



Avaliação de dispositivo de resfriamento e limpeza por ar comprimido aplicado ao processo de manufatura aditiva

Erwin Werner Teichmann | erwin@ifsc.edu.br
Jorge Ricardo Bergmann Rzatki | jorge.br@aluno.ifsc.edu.br
Nelso Gauze Bonacorso | nelso@ifsc.edu.br
Nerino Mariano de Brito Filho | nerino.bf1988@aluno.ifsc.edu.br
Rafael Nunes | rafaelnunes@bil.ibs.be

RESUMO

A Manufatura Aditiva a Arco Elétrico com Arame (WAAM), via soldagem GMAW robotizada, apresenta desafios no controle térmico e na remoção de resíduos, influenciando a qualidade e produtividade das peças (HACKENHAAR et al, 2020). Este estudo avaliou diferentes métodos de resfriamento na fabricação de quatro paralelepípedos de aço carbono ASTM A36 em bancada robotizada Fanuc M10iA, utilizando arame AWS ER70S-6 e temperatura interpasse de 150°C. Foram testados quatro métodos: sem resfriamento, resfriamento natural, por ar comprimido a 6 bar e via água na base. O resfriamento por ar comprimido apresentou melhor desempenho, obtendo classificação Classe A segundo a norma WAAM e aprovação nos ensaios de dobramento, enquanto o resfriamento por água, embora mais rápido, gerou trincas.

Palavras-chave: manufatura aditiva; soldagem GMAW; resfriamento; WAAM; qualidade dimensional.

INTRODUÇÃO

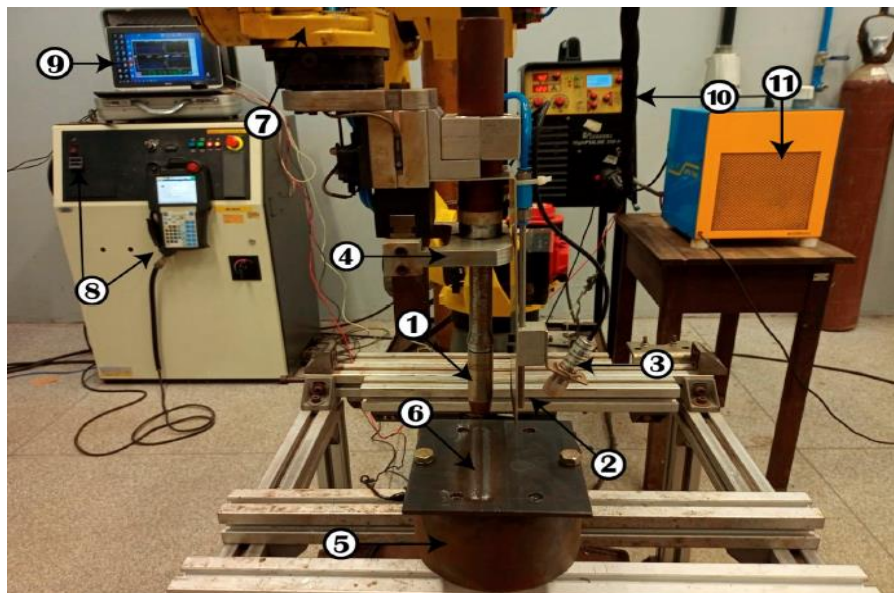
A Manufatura Aditiva a Arco Elétrico com Arame (WAAM), utilizando soldagem robotizada GMAW, destaca-se pela produção de peças complexas e personalizadas com equipamentos simples e de baixo custo, especialmente para grandes dimensões. O processo enfrenta desafios no controle térmico e remoção de resíduos durante a deposição, o que pode comprometer a qualidade e aumentar o tempo de produção pela necessidade de resfriamento entre camadas (SILVA et al, 2020). As ilhas de sílica formadas na superfície da solda, se não removidas, fragilizam a peça. Para superar essas limitações, foi desenvolvido um dispositivo que usa ar comprimido para resfriamento e limpeza, reduzindo resíduos e controlando a temperatura da peça.

