

AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DE AÇO PROCESSADOVanessa Oliveira Nicodemos¹ (IC), Reny Angela Renzetti (PQ)¹¹Universidade Federal de Itajubá - Campus Itabira.

Palavras-chave: Análise microestrutural. Deposição a arco. Manufatura aditiva. Preparação de amostras. Propriedades mecânicas.

Introdução

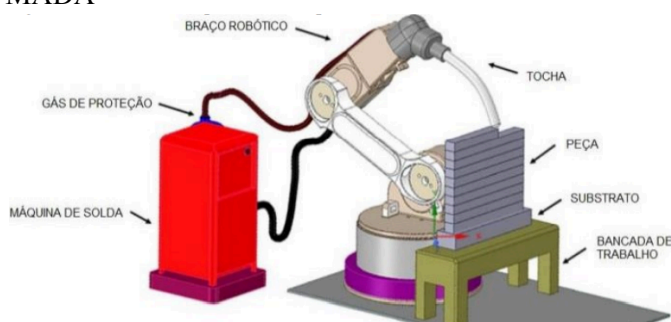
A Manufatura Aditiva por Deposição a Arco (MADA) é uma tecnologia de fabricação que vem ganhando destaque por possibilitar a produção de peças metálicas com boa precisão e geometrias difíceis, que muitas vezes seriam inviáveis por métodos convencionais. Essa técnica utiliza processos de soldagem a arco como fonte de energia para fundir um arame metálico, depositando-o camada por camada até formar a geometria final da peça (COSTA; RESENDE, 2024; REZENDE et al., 2024). Atualmente, a MADA tem sido aplicada em setores como o aeroespacial e automotivo e começa a se expandir para a área da saúde, devido à possibilidade de personalizar componentes e reduzir etapas no processo produtivo. Além disso, uma vantagem está na capacidade de realizar reparos e fabricar componentes otimizados para melhor desempenho (ROSA, 2020).

O processo MADA é, em geral, realizado com o auxílio de uma fonte de soldagem (como GMAW - Gas Metal Arc Welding, GTAW - Gas Tungsten Arc Welding ou FCAW - Flux-Cored Arc Welding) acoplada a um sistema de alimentação de arame e movimentação controlada, que pode ser manual, automatizada ou robótica. Durante a fabricação, o arame é continuamente alimentado na poça de fusão gerada pelo arco elétrico, solidificando camada por camada até a obtenção da peça final. Parâmetros como corrente, tensão, velocidade de alimentação do arame e estratégia de deposição influenciam diretamente na qualidade dimensional, no acabamento superficial e na microestrutura final do componente (ANTONELLO, 2022; COSTA; RESENDE, 2024).

A Figura 1 ilustra, de forma simplificada, o funcionamento do processo MADA utilizando a técnica GMAW. Observa-se o arame sendo alimentado pelo

sistema de soldagem, e a deposição sucessiva de camadas. A figura também evidencia a possibilidade de controle da trajetória de deposição por meio de manipuladores ou robôs, o que garante maior repetibilidade e precisão no processo.

Figura 1 - Representação esquemática do processo MADA

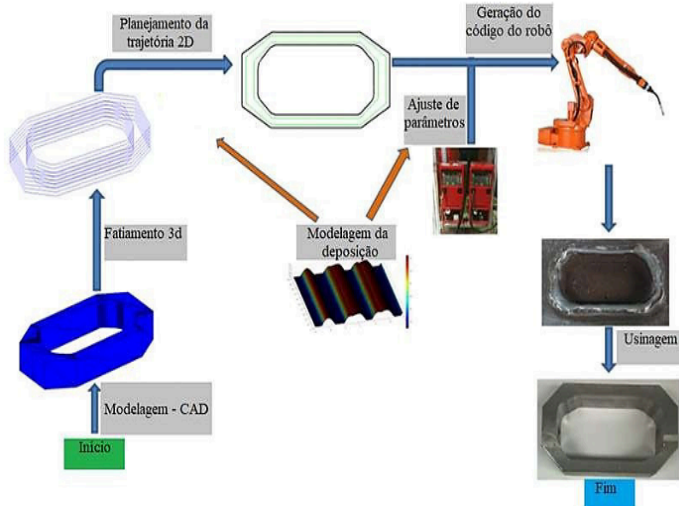


Fonte: Adaptado de Raut; Taiwade, 2021.

Para ilustrar o fluxo completo, a Figura 2 apresenta as etapas da MADA, que iniciam com o desenvolvimento do modelo em *software* CAD (Computer-Aided Design, ou Desenho Assistido por Computador), seguido pelo fatiamento e planejamento da trajetória de deposição. Em seguida, ocorre a execução do processo, normalmente com auxílio de robôs, e, por fim, o acabamento da peça por usinagem. Esse encadeamento evidencia que decisões tomadas em cada fase impactam diretamente o resultado final.

Figura 2 - Etapas do processo de MADA.

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”



Fonte: Adaptado de Rezende et al. 2024.

Além dos parâmetros operacionais, a escolha da estratégia de deposição, como padrões em linha reta, zigue-zague ou espiral, influencia de forma significativa as propriedades mecânicas, a homogeneidade do material e o aspecto superficial da peça. Por isso, compreender como essas variáveis afetam a microestrutura é essencial para aprimorar o desempenho e ampliar as aplicações dessa tecnologia (ANTONELLO, 2022).

Com base nesse contexto, este trabalho tem como objetivo estudar uma peça fabricada por MADA, buscando compreender como diferentes métodos de deposição influenciam suas características microestruturais. A escolha do tema se justifica pela importância de aprofundar o conhecimento sobre essa tecnologia, contribuindo para melhorias no processo e para ampliar seu uso em aplicações industriais.

