

# **AValiação DA APLICAÇÃO DA MANUFATURA HÍBRIDA NA RECUPERAÇÃO DE SUPERFÍCIES COMPLEXAS**

Bruno Furuia Maeda – brunonovesete@hotmail.com

Caroline Michel Hage Moussa – carolmoussa@hotmail.com

Mateus Bianchini de Freitas – mateusbianchinifreitas@hotmail.com

André Luís Helleno (Orientador) – andre.helleno@mackenzie.br

## **RESUMO**

O novo padrão de vida advindo da revolução industrial impactou no comportamento de consumo da população, o que possibilitou que modelos de remanufatura e economia circular ganhassem mais força. Novas tecnologias surgiram para atender as novas necessidades, a manufatura híbrida é uma delas, sendo uma combinação de tecnologias de adição e subtração na mesma máquina. O presente artigo tem como objetivo identificar as principais vantagens e desvantagens desta tecnologia, assim como avaliar a diferença de acabamento de corpos de prova utilizando apenas a tecnologia aditiva da máquina híbrida. A análise experimental das peças proporcionou algumas considerações sobre parâmetros, como o impacto do tipo de potência do laser na estrutura interna do metal adicionado, e como este, dentre outros parâmetros, deve ser considerado a fim de tornar essa tecnologia mais tecnicamente viável.

Palavras-chaves: Manufatura Híbrida, Manufatura Aditiva, Indústria 4.0, Economia Circular.

## **1 INTRODUÇÃO**

Um bom indicador do investimento e da demanda industrial está ligado à indústria de máquinas e equipamentos. Devido à forte presença em todas as cadeias produtivas da economia, este segmento de bens de capital tem notoriedade por meio do papel de propagador de processo tecnológico. No ano de 2018, as receitas obtidas pelas empresas de máquinas e equipamentos totalizaram 95,7 bilhões de reais e os investimentos, 2,4 bilhões de reais neste segmento (ABIMAQ, 2019).

O aprimoramento de processos produtivos na produção de peças metálicas tornou-se mais eficiente, resultando em uma nova tecnologia denominada Manufatura Híbrida, que permite a união das atividades de adição e subtração do material, em uma única máquina (ROMI, 2018).

Como o nome sugere, a manufatura aditiva agrega matéria-prima ao processo de fabricação, ou seja, a quantidade de matéria-prima que utiliza é muito próxima à necessária para a fabricação do objeto. Normalmente, as matérias-primas são depositadas na plataforma para formar o objeto final, camada por camada. Na "manufatura subtrativa", ocorre a exclusão de parte da matéria prima para dar formato à futura peça e deve haver mais matéria-prima do que a quantidade real usada para fazer o objeto. Na fabricação de moldes, utilizam-se matérias-primas no estado líquido com densidades diferentes para preencher moldes que podem ser construídos por manufatura aditiva ou subtrativa (WILTGEN e ALCALDE, 2019).

A principal vantagem de uma manufatura híbrida, além do uso conjunto das atividades aditivas e subtrativas, é a possibilidade de utilizar diversas ferramentas em uma única máquina. Os desafios que mais se destacam seriam os tempos *setup*, de trocas de atividades e de ferramentas. Uma relevância da integração da manufatura aditiva e subtrativa por meio de métodos híbridos seria a importância de ter um protocolo de planejamento de processos (MANOGHARAN *et al.*, 2015).

Os impactos da revolução industrial foram percebidos na mudança de padrão de vida das pessoas e, conseqüentemente, no comportamento dos consumidores, gerando uma nova necessidade para a vida no cotidiano, o que causou um impacto maior na demanda de recursos naturais (CARDOSO, 2015). Os modelos de economia circular estão cada vez mais fortes, devido à vantagem que estes apresentam em relação ao modelo linear. Dado um maior resultado de valor aos recursos, serão geradas novas oportunidades de crescimento corporativo e um potencial de criação de oportunidades de trabalho na área de remanufatura, a qual é uma parcela da economia circular (MACARTHUR e WAUGHROY, 2014).

A economia circular é um sistema fabril restaurador e regenerativo, que, dentre outros métodos, substitui o fim da vida de um produto pela restauração, evitando a produção de resíduos. Os produtos são planejados e otimizados com o auxílio de avanços tecnológicos em um ciclo de realização e desmontagem. Na economia circular, os ingredientes que não são tóxicos são devolvidos à biosfera de forma segura e esta reutilização reduz a dependência de recursos naturais (MACARTHUR e WAUGHROY, 2014).

