

MANUFATURA ADITIVA DE METAIS: TÉCNICAS, APLICAÇÕES E DESAFIOS

Kaio Hilario da Silva Travassos¹
Raí Flausino Costa¹
Matheus Fernandes de Andrade²

matheus.andrade.univertix@gmail.com

ÁREA DO CONHECIMENTO: Engenharias

PALAVRAS-CHAVE:Manufatura aditiva (MA); Impressão 3D; Direct Energy Deposition (DED) e Powder Bed Fusion (PBF); Indústria 4.0.

1 INTRODUÇÃO

Os processos convencionais de fabricação baseiam-se em moldagem, conformação, união, divisão ou, mais comumente, na subtração de material para alcançar a forma desejada. No final da década de 1980, emergiu a manufatura aditiva (MA), ou impressão 3D, na qual o componente é construído por camadas sucessivas de material a partir de um modelo digital (Volpato, 2017). Apesar dos avanços, a Manufatura Aditiva enfrenta desafios relacionados à velocidade de deposição, precisão dimensional, controle de processo e custo-eficiência. Diferente da manufatura subtrativa ou formativa, a MA adota abordagem construtiva por camadas, conferindo flexibilidade, alta personalização e adequação a diversos setores industriais. A otimização dos parâmetros e do processo é fundamental para seu sucesso (Volpato, 2017). Assim, este estudo tem como objetivo analisar os avanços, desafios e perspectivas da MA de metais como tecnologia estratégica para a indústria moderna.

2 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de revisão bibliográfica e documental, desenvolvida com base em estudos existentes, constituída principalmente por livros, normas técnicas, teses e artigos científicos publicados nos últimos 10 anos em língua portuguesa ou inglesa, encontrados com base em pesquisas no Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e portais institucionais. O objetivo deste estudo se integra na compreensão dos processos, materiais e aplicações industriais sobre a manufatura aditiva de metais. Para este estudo, foram utilizadas produções científicas que abordam conceitos, processos, aplicações e desafios da manufatura aditiva de metais (Gomes; Wiltgen, 2020), com foco na análise das tecnologias Direct Energy Deposition (DED) e Powder Bed Fusion (PBF), bem como nas ligas metálicas mais empregadas, como titânio, alumínio, aço inoxidável e superligas de níquel.

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Vértix Trirriense – Univértix.

² Engenheiro Mecânico. Mestre em Engenharia Química, de Materiais e Processos Ambientais. Professor do curso de Engenharia mecânica da Faculdade Vértix Trirriense - Univértix.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os principais processos de manufatura aditiva (MA) de metais destacam-se o DED e o PBF. O DED consiste na deposição de material metálico em forma de pó ou arame, fundido por laser ou plasma, sendo amplamente empregado em reparos e na produção de peças com elevada resistência mecânica, ainda que apresente menor precisão dimensional (Milewski, 2017). Já o PBF baseia-se na fusão seletiva de camadas de pó metálico por meio de laser ou feixe de elétrons, permitindo a fabricação de peças de alta qualidade e precisão geométrica. Redwood, Schöffner e Garret (2017) ressaltam que o PBF é atualmente o método mais difundido, especialmente no processamento de ligas como titânio, alumínio e aços inoxidáveis, consolidando-se como a principal tecnologia para componentes de geometrias complexas. As ligas metálicas utilizadas em MA apresentam propriedades específicas que direcionam suas aplicações industriais. O aço maraging destaca-se pela elevada resistência mecânica, sendo aplicado em componentes aeroespaciais, enquanto o titânio combina leveza e biocompatibilidade, tornando-se ideal para implantes médicos e próteses (Bouças; Campos, 2025). O aço inoxidável, devido à resistência à corrosão, é amplamente usado nos setores químico e farmacêutico, enquanto o alumínio se sobressai pela leveza e condutividade térmica, favorecendo aplicações automotivas e aeronáuticas. Ligas como cobalto-cromo e superligas de níquel ainda oferecem desempenho superior em ambientes de altas exigências térmicas e mecânicas, reforçando a versatilidade da impressão 3D em metais. A indústria aeroespacial tem adotado a MA pela possibilidade de fabricação de peças de baixa escala com alto grau de complexidade geométrica, baixo peso e elevada resistência estrutural (Bouças; Campos, 2025). Yakout *et al.* (2018) destacam que técnicas como a Selective Laser Melting (SLM) e a Electron Beam Melting (EBM) são amplamente utilizadas para a produção de componentes em ligas de titânio e alumínio, por possibilitarem a confecção de peças otimizadas com mínima massa e máxima eficiência estrutural. Collins e Core (2018) reforçam que as matérias-primas mais recorrentes nesses setores são o titânio, as ligas de alumínio e alguns tipos de aço, especialmente Ti6Al4V e Inconel 718. Empresas como GE e Airbus têm aplicado amplamente a manufatura aditiva em linhas de produção, obtendo otimização geométrica, redução de massa e simplificação de componentes quando comparada à manufatura subtrativa e formativa. Outras três frentes onde a MA se faz presente, são elas, manufatura direta, reparo e remanufatura. Onde na manufatura direta, a tecnologia é utilizada para produzir peças novas a partir de modelos digitais, esse processo permite criar componentes complexos, leves e otimizados (Thompson *et al.*, 2016). O reparo já atua de forma estratégica na restauração de componentes danificados ou desgastados. Em vez de substituir toda a peça, o material é adicionado apenas nas áreas comprometidas, diminuindo custo e tempo de manutenção (Zhang *et al.*, 2019; Yao *et al.*, 2022). A remanufatura já adota a função de recuperar peças usadas e devolvê-las a um estado semelhante ou superior ao original. Essa prática não só reduz custo de produção, mas também está alinhada com princípios de sustentabilidade, já que minimiza o consumo de matérias-primas (Wang *et al.*, 2023). Apesar dos avanços, muitas peças ainda requerem pós-processamento para alcançar padrões ideais de desempenho. Souza (2023) destaca a importância de tratamentos térmicos para aliviar tensões e homogeneizar microestruturas, enquanto técnicas de acabamento superficial, como jateamento, polimento e usinagem CNC, são