Metodologia

Nesta pesquisa, os métodos empregados foram organizados na sequência em que as etapas foram realizadas. O material utilizado para a confecção de paredes pelo processo MADA foi um aço de alta resistência e baixa liga. Ao total, foram confeccionadas 6 paredes, sendo 3 paredes apenas o processo de manufatura aditiva por deposição a arco (W) e 3 paredes confeccionadas combinando o Processo MADA com o

forjamento após a deposição de cada camada (Hf). Posteriormente, as paredes foram tratadas termicamente, sendo uma parede W e uma Hf normalizadas em 900°C/1 h (nomenclatura: W.01 e Hf.01) e uma parede de cada condição temperada em água (nomenclatura: W.02 e Hf.02). Cada parede foi preparada metalograficamente.

Cada amostra recebeu um código específico para facilitar a identificação e a organização durante a pesquisa. Para facilitar o manuseio e garantir cortes precisos, foi medida a distância de 1,8 cm para o corte de cada parte da peça, Figura 3. O corte foi realizado em uma cortadeira de baixa velocidade, instalada na Unifei-Itabira. Posteriormente, as amostras foram embutidas a quente em baquelite.

Durante o embutimento, foram feitas pequenas marcações com pincel para indicar onde a resina deveria ser aplicada. Essas marcações ajudam a identificar a posição original da amostra se é a parte superior, intermediária ou inferior facilitando a organização durante as análises, Figura 4.

Após o embutimento, as amostras foram lixadas manualmente, seguindo a sequência das lixas 220, 600 e 1200, de forma a preparar a superfície para as etapas de análise.

Resultados e discussão

Até o momento, as peças foram preparadas para análise. Cada parede confeccionada, foi medida e cortada em três partes, totalizando 18 peças para estudar. Cada uma foi cuidadosamente embutida, e foram utilizados, para marcar, pontos que ajudam a identificar as partes superior, do meio e inferior durante o processo.

Depois disso, lixou-se as amostras para deixar a superfície pronta para a análise da microestrutura. Embora ainda não tenha sido realizada essa análise, sabe-se que essa organização e preparação são passos importantes para garantir que as amostras estejam em boas condições. A parede metálica obtida será a base para estudar as propriedades mecânicas e microestruturais, que serão estudadas e analisadas nas próximas fases da pesquisa.

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

Figura 3 – Foto das amostras antes de serem cortadas para indicar a região de corte.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4: Foto da amostra após embutimento com resinas de duas colorações indicando a parte inferior e superior da peça.



Fonte: Autoria própria.

A preparação das amostras da parede metálica feita por Manufatura Aditiva por Deposição a Arco (MADA) foi essencial para garantir que as próximas análises microestruturais possam ser feitas com qualidade. A peça foi dividida em partes e cada amostra identificada, o que facilitou bastante a organização e evitou erros durante o processo.

O embutimento e lixamento deixaram as superfícies das amostras prontas para a análise, etapa importante para entender melhor como diferentes métodos de deposição influenciam as propriedades do material. Embora ainda não tenha-se realizado essas análises, essa etapa inicial mostrou-se eficiente e organizada, o que vai ajudar a obter resultados confiáveis mais adiante.

Esse estudo ajuda a entender melhor a fabricação aditiva metálica e como a forma de deposição pode interferir na microestrutura, o que é importante para ampliar o uso dessa tecnologia na indústria.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Itajubá (Unifei) pelo suporte e infraestrutura fornecidos durante a realização desta pesquisa. Vanessa Oliveira Nicodemos agradece também à Unifei pelo financiamento da bolsa de Iniciação Científica que possibilitou a execução deste trabalho.

Referências

ANTONELLO, Miguel Guilherme. *Construção e expansão eletromagnética do arco elétrico no processo GTAW aplicada na manufatura aditiva*. 2022. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/44612> . Acesso em: 08 ago. 2025.

COSTA, Thiago Estevão; RESENDE, André Alves de. *Manufatura aditiva por deposição a arco (MADA): tendências recentes e futuras perspectivas*. Simpósio de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Catalão (UFCAT), 25 a 27 de setembro de 2024, Catalão, Goiás, Brasil. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/1012/o/MANUFAT>

Conclusões

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

URA_ADITIVA_POR_DEPOSIÇÃO_A_ARCO_MADA_TENDÊNCIAS_RECENTES_E_FUTURAS_PERSPECTIVAS.pdf. Acesso em: 08 ago. 2025.

REZENDE, Rogério Ferreira; ARIAS, Ariel Rodríguez; LIMA II, Eduardo José; COELHO, Fagner Guilherme Ferreira. *Manufatura aditiva metálica: uma visão geral e perspectivas para a manufatura aditiva por deposição a arco baseada no processo GMAW*. Soldagem & Inspeção, São Paulo, v. 29, e2915, 2024. DOI: 10.1590/0104-9224/SI29.15. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/387916680_Manufatura_Aditiva_Metalica_Uma_Visao_Geral_e_Perspectivas_para_a_Manufatura_Aditiva_por_Deposicao_a_Arco_Baseada_no_Processo_GMAW. Acesso em: 11 ago. 2025.

ROSA, Filipi Giotti da. *Manufatura aditiva por deposição a arco: uma análise crítica da tecnologia e perspectivas para o futuro*. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/217365/001120911.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 08 ago. 2025.

LIMA, João. Análise do desempenho acadêmico dos estudantes de Engenharia de Produção da UFC. 2023. [Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023]. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/75096/1/2023_tcc_jlima.pdf. Acesso em: 12 ago. 2025.