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A manufatura híbrida esteve sendo estudada nestes últimos anos por pesquisadores devido à sua importância e suas inúmeras aplicações, sendo algumas destas nas áreas de saúde, aeroespacial e automobilística. Os autores que abordam estes assuntos estão presentes, tanto no

Brasil quanto no exterior, como MANOGHARAN *et al.* (2015), WILTGEN, ALCALDE (2019) e CORTINA *et al.* (2018).

Baseado nas premissas mencionadas anteriormente, o problema de pesquisa do presente estudo é: **QUAIS AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA HÍBRIDA PARA RECUPERAÇÃO DE SUPERFÍCIE COMPLEXA?**

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A tecnologia a ser analisada faz parte do setor de máquinas e equipamentos que se relaciona diretamente com as indústrias, que são os principais consumidores destes produtos. O crescimento da receita de máquinas e equipamentos é significativo, e é o mesmo que fornece produtos para a indústria para que esta esteja com as tecnologias mais modernas e eficazes para otimizar os processos produtivos e, assim, maximizar os lucros. Neste caso, tratando-se da manufatura híbrida, existem diversas vantagens que poderiam auxiliar neste desempenho e que serão detalhadas no referencial teórico.

A manufatura aditiva, por adicionar apenas a quantidade útil de matéria prima para construir um objeto, pode ser mais econômica e rápida. Isto porque o uso da matéria prima é menor do que na manufatura subtrativa. As duas vantagens mais significantes da manufatura aditiva seriam a rapidez e a economia ao adicionar apenas a quantidade necessária de matéria prima na construção de um objeto. Isso ocorre uma vez que há uma menor utilização da matéria prima em relação à manufatura subtrativa (WILTGEN e ALCALDE, 2019).

Devido à incerteza causada pela nova tecnologia, é importante compreender a condição final da estrutura de uma superfície complexa após ser submetida à manufatura híbrida. O intuito é saber se o processo é efetivo estruturalmente, ou se o descarte da peça teria o melhor custo-benefício para a empresa.

## 1.3 OBJETIVOS

Em função do problema de pesquisa, os objetivos deste trabalho estão listados a seguir:

### 1.3.1 Objetivo Geral

- Identificar as principais vantagens e desvantagens da manufatura híbrida.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral serão utilizados os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar, de forma prática, a diferença de acabamento entre peças feitas pelas máquinas híbridas e subtrativas.
- Analisar a viabilidade estrutural das peças recuperadas com a tecnologia híbrida.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CONCEPÇÃO DA MANUFATURA HÍBRIDA

A indústria 4.0 é resultado da fusão de dois mundos, o da manufatura física e o da digital, e o desenvolvimento de ambos é a chave do sucesso. A manufatura subtrativa é uma composição de processos de modelagem que criam a geometria desejada de uma peça 3D por meio da remoção do material presente em uma superfície complexa. Em contraposição à manufatura subtrativa, os processos de manufatura aditiva são responsáveis pela criação de um produto adicionando material à peça. Com esta tecnologia é possível produzir geometrias e estruturas que não eram possíveis pela manufatura convencional (IQBAL *et al.*, 2020).

A combinação das manufaturas subtrativas e aditivas gera a manufatura híbrida, que de modo sustentável com outras tecnologias, pode complementar, de forma efetiva, a indústria 4.0. Esta tecnologia híbrida é viável economicamente e benéfica para o meio ambiente, alterando a maneira como os produtos são projetados e fabricados. A união das tecnologias aditivas e subtrativas (manufatura híbrida) propicia pontos positivos por estarem disponíveis em uma mesma máquina e em um único *setup*, o que aumenta a complexidade da operação. O avanço da tecnologia de redes é necessário para que os sistemas ciber-físicos das instalações de manufatura inteligente estejam sincronizados entre si e com o mundo exterior (IQBAL *et al.*, 2020).

Segundo a SmartTech Analysis (2021), uma empresa de pesquisa de mercado e análise da indústria no setor de impressão 3D / manufatura aditiva, existe uma tendência de crescimento da tecnologia híbrida que, de acordo com projeções, pode atingir oportunidades de mercado superiores a 1,1 bilhões de dólares em 2028. O aumento do uso da tecnologia híbrida é justificado pelos benefícios gerados como, por exemplo, redução dos gastos de capital, diminuição do custo de pós-processamento e redução também do desperdício de material (SMARTTECH ANALYSIS, 2021).

## 2.2 IMPORTÂNCIA DA MANUFATURