de fabricação (ACIERNO; PATTI, 2023; BAKIR; ATIK; ÖZERINÇ, 2021).

Entre os materiais empregados em FDM, o ácido polilático (PLA) destaca-se pela facilidade de processamento, baixa contração térmica e boa estabilidade dimensional, sendo amplamente utilizado em ambientes acadêmicos e em prototipagem. Além disso, a criação de modelos digitais com geometrias específicas, seguida de sua fabricação por impressão 3D, permite adaptar peças às necessidades de diferentes aplicações, característica particularmente relevante no ambiente laboratorial.

Nesse contexto, a impressão 3D mostra-se relevante para laboratórios de Química por permitir a fabricação de acessórios, materiais didáticos e estruturas personalizadas, além de proporcionar conhecimentos aplicáveis ao desenvolvimento de dispositivos analíticos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a impressão 3D como ferramenta de apoio às atividades laboratoriais e acadêmicas, por meio da calibração dos parâmetros de impressão e da fabricação de peças personalizadas. O estudo justifica-se pela necessidade de explorar alternativas de fabricação adaptáveis às demandas do laboratório e pela possibilidade de empregar a experiência adquirida em modelagem e impressão 3D no desenvolvimento futuro de peças e moldes para sensores eletroquímicos de baixo custo.

Material e Métodos

Foi utilizada uma impressora 3D Creality Ender-3 V3 SE e filamentos de ácido polilático (PLA) nas cores preta, branca, cinza e azul. Os protótipos foram modelados no software Autodesk AutoCAD 2026.1.1; alguns modelos também foram obtidos no repositório digital Thingiverse, em formato STL. Em seguida, os arquivos foram fatiados no software Ultimaker Cura 5.11.0, no qual se definiram os parâmetros de fabricação conforme a geometria e a finalidade de cada peça. Após a impressão, quando necessário, realizaram-se etapas de pós-processamento, como remoção de suportes, acabamento e polimento com alicates de corte e lixas abrasivas.

Inicialmente, realizaram-se ensaios de calibração com modelos específicos. A torre de temperatura foi empregada para avaliar o comportamento dos filamentos entre 180 e 225 °C; o cubo XYZ, com dimensões nominais de 20 × 20 × 20 mm, foi utilizado para avaliar a qualidade de impressão nos três eixos; e a



torre de overhang permitiu examinar a fabricação de superfícies inclinadas sem estruturas de suporte. Nesses ensaios, foram avaliados parâmetros como temperatura de extrusão, velocidade de impressão e altura de camada, visando reduzir defeitos e melhorar a qualidade das impressões.

Após a calibração, foram fabricados protótipos com diferentes finalidades: suporte para micropipetas, peças de xadrez, chaveiros, modelos moleculares e um troféu. As condições de fabricação variaram de 180 a 230 °C para a temperatura de extrusão e de 100 a 185 mm s⁻¹ para a velocidade de impressão, mantendo-se a altura de camada em 0,2 mm e o preenchimento em 100%. Estruturas de suporte foram utilizadas conforme a geometria de cada modelo.

As peças foram avaliadas qualitativamente por inspeção visual, considerando-se acabamento superficial, uniformidade e adesão entre camadas, fidelidade geométrica e presença de defeitos, como stringing, warping e falhas de deposição. Também foram examinados a estabilidade, o encaixe e a funcionalidade de cada protótipo em relação à finalidade proposta.

Resultados e Discussão

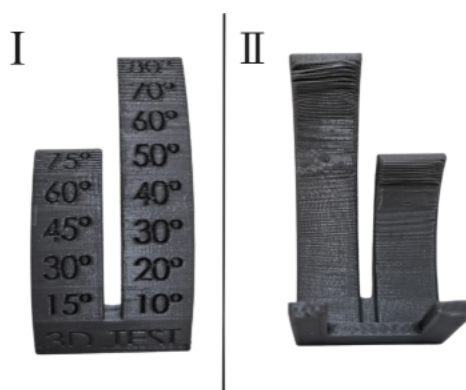
Os testes iniciais evidenciaram a importância de ajustar os parâmetros de impressão às características de cada filamento. Na torre de temperatura, a avaliação entre 180 e 225 °C revelou diferenças no acabamento, na adesão entre camadas e na formação de defeitos. O filamento azul apresentou falhas, principalmente na região de bridge, a 180 e 185 °C. O filamento cinza não exibiu o mesmo comportamento nessas temperaturas, mas apresentou comprometimento semelhante a 215 °C. Esses resultados demonstram que filamentos de mesma composição podem responder de modo distinto ao processamento, tornando necessária a calibração individual das condições térmicas.

Figura 1 – Torres de temperatura impressas em PLA azul e cinza para avaliação do acabamento, da adesão entre camadas e da formação de defeitos no intervalo de 180 a 225 °C.



A torre de overhang permitiu avaliar a fabricação de superfícies inclinadas sem suporte. Conforme observado na Figura 2, 50° foi o maior ângulo com deposição adequada, ausência de defeitos visíveis e manutenção da regularidade superficial. A partir de 60°, observaram-se falhas progressivamente mais evidentes, principalmente nas superfícies inferiores, em razão da redução da área de apoio para a deposição das camadas. Portanto, nas condições avaliadas, estabeleceu-se 50° como o limite de overhang com qualidade satisfatória.

Figura 2 – Torre de overhang utilizada para determinar o limite de impressão de superfícies inclinadas sem suporte; nas condições avaliadas, observou-se qualidade satisfatória até 50°.



O cubo de calibração apresentou boa definição geométrica, arestas bem formadas e marcações visíveis dos eixos X, Y e Z. Entretanto, observaram-se marcas de camadas nas faces, leve irregularidade na superfície superior e pequenas imperfeições nas bordas das letras. Apesar dessas ocorrências, não foram identificadas falhas estruturais que comprometessem a geometria geral da peça.



Figura 3 – Cubo de calibração XYZ, com dimensões nominais de 20 × 20 × 20 mm, utilizado para avaliação da qualidade de impressão nos eixos X, Y e Z.



Após a calibração, a impressão 3D foi aplicada à fabricação de objetos com diferentes finalidades. O suporte para micropipetas apresentou boa definição geométrica, estabilidade e pontos de apoio adequados para micropipetas de curvatura padrão. Não foram observadas deformações significativas que comprometessem seu uso, demonstrando a viabilidade da fabricação de acessórios personalizados para a organização e o apoio às atividades da rotina laboratorial.

Figura 4 – Suporte para micropipetas fabricado em PLA, com pontos de apoio adaptados à curvatura dos instrumentos e estabilidade para uso na rotina laboratorial.



As peças de xadrez reproduziram adequadamente as características dos



diferentes modelos, incluindo geometrias mais complexas, como cavalo, dama e rei. Embora apresentassem marcas superficiais características da deposição sucessiva das camadas, não foram observadas deformações significativas que impedissem seu uso. O conjunto demonstrou o potencial da impressão 3D para a produção de recursos educacionais personalizados.

Figura 5 – Conjunto de peças de xadrez impressas em PLA, utilizado para avaliar a reprodução de geometrias variadas e complexas.



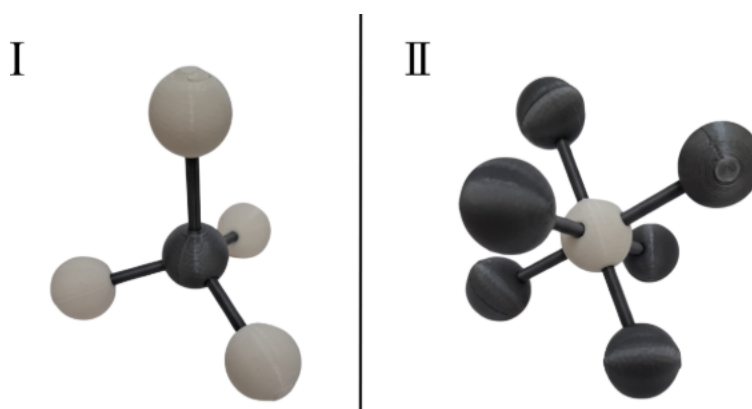
Os chaveiros produzidos para a Olimpíada de Química apresentaram diferentes combinações de cores e elementos de identificação visual do evento. A geometria e os orifícios de fixação foram reproduzidos adequadamente, sem falhas estruturais significativas. A produção evidenciou a capacidade de reprodução e personalização de objetos destinados a atividades acadêmicas.

Figura 6 – Chaveiros personalizados produzidos por impressão 3D para a Olimpíada de Química, com diferentes combinações de cores e elementos de identificação visual.



Nos modelos moleculares tetraédrico e octaédrico, a geometria global foi preservada e o sistema modular apresentou encaixe satisfatório entre as partes. Observaram-se pequenas imperfeições superficiais, como linhas de deposição, marcas de junção (seam) e stringing, associadas à orientação das peças, ao uso de brim e ao deslocamento do bico entre diferentes regiões da impressão. Apesar dessas ocorrências, não foram identificadas falhas estruturais significativas nas regiões de encaixe. Os modelos apresentaram estabilidade adequada para montagem e manuseio, mostrando-se apropriados para fins didáticos.