MÉTODO

Para avaliar o desempenho do dispositivo, foi montada uma bancada robotizada (Figura 1) composta por um robô Fanuc M10iA, fonte Merkle Balmer High Pulse 352K, tocha automática GMAW, sensor infravermelho e controlador digital para manter a temperatura interpasse em 150°C. Utilizaram-se substratos de aço carbono ASTM A36

e arame AWS ER70S-6, com gás de proteção de argônio e 25% de dióxido de carbono a 15 l/min. Os parâmetros de soldagem foram 18 V, 120 A e velocidade de arame de 4,2 m/min, resultando em taxa de fusão de 1,55 kg/h. Foram produzidos quatro paralelepípedos de aço carbono (65×65×32 mm) para comparar métodos de resfriamento: (1) sem resfriamento adicional; (2) resfriamento natural até atingir a temperatura interpasse; (3) resfriamento intercalado por ar comprimido a 6 bar durante 45 s; e (4) resfriamento simultâneo por água na base do substrato. Os tempos de fabricação foram, respectivamente, 2.560, 10.057, 4.900 e 2.968 segundos, evidenciando diferenças significativas em produtividade e qualidade das peças.

Figura 1 Estrutura da bancada robotizada utilizada no experimento

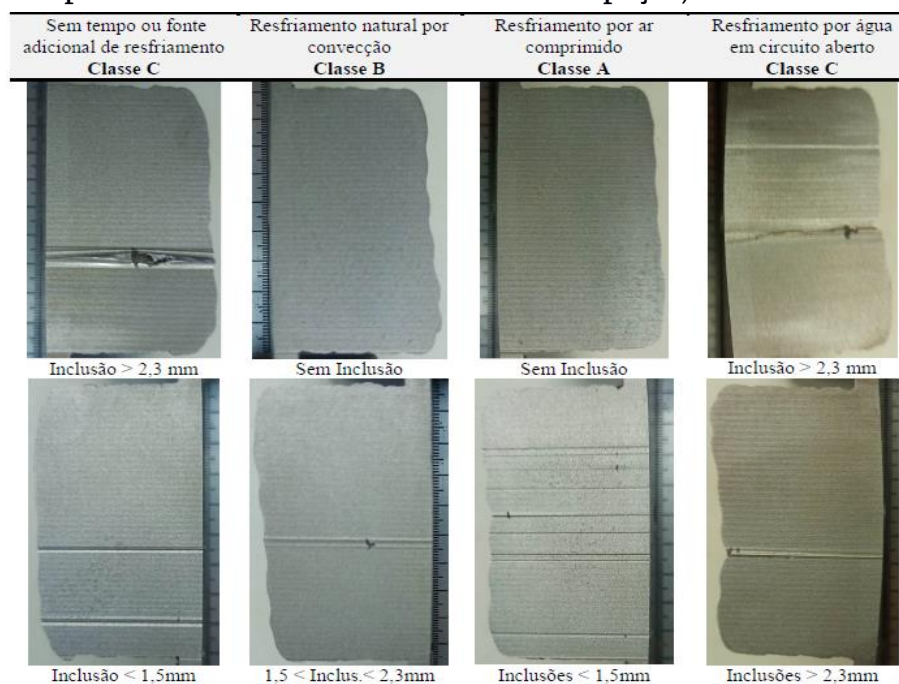


Fonte: TEICHMANN et al., 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicam que o resfriamento por ar comprimido alcançou a melhor classificação de qualidade, Classe A segundo a norma WAAM, superando o resfriamento natural, Classe B, e os outros dois métodos, Classe C, como visto nas Figuras 2 e 3. O resfriamento por água, embora mais rápido, apresentou falha mecânica com trinca visível, indicando fragilidade por inclusões próximas à superfície. Os melhores resultados em desvios dimensionais foram do resfriamento por ar comprimido e natural, mas considerando qualidade e tempo de produção, o ar comprimido foi a melhor opção. Além de reduzir o tempo de fabricação em 51,3% comparado ao natural, esse método promoveu limpeza efetiva das ilhas de sílica, manteve a temperatura interpasse em 150°C e assegurou alta qualidade dos componentes.