necessárias para corrigir imperfeições. Outro recurso essencial é a prensagem isostática a quente (HIP), que elimina poros internos e aumenta a resistência à fadiga, garantindo maior confiabilidade estrutural em aplicações críticas. Assim, a manufatura aditiva de metais consolida-se como uma tecnologia estratégica, capaz de atender às crescentes demandas da indústria 4.0, embora ainda demande avanços tecnológicos, padronização e redução de custos para sua plena adoção em larga escala.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desta pesquisa foi possível verificar que a manufatura aditiva (MA) se destaca pela capacidade de produzir peças de maior complexidade, porém mais leves e com alta resistência mecânica, tendo aplicação nos setores industrial, automobilístico, aeronáutico e aeroespacial. Dentre suas vantagens está a grande redução no desperdício de material, com aproveitamento próximo do 100% da matéria prima, especialmente no setor aeroespacial, em contraste com altos índices de descarte dos processos tradicionais (Volpato, 2017). Esta tecnologia ainda possibilita a fabricação de estruturas otimizadas, canais internos e peças personalizadas sem a necessidade de moldes, proporcionando flexibilidade, customização e inovação em produtos, no entanto sua adoção em larga escala enfrenta barreiras como o alto custo do pó metálico, baixa velocidade de produção, e necessidade de extensos processos de pós acabamento (Souza, 2023), um outro grande fator é a escassez de dados sobre comportamento em fadiga e normas de certificação também limita aplicações críticas, mas Manufatura Aditiva ainda se apresenta como tecnologia estratégica para indústria 4.0, redefinindo a produção industrial (Souza, 2023).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 52900:2015 — Manufatura aditiva – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=346521>. Acesso em: 29 ago. 2025.

ASTM INTERNATIONAL. **F3177-21 — Standard Guide for Additive Manufacturing of Metallic Materials**. West Conshohocken, PA, 2021. Disponível em: <https://store.astm.org/f3177-21.html>. Acesso em: 30 ago. 2025.

BOUÇAS, José Augusto da Cunha; CAMPOS, Luiz Claudio Rego. A evolução da manufatura aditiva aplicada a metais. **Revista Tecnologia e Sociedade – TEC USU**, Brasília, v.7, n.1, p.1-10, jan./jun. 2025. Disponível em: <https://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/view/5939/3948>. Acesso em: 30 ago. 2025.

GIBSON, Ian; ROSEN, David; STUCKER, Brent. **Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing**. 2. ed. New York: Springer, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4939-2113-3>. Acesso em: 29 ago. 2025.

GOMES, João Francisco Bueno; WILTGEN, Filipe. **Avanços na manufatura aditiva em metais: técnicas, materiais e máquinas**. *Revista Tecnologia*, Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/9917>. Acesso em: 30 ago. 2025.

HULL, Charles W. **Inventor da estereolitografia (SLA), cofundador da 3D Systems**. S.n., [S.l.], [s.d.]. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Chuck_Hull. Acesso em: 29 ago. 2025.

MILEWSKI, John O. **Additive manufacturing of metals: from fundamental technology to rocket nozzles, medical implants, and custom jewelry**. Cham: Springer, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-58205-4>. Acesso em: 29 ago. 2025.

REDWOOD, Ben; SCHÖFFER, Filemon; GARRET, Brian. **The 3D printing handbook: technologies, design and applications**. Amsterdam: 3D Hubs, 2017. Disponível em: <https://www.3dhubs.com/guides/3d-printing/>. Acesso em: 29 ago. 2025.

SOUZA, Adriel M. **Post-processing of metallic parts produced by additive manufacturing**. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18163/tde-16052023092134/publico/TeseSouzaAdrielMagalhaesSouzaCorrig.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2025.

THOMPSON, M. K. *et al.* **Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints**. *CIRP Annals*, v. 65, n. 2, p. 737-760, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.004>. Acesso em: 30 ago. 2025.

VOLPATO, Neri (org.). **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017. Disponível em: https://www.blucher.com.br/manufatura-aditiva_9788521211501. Acesso em: 29 ago. 2025.

WANG, H.; GAO, J.; JIANG, P.; SONG, B. **A systematic review of additive manufacturing-based remanufacturing techniques for component repair and restoration**. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 91, p. 684-702, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.02.009>. Acesso em: 30 ago. 2025.

YAO, X. *et al.* **Repair and restoration of engineering components by laser directed energy deposition: A review**. *Materials Today: Proceedings*, v. 62, p. 3033-3039, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.427>. Acesso em: 30 ago. 2025.

ZHANG, Y.; BERNARD, A.; GUPTA, R. K.; HARIK, R. **Additive Manufacturing for Repair and Restoration in Remanufacturing: An Overview from Object Design and Systems Perspectives**. *Processes*, v. 7, n. 11, p. 802, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr7110802>. Acesso em: 30 ago. 2025.