Figura 7 – Modelos moleculares modulares impressos em PLA: (I) geometria tetraédrica e (II) geometria octaédrica, com encaixes destinados à montagem e ao manuseio didático.



Por fim, foi produzido um troféu de aproximadamente 22 cm de altura para um evento acadêmico. Devido às dimensões e à complexidade do modelo, a



peça foi dividida em três componentes — taça, estrutura intermediária com elementos decorativos e base —, impressos separadamente e posteriormente unidos por colagem. Essa estratégia permitiu fabricar uma estrutura de maior dimensão, mantendo a estabilidade após a montagem. O troféu foi impresso originalmente com filamento preto e depois pintado, demonstrando a possibilidade de empregar técnicas de pós-processamento para acabamento e personalização.

Figura 8 – Troféu de aproximadamente 22 cm de altura, fabricado em três componentes impressos separadamente em PLA, unidos por colagem e submetidos a acabamento por pintura.



De modo geral, os resultados demonstraram que a impressão 3D possibilitou a fabricação de peças com diferentes geometrias, dimensões e finalidades. Os testes de calibração foram fundamentais para compreender as limitações do processo, enquanto os protótipos evidenciaram aplicações laboratoriais, didáticas e acadêmicas. As pequenas imperfeições observadas não comprometeram significativamente a funcionalidade das peças e forneceram subsídios para o desenvolvimento de aplicações mais específicas na continuidade do projeto.

Conclusões

Os resultados demonstraram que a impressão 3D pode ser utilizada como ferramenta de apoio em ambientes laboratoriais e acadêmicos. Os testes de



calibração evidenciaram a influência das condições de processamento sobre a qualidade das peças, com destaque para os diferentes comportamentos dos filamentos avaliados e para a determinação de 50° como limite de overhang com acabamento satisfatório nas condições empregadas.

A fabricação do suporte para micropipetas, dos modelos moleculares, das peças de xadrez, dos chaveiros e do troféu demonstrou a versatilidade da manufatura aditiva na produção de acessórios laboratoriais, recursos didáticos e objetos personalizados para atividades acadêmicas. Embora tenham sido observadas pequenas imperfeições características do processo FDM, elas não comprometeram significativamente a funcionalidade das peças.

Os objetivos propostos foram alcançados, pois foi possível avaliar parâmetros de impressão, produzir peças com diferentes finalidades e desenvolver experiência nas etapas de modelagem, fatiamento, calibração, fabricação e pós-processamento. Os conhecimentos adquiridos fornecem uma base para a continuidade do trabalho, especialmente para o desenvolvimento de peças e moldes destinados à fabricação de sensores eletroquímicos de baixo custo, ampliando as possibilidades de aplicação da impressão 3D na Química Analítica.

Referências

- ACIERNO, D.; PATTI, A. Fused Deposition Modelling (FDM) of Thermoplastic-Based Filaments: Process and Rheological Properties—An Overview. *Materials*, 16(24), 7664, 2023.
- BAKIR, A. A.; ATIK, R.; ÖZERINÇ, S. Mechanical Properties of Thermoplastic Parts Produced by Fused Deposition Modeling: A Review. *Rapid Prototyping Journal*, 27(3), 537–561, 2021.
- COSTA, L. P. G. et al. 3D Printers in Dentistry: A Review of Additive Manufacturing Techniques and Materials. *Clinical and Laboratorial Research in Dentistry*, 2021.
- DADDA, H. G. Otimização topológica e manufatura aditiva por estereolitografia aplicada a componentes mecânicos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.
- DA SILVA, V. A. O. P.; TARTARE, V. A. P.; KALINKE, C. et al. Construção de um suporte ajustável lab-made impresso em 3D para medição de ângulo de contato. *Química Nova*, 43(9), 1312–1319, 2020.
- HIGGINS, C. I.; BROWN, T. E.; KILLGORE, J. P. Digital Light Processing in a Hybrid Atomic Force Microscope: In Situ, Nanoscale Characterization of the Printing Process. *Additive Manufacturing*, 38, 101744, 2021.
- LUPONE, F.; PADOVANO, E.; CASAMENTO, F.; BADINI, C. Process Phenomena and Material Properties in Selective Laser Sintering of Polymers: A Review. *Materials*, 15(1), 183, 2022.
- TULLY, J. J.; MELONI, G. N. A Scientist's Guide to Buying a 3D Printer: How to Choose the Right Printer for Your Laboratory. *Analytical Chemistry*, 92(22), 14853–14860, 2020.