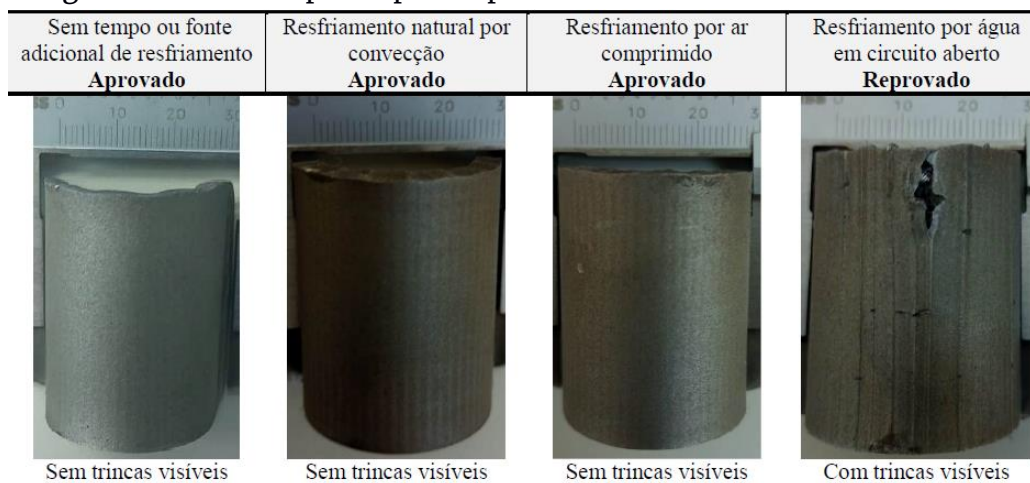
Figura 2. Superfícies internas das duas bordas das peças, tamanho das inclusões.



Fonte: TEICHMANN et al., 2025.

O resfriamento por água, porém, gerou trinca visível, apontando fragilidade causada por inclusões próximas à superfície, como mostrado na Figura 3. Considerando qualidade e produtividade, com redução de 51,3% no tempo em relação ao resfriamento natural e promovendo limpeza eficaz das ilhas de sílica, o resfriamento por ar comprimido se destacou como o melhor método, equilibrando redução significativa do tempo produtivo com alta qualidade. Em contraste, o resfriamento natural foi menos eficiente e o resfriamento por água, embora rápido, apresentou falhas mecânicas.

Figura 3 Foto dos corpos de prova após ensaio de dobramento severo de 180°.





Fonte: TEICHMANN et al., 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, o desempenho de um dispositivo de resfriamento e limpeza por ar comprimido aplicado à manufatura aditiva WAAM de peças em aço carbono via GMAW, quando comparando com três outras tecnologias de resfriamento, se mostrou a melhor alternativa em termos de qualidade, com destaque para a redução de descontinuidades e menor desvio dimensional. Na produção, reduziu pela metade o tempo de fabricação em relação ao resfriamento natural por convecção, apresentando eficiência intermediária. Considerando conjuntamente os aspectos de qualidade e produtividade, o resfriamento por ar comprimido mostrou-se a solução mais equilibrada e eficaz entre as opções analisadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina pelo suporte institucional. Agradecimentos especiais ao Laboratório de Pesquisa em Soldagem e ao Departamento Acadêmico de Metal Mecânica pelo apoio técnico e disponibilização dos equipamentos utilizados.

REFERÊNCIAS

- (1) TEICHMANN, E. W.; RZATKI, J. R. B.; BONACORSO, N. G.; NUNES, R. Dispositivo de Resfriamento e Limpeza por Ar Comprimido aplicado ao Processo de Manufatura Aditiva. In: CONSOLDA - CONGRESSO NACIONAL DE SOLDAGEM, 47.; CBMADI - CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUFATURA ADITIVA, 3., 2025, Joinville, SC.
- (2) SILVA, L. J.; SOUZA, D. M.; ARAÚJO, D. B.; REIS, R. P.; SCOTTI, A. Concept and validation of an active cooling technique to mitigate heat accumulation in WAAM. *Int J AdvManuf Technol.* 07:2513–2523. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00170-020-05201-4>> Acesso em: 30 agosto 2025.
- (3) HACKENHAAR, W.; MAZZAFERRO, J. A. E.; MONTEVECCHI, F.; CAMPATELLI, G. An experimental-numerical study of active cooling in wire arc additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Processes.* 52:58–65. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.01.051>> Acesso em: 30 agosto 2025.