

ANÁLISES MORFOLÓGICAS DE CORDÕES ÚNICOS INDUZIDOS POR FUSÃO EM LEITO DE PÓ A LASER EM AÇO PARA CEMENTAÇÃO

Izabel Lima Criscuolo

Lucas Barreiros Robatto

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias, São José dos Campos – SP, Brasil

izabelilc@ita.br

robatto@ita.br

Ronnie Rodrigo Rego

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias, São José dos Campos – SP, Brasil

ronnie@ita.br

Resumo: Os conhecimentos sobre os efeitos e as características morfológicas de cordões únicos induzidas por fusão em leito de pó a laser (L-PBF) em aços para cementação 20MnCr5 ainda são limitados na literatura. Por essa razão, se fazem necessárias maior compreensão sobre esse material automotivo pouco explorado. Neste estudo, foi avaliada através da microscopia eletrônica de varredura e da microscopia óptica a morfologia de cordões de aço 20MnCr5 produzidos com diferentes combinações de potência de laser e velocidade de varredura. Os resultados permitiram a obtenção de conhecimentos sobre as influências dos parâmetros de processo de L-PBF na regularidade, continuidade e aspectos geométricos como altura, largura e profundidade dos cordões. Foi observado que a velocidade de varredura teve um efeito mais pronunciado do que a potência do laser nestes aspectos. Em condições com potências maiores e velocidades menores, ou um tempo de interação do laser maior, as características geométricas dos cordões se mostraram mais uniformes, com altura, profundidade e largura maiores.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva, Eletromobilidade, Aço para Cementação, Poça de fusão Cordões únicos, Tempo de interação

1. INTRODUÇÃO

As transformações no setor automotivo inseridas no contexto da indústria 4.0 têm se destacado nos últimos anos, em especial no segmento da eletromobilidade. Algumas das transformações direcionam-se à fabricação de componentes de transmissão para veículos elétricos, que têm exigido novos requisitos em relação à mobilidade a combustão, como o aumento da resistência à fadiga, menores níveis de ruído, vibração e aspereza (*noise, vibration and harshness* - NVH) e maior eficiência de transmissão AGMA (2021). Nesse contexto, um processo alternativo de fabricação que tem avançado o estado-da-arte globalmente e que têm proporcionado vasto potencial para atender os requisitos da mobilidade elétrica para componentes de sistema de transmissão é a Manufatura Aditiva (MA).

A MA consiste na impressão de objetos tridimensionais através da deposição sucessiva de material em camadas a partir de um modelo digital ABNT NBR ISO/ASTM 52900 (2018). O processo destaca-se em vários aspectos, dentre eles a concepção do produto, incluindo complexidades de formas, tempo de desenvolvimento do protótipo, combinação de materiais em um único ciclo de produção e a implementação do produto final Beaman *et al.* (2020).

Dentre as diversas técnicas de MA para materiais metálicos, destaca-se a fusão em leito de pó a laser (laser powder bed fusion – L-PBF) Huckstepp (2019). O seu uso é justificado pela capacidade de entregar peças com baixa porosidade e qualidade superficial superior quando comparada a outras técnicas, embora para se atingir características desejadas a peça final precise ser submetida a etapas de pós-processamento Volpato (2017).

No L-PBF, vários fenômenos complexos acontecem, como a interação laser-material que promove a transferência de energia, fusão, massa e solidificação Volpato (2017a). O estudo de Trosch *et al.* (2016) explica que a irradiação do laser infravermelho com alta potência ocasiona uma introdução de calor que leva a uma elevação da temperatura das partículas de pó. Consequentemente, há a fusão seletiva da camada de pó metálico presente sobre a superfície do leito, formando uma deposição de camada controlada e localizada.

Os parâmetros de processo de L-PBF também são responsáveis pela formação das fases, pressão de recuo, tensão

superficial e outros aspectos que definem o comportamento termofluidico da poça de solidificação, tamanho e forma Khairallah *et al.* (2016) e Zhang *et al.* (2019). Por essa razão, para criar uma poça de fusão estável e com características geométricas regulares deve-se considerar vários fatores de processamento coerentes para evitar resultados indesejáveis Yadroitsev *et al.* (2021).

Apesar dos potenciais benefícios de se utilizar L-PBF, o conhecimento sobre o comportamento dos cordões únicos para a compreensão da formação de camadas, em especial para a fabricações de engrenagens com aço para cementação, é limitado e pouco explorado na literatura. Lacunas, portanto, se apresentam à comunidade científica para superação dos desafios associados ao processo e devem ser preenchidas, de modo que seja possível garantir propriedades metalúrgicas e mecânicas apropriadas para proporcionar as transformações dos produtos e da cadeia de valor na eletromobilidade. Investigações através de análises de cordões únicos são importantes para permitir o transbordamento do conhecimento para deposições mais complexas, como de camadas e objetos tridimensionais, já que os cordões são as unidades básicas constitutivas. Por exemplo, cordões descontínuos tenderão a formar camadas defeituosas, resultando em maiores níveis de porosidade no objeto construído.

O objetivo do presente trabalho é, portanto, a compreensão dos efeitos gerados em cordões únicos sobre aspectos morfológicos da poça de fusão do aço para cementação 20MnCr5 induzidos por L-PBF com diferentes combinações de potência de laser e velocidade de varredura. Uma vez que a MA com este material é pouco explorada e há limitações de literatura sobre o assunto, buscou-se a contribuição por meio deste trabalho com a geração de conhecimento fundamental, visando o aperfeiçoamento da técnica de L-PBF destinada a aplicações automotivas de alto desempenho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Máquina L-PBF, material de deposição e parâmetros de processo

O equipamento utilizado para as deposições foi uma máquina de L-PBF Alkimat Laser Funde 200, com um laser colimado e expandido de diâmetro de ponto focal 80 µm. Como substrato da base, foi utilizado aço AISI 1020, e para a deposição pó metálico de aço 20MnCr5 atomizado a gás com 29,5 µm de tamanho médio. Foram variados os parâmetros de potência de laser e de velocidade de varredura, mantendo-se fixa a altura da camada, como apresentado na Tabela 1. A escolha do parâmetro de potência máxima empregada de 200 W foi com base em limitações do equipamento, e da potência mínima de 100 W devido a resultados de ensaios preliminares nãoapresentarem bons resultados. Quanto à escolha das faixas de velocidades selecionadas, teve-se como base as publicaçõesde Dursun *et al.* (2020) e Zheng *et al.* (2020) com aço 316L, que se mostraram bem sucedidas para a compreensão da influência dos parâmetros no processamento. Além disso, esses parâmetros foram escolhidos também devido a recomendações oriundas de experiência do fabricante do equipamento.

Cada amostra investigada consistiu de quatro cordões únicos depositados sobre um plateau de 1 mm de altura, com espaçamento entre eles de 0,5 mm. Para o plateau, foi adotada uma rotação de 90° entre as camadas. A Fig. 1 ilustra a máquina Laser Funde 200 utilizada e a Fig. 2 detalha a ilustração do corpo de prova com os parâmetros, a geometria das amostras e a identificação dos cordões após corte na seção transversal.

Tabela 1 - Combinações de parâmetros das deposições de cordões únicos.

Potências de laser (W)	Velocidades de varredura (mm/s)	Altura da camada
100, 125, 150, 175 e 200	400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300 e 1400	0,03 mm

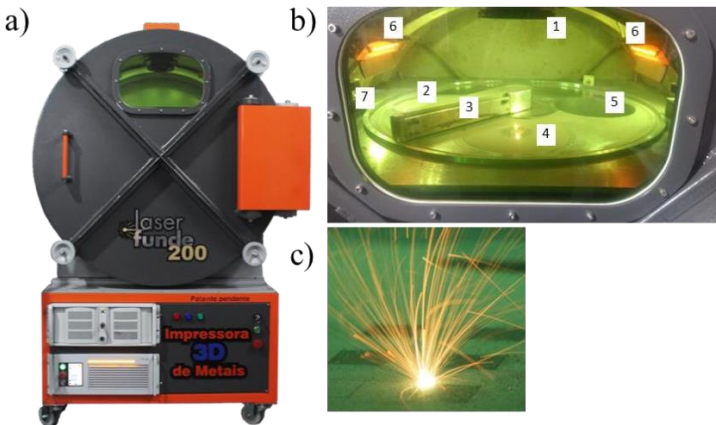


Figura 1 – Detalhes da máquina a) Laser Funde 200 da Alkimat, b) 1: Sistema laser, 2: Câmara de alimentação, 3: espalhador, 4: câmara de fabricação, 5: câmara para transbordo do pó, 6) aquecedores de infravermelhos, 7: saída do gás inerte, c) Fabricação de amostra.

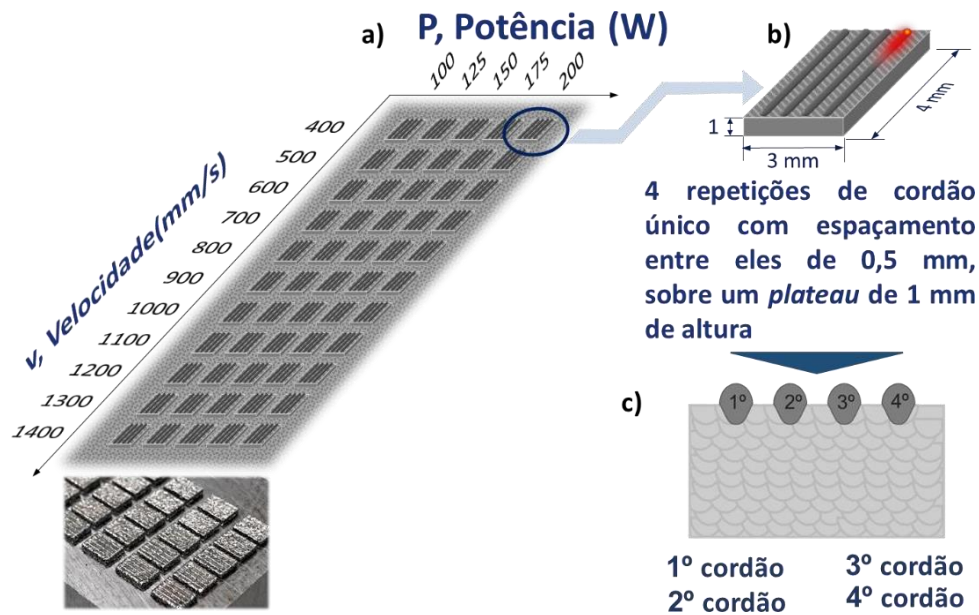


Figura 2 – a) Distribuição das amostras fabricadas com diferentes parâmetros de processo no leito de pó, b) geometria das amostras e c) identificações dos cordões após corte na seção transversal.

2.2 Análises morfológicas dos cordões

As análises morfológicas da superfície foram feitas através da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) em um microscópio Vega3 XMU Tescan, por meio de elétrons retroespalhados, que forneceram um melhor contraste para a observação dos cordões. O intuito das análises por MEV foi de observar qualitativamente a regularidade dos cordões ao longo de sua extensão.

Para as análises morfológicas em seção transversal, foram feitas preparações metalográficas para avaliar os efeitos da impressão de cada cordão. Para isso, foi necessário corte de precisão com disco diamantado, embutimento com baquelite, lixamento e polimento das amostras. O ataque químico para revelação da microestrutura e distinção da zona termicamente afetada foi feito com solução de Nital 2%. A nomenclatura das amostras foi estabelecida conforme a potência (P) e a velocidade (V) de varredura utilizadas. O corpo de prova “P200V500”, por exemplo, representa a amostra produzida com potência de laser de 200 W e 500 mm/s de velocidade.

Para a captura das imagens de micrografia, foi utilizado microscópio óptico da Leitz GmbH, modelo Orthoplan. Com as imagens registradas, utilizou-se o software de processamento de imagens IC Measure para o cálculo da altura e da largura dos cordões, da profundidade de penetração e do ângulo de contato. Também foram feitas análises complementares de efeitos principais para isolar as influências da potência do laser e da velocidade de varredura sobre as características geométricas de altura, largura e profundidade da poça de solidificação. A Fig. 3 detalha como foi feito o corte na seção transversal das amostras e o embutimento com as identificações dos cordões, e a Fig.4 mostra os principais aspectos morfológicos obtidos em um cordão único.

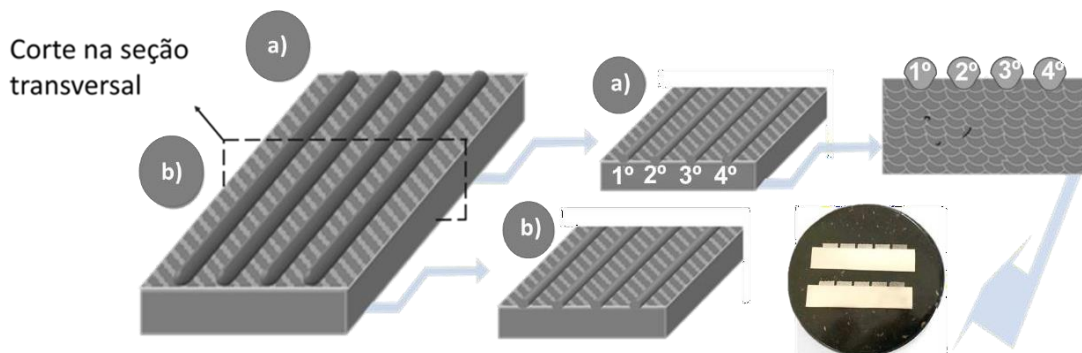


Figura 3 – Corte na seção transversal e identificação dos cordões únicos.

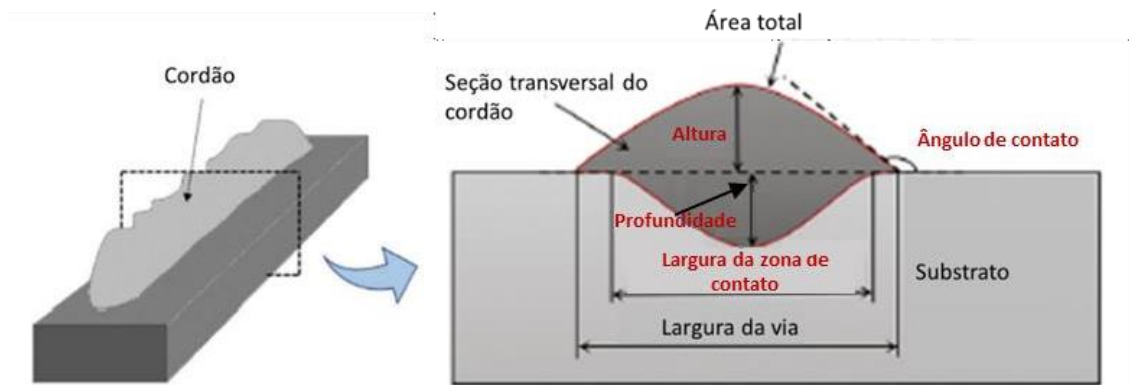


Figura 4 – Seção transversal de cordão único e principais aspectos morfológicos que podem ser obtidos. Em vermelho estão destacadas as características investigadas no estudo.

Fonte: (Prestes, 2020; Yadroitsev, et al., 2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas condições de processamento por L-PBF com combinações diferentes de potência e velocidade, verificou-se que os cordões apresentaram comportamentos morfológicos distintos. Esses parâmetros influenciaram a forma e consequentemente as dimensões geométricas e continuidade dos cordões, conforme reportado na literatura Yadroitsev *et al.* (2021a). As características observadas nas superfícies por MEV são apresentadas na Fig. 5.

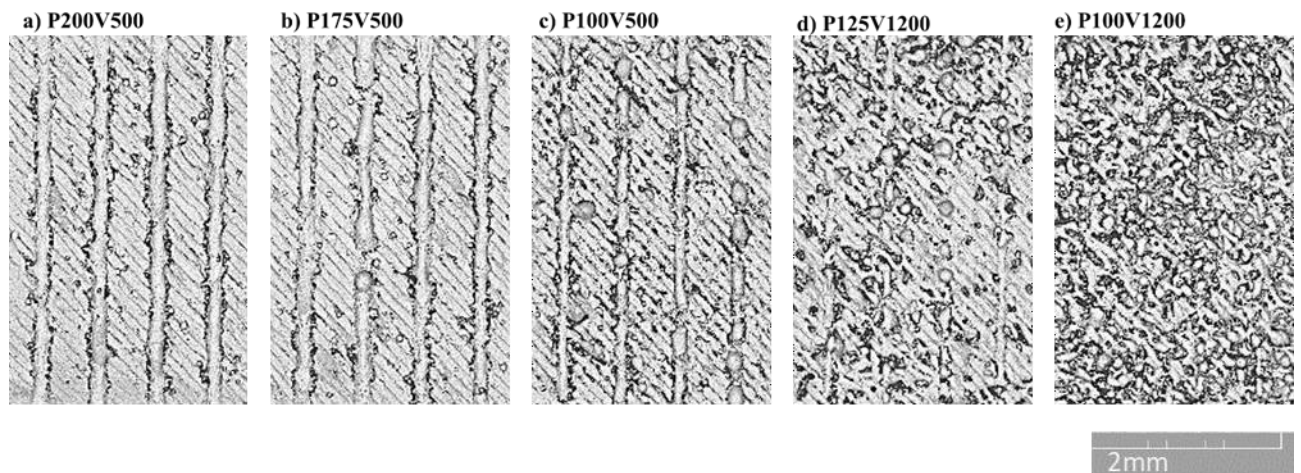


Figura 5 – Topografia das deposições com diferentes parâmetros. a) cordões contínuos uniformes, b) contínuos irregulares, c) descontínuos, d) fortemente descontínuos e) sem formação.

As características morfológicas dos cordões estão associadas a propriedades termofísicas do material, granulometria do pó e a parâmetros de aporte energético, como potência, diâmetro do laser e velocidade de varredura Yadroitsev *et al.* (2021a). O conjunto de potências maiores e velocidades de varredura do laser menores favoreceram a coalescência nas formações dos cordões. Essa ocorrência foi observada nas deposições contínuas uniformes como apresentado na Figura 4a, P200V500, em que o tamanho e a ondulação dos cordões foram mais regulares. Entretanto, em condições com potências baixas e velocidades muito altas observou-se a formação de balling ou tendência do cordão de formar geometria esférica durante a solidificação, como mostrado na Figura 5d para P125V1200. Tal resultado está de acordo com as condições reportadas por Niu *et al.* (1998, 1999) para a formação de balling. Quando a energia aportada foi muito baixa, ainda, houve ausência de formação dos cordões, como visto na Figura 5e para a condição P100V1200.

Com base nessas observações, é possível verificar que as características de largura, regularidade, continuidade, deposição ou não do cordão estão associadas ao tempo de interação do laser, conforme descrito na literatura Yadroitsev *et al.* (2021a). Essa interação, apresentada na Eq. (1), é uma relação entre o diâmetro do feixe de laser e a velocidade de varredura, e quanto maior a velocidade menor é o tempo de interação do laser com o substrato.

$$\text{Tempo de interação} = \frac{\text{Diâmetro do feixe de laser}}{\text{Velocidade de varredura}} = \frac{D}{V} \quad (1)$$

A Fig. 6 detalha a deposição dos cordões em seção transversal com P200V500. Em geral, foi observado na amostra em seção transversal que as alturas das camadas são espessas e mais controladas quando se tem potências de laser mais altas e velocidades menores. Nessas mesmas condições, ainda, foi notória uma pequena variação de altura da última camada do plateau depositada, como indicado pela linha traçada em vermelho e setas na Fig. 6. Já as condições com potências baixas e velocidades altas, além de induzirem maiores variações da altura na formação das camadas, também ocasionaram regiões faltantes de material da camada depositada em toda a extensão e menor aderência ao substrato, devido ao baixo tempo de interação do laser. A Fig. 7 mostra uma dessas condições irregulares, onde também são apresentadas setas que indicam a espessura e variação da altura da última camada depositada.

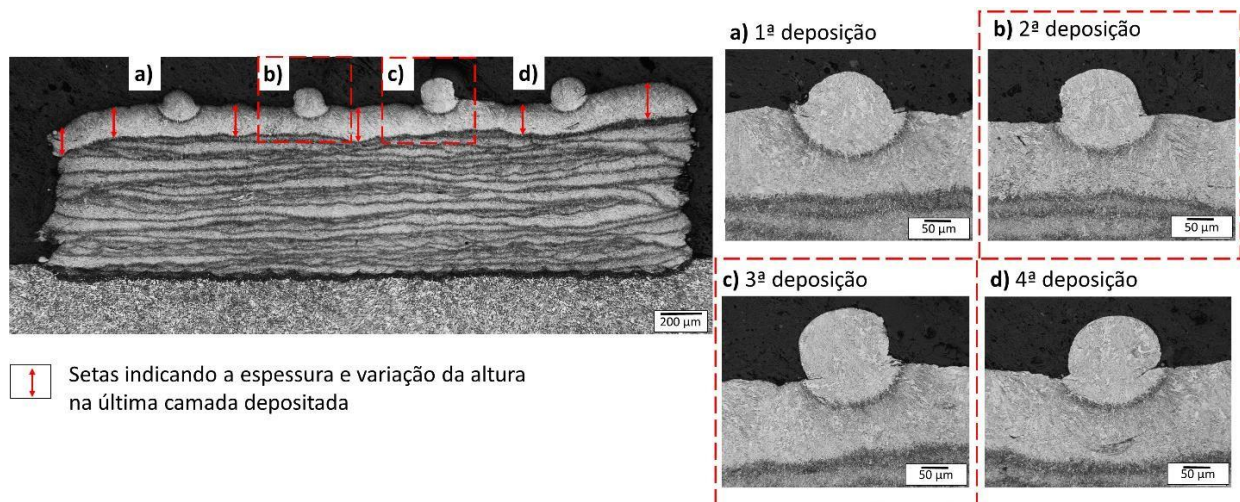


Figura 6 – Efeito da deposição de cordões únicos na amostra de seção transversal com P200V500 e detalhes da pequena variação da altura da camada indicado pelo traço vermelho e setas.

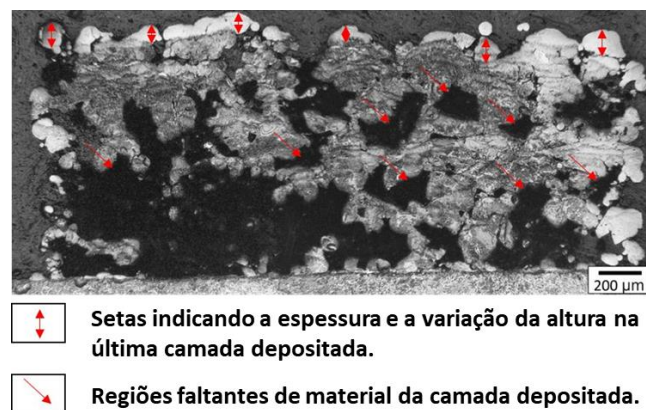


Figura 7 – Efeito da deposição da camada com P100V1200 na seção transversal, detalhando a variação da altura da camada e regiões faltantes de material depositado indicados pelas setas vermelho.

Altos aportes energéticos fornecidos por elevadas potências podem provocar a formação de vapor durante a fusão e deposição, formando grandes zonas de depressão do material que geram porosidades do tipo keyhole Yadroitsev *et al.* (2021a). Para os parâmetros mapeados no estudo, foram observados efeitos favoráveis neste sentido, pois não houve a formação da porosidade keyhole.

As características geométricas dos cordões como altura, largura, profundidade de penetração e ângulo de contato descrevem a morfologia dos cordões únicos formados com os diferentes parâmetros de processo Yadroitsev *et al.* (2021a). Para o estudo, foram feitas análises morfológicas de todas as amostras conforme as onze velocidades de varredura e as cinco potências de laser, considerando apenas os cordões centrais, 2 e 3, para descartar efeitos de bordas existentes nos cordões das extremidades. Esses efeitos de bordas são ocasionados devido à aceleração e desaceleração do feixe laser no início e no final de varredura, gerando características geométricas diferenciadas nesses pontos em relação às regiões onde a deposição ocorre com velocidade constante Yadroitsev *et al.* (2021a). A Fig. 8 mostra a relação da velocidade com as alturas e profundidades de penetração nas deposições dos cordões 2 e 3, em potências de a) 200 W, b) 150 W e c) 100 W, respectivamente.

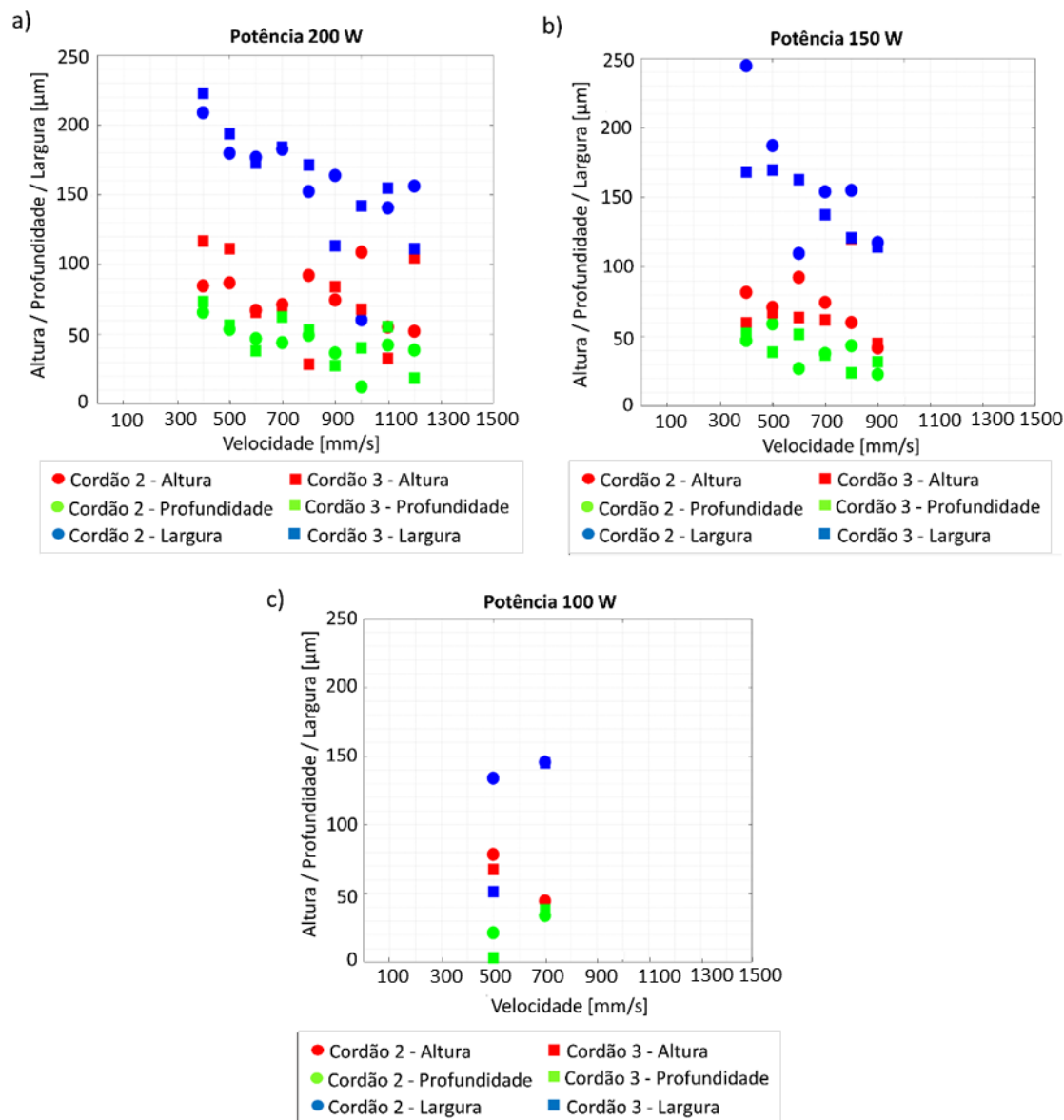


Figura 8 – Características geométricas das alturas, profundidades de penetração e larguras em função das velocidades e em potências de a) 200 W, b) 150 W e c) 100 W.

Para essas análises realizadas, é importante ressaltar que as características geométricas dos cordões dependeram da regularidade dos mesmos. As análises do corte transversal apresentaram algumas limitações, pois ao considerar apenas uma seção única do cordão e não a geometria ao longo da extensão, tem-se uma informação pontual não representativa da variabilidade existente.

Ao se comparar os gráficos da Figura 8, pode-se verificar as influências das potências do laser conforme diferentes velocidades. A literatura de Yadroitsev *et al.* (2021a) descreve que condições de processamento com potências maiores e velocidades menores, ou seja, tempo de interação maior, apresentam melhores características geométricas. Na Fig. 8, pode ser observado isso, em que os cordões com potência de 200 W e 150 W, dos gráficos a) e b) por exemplo, tiveram tendência a apresentar maiores alturas e profundidades em comparação com os de 100W do gráfico c). Ainda, em potências mais baixas como de 100 W, os valores das características não seguiram uma tendência regular devido à má formação dos cordões. Isso está de acordo com as observações na superfície por meio de MEV, que associa essas condições a irregularidades na geometria dos cordões.

Segundo Makoana *et al.* (2018), a largura da poça de solidificação é definida pelo diâmetro do laser. Devido à relação do tempo de interação com o diâmetro do laser, as características da largura se apresentaram mais favoráveis quando o tempo de interação do laser foi maior. Essa influência pode ser observada também na Figura 8 no gráfico a) com potência de 200 W, por exemplo.

Quando a velocidade foi de 500 mm/s, as larguras dos cordões foram de aproximadamente 195 μm ; enquanto em velocidades maiores, de 1000 mm/s, as larguras foram de aproximadamente 160 μm no cordão 2 e 120 μm no cordão 3. Para a aquisição dos ângulos de contato de todas as amostras, houve dificuldades de mensuração, devido a não regularidade de morfologia dos cordões formados. Não foi possível manter um padrão de medição para todos os cordões e, conseqüentemente, os valores obtidos de ângulo de contato não se apresentaram coerentes.

Análises complementares de efeitos principais foram feitas nas amostras de cordão 2. Os gráficos principais permitiram isolar os efeitos da potência do laser e velocidade de varredura sobre as características geométricas de altura, largura e profundidade da poça de solidificação, como mostrado nas Fig. 9 e 10. mostram detalhes dessas análises estatísticas isolando os efeitos entre as cinco potências usadas nas deposições e as onze velocidades.

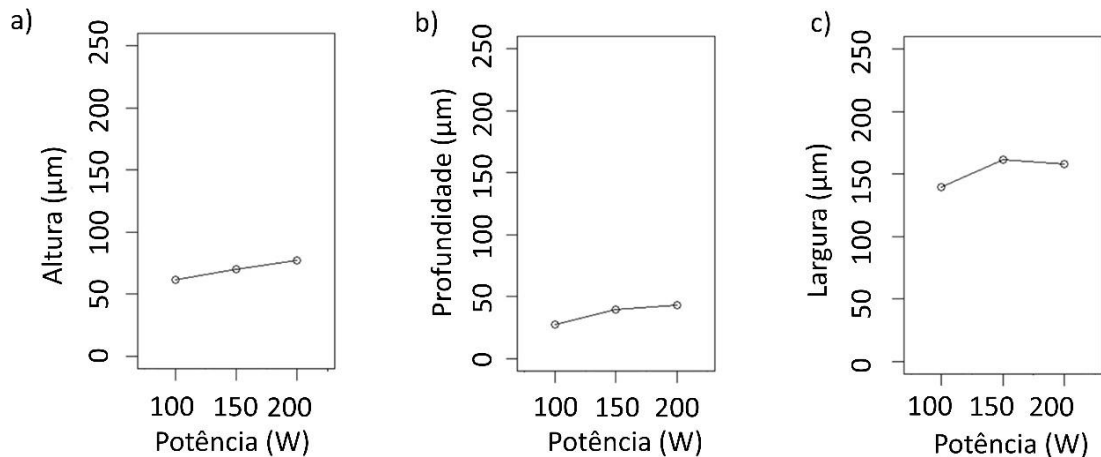


Figura 9 – Gráficos dos efeitos principais isolando as influências das potências de laser sobre a) alturas, b) larguras e c) profundidades dos cordões.

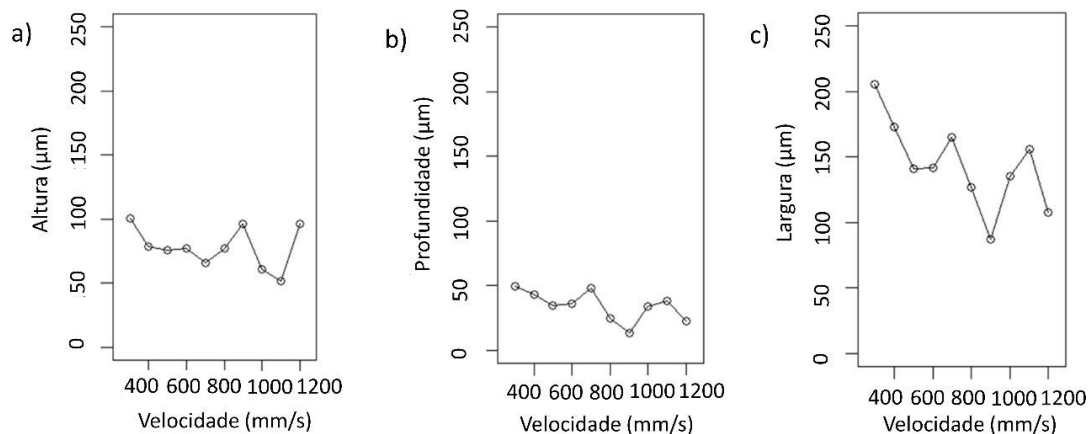


Figura 10 – Gráficos dos efeitos principais isolando as influências das velocidades de varredura nas a) alturas, b) larguras e c) profundidades dos cordões.

Com base nessas análises estatísticas apresentadas nos gráficos das Fig. 9 e 10, pode-se ver que os efeitos das velocidades de varredura foram mais pronunciados do que o das potências do laser pois, os valores das características geométricas apresentados foram maiores. A literatura de Chen *et al.* (2020), relata que no L-PBF a velocidade tem um impacto mais significativo na taxa de arrefecimento do que a potência. Essas investigações indicam o quanto a parametrização do processo influencia nas características geométricas dos cordões únicos, que por sua vez podem ter efeitos nas deposições em camadas adjacentes. O entendimento básico dessas influências é crucial para que se faça a seleção ótima de parâmetros para o processamento de camadas e blocos com o aço 20MnCr por L-PBF e produção com qualidade de componentes de transmissão.

4. CONCLUSÃO

Por meio das análises de cordões únicos, foram gerados conhecimentos básicos sobre as influências dos parâmetros de processo nas morfologias das deposições de L-PBF com aço para cementação 20MnCr5. Foi possível a obtenção de diferentes características geométricas dos cordões, como contínuos uniformes, contínuos irregulares, descontínuos, fortemente descontínuos e até mesmo sem formação. Com base nas análises, verificou-se que a correta escolha dos parâmetros de processo, como potência do laser e velocidade de varredura, é fundamental para se obter uma condição morfológica adequada, pois estas condições afetam a regularidade, a altura, a profundidade de penetração e a largura dos cordões. Mesmo com as limitações do corte transversal, que considera apenas uma seção única do cordão e não a geometria ao longo da extensão, foi possível verificar a influência dos parâmetros nas deposições de cordões únicos. Para a continuidade do estudo, tem-se como perspectiva a investigação da deposição por L-PBF de camadas únicas e múltiplas camadas sobrepostas, de modo que sejam comprovados e transbordados os efeitos observados em cordões únicos para geometrias mais complexas. O estudo contribuiu para compreender as parametrizações do processo e suas influências nas características dos cordões únicos com aço para cementação 20MnCr5. O aprofundamento desse conhecimento pode aumentar a maturidade tecnológica da manufatura aditiva com aço para cementação 20MnCr5, e permitir o transbordamento para a formação de camadas e objetos tridimensionais como a obtenção de engrenagens para mobilidade elétrica de alto desempenho.

5. AGRADECIMENTOS

Ao PIBIC (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e ao Centro de Competência em Manufatura do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (CCM-ITA) por possibilitar a realização deste trabalho. À equipe do Grupo de Inovação em Engrenagens (GIE) por todo o apoio e a ajuda disponibilizados.

6. REFERÊNCIAS

- American Gear Manufacturers Association (AGMA), 2021. *White Paper: A Gearing-Centric Snapshot of the EV Space*. AGMA Electric Drive Technology Committee, April, 2021.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2018, NBR ISO/ASTM 52900: 52900. *Manufatura Aditiva, Princípios Gerais e Terminologia*. 1. ed. Rio de Janeiro.
- Beaman, J., Bourell, D., Seepersad, C., Kovar, D., 2020. *Additive manufacturing review e early past to current practice*. J. Manf. Sci. 142 (11).
- Chen, Y., Chen, H., Chen, JQ., Xiong, J., Wu, Y., Dong, SY. *Numerical and experimental investigation on thermal behavior and microstructure during selective laser melting of high strength steel*. J. Manuf. Process 57. 533–542p. 2020 <<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.06.041>>.
- Dursun, G., Ibekwe, S., Li, G., Mensah, P., Joshi, G., 2020. *Influence of laser processing parameters on the surface characteristics of 316L stainless steel manufactured by selective laser melting*. Elsevier. Volume 26, Pages 387-393. <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.061>>.
- Huckstepp, A., 2019, *Surface Roughness. A Guide to Metal Additive Manufacturing by DigitalAlloys*.
- Khairallah, S. A., Anderson, A. T., Rubenchik, A., King, W. E., 2016. *Laser powder-bed fusion additive manufacturing: Physics of complex melt flow and formation mechanisms of pores, spatter, and denudation zones*. Acta Materialia, Vol. 108, pp. 36-45, <<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.02.014>>.
- Saunders, M., 2017. *Design for metal AM - a beginner's guide*. Renishaw plc New Mills, Wotton-under-Edge, Gloucestershire, GL12 8JR United Kingdom.
- Trosch, T., Strößner, J., Völkl, R., Glatzel, U. *Microstructure and mechanical properties of selective laser melted Inconel 718 compared to forging and casting*. Materials Letters, Volume 164, Pages 428-431, 2016. ISSN 0167-577X. <<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.10.136>>.
- Niu, H.J., Chang, I.T.H., 1998. *Liquid phase sintering of M3/2 high speed steel by selective laser sintering*. Scripta Mater. 39 (1), 67e72. <[https://doi.org/10.1016/S1359-6462\(98\)00126-2](https://doi.org/10.1016/S1359-6462(98)00126-2)>.
- Niu, H.J., Chang, I.T.H., 1999. *Instability of scan tracks of selective laser sintering of high speed steel powder*. Scripta Mater. 41 (11), 1229e1234. <[https://doi.org/10.1016/S1359-6462\(99\) 00276-6](https://doi.org/10.1016/S1359-6462(99) 00276-6)>.
- Volpato, N. *Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D*. Blucher; 1. ed., 2017.
- Yadroitsev, I., Yadroitsava, I, Du Plessis, A., MacDonald, E., 2021. *Additive Manufacturing Materials and Technologies, Fundamentals of Laser Powder Bed Fusion of Metals*. Elsevier, ISBN: 978-0-12-824090-8.
- Zheng, Z., Peng, L., Wang, D, 2021. *Defect Analysis of 316 L Stainless Steel Prepared by LPBF Additive Manufacturing Processes*. Coatings, 11, 1562 <<https://doi.org/10.3390/coatings11121562>>.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

ANÁLISES MORFOLÓGICAS DE CORDÕES ÚNICOS INDUZIDOS POR FUSÃO EM LEITO DE PÓ A LASER EM AÇO PARA CEMENTAÇÃO

Izabel Lima Criscuolo

Lucas Robatto

Aeronautics Institute of Technology, São José dos Campos, Brazil

izabelilc@ita.br

robato@ita.br

Ronnie Rego

Aeronautics Institute of Technology, São José dos Campos, Brazil

ronnie@ita.br

Abstract. *Laser powder bed fusion (L-PBF) is one of the main techniques of metal Additive Manufacturing that has been remarkably widespread and showing great potential in industrial applications, especially in the electromobility segment. The transmission components of electric vehicles have required severe changes, such as manufacturing complexity and superior performance. These demands make L-PBF technology an alternative manufacturing process to meet such requirements. However, due to limitations in the literature, further understanding of the effects and morphological characteristics of L-PBF-induced single strands with gear carburizing steel, an under-explored automotive material, is still needed. In this study, the morphology of 20MnCr5 steel strands produced with different combinations of laser power and scanning speed were evaluated using scanning electron microscopy and optical microscopy. The results provided insights into the influences of L-PBF process parameters on single strand depositions with carburizing steel, such as the regularity, continuity and geometrical aspects like strand height, width and depth.*

Keywords: *Additive Manufacturing, Electromobility, Case hardening steel, Melt puddle Single strands, Interaction time*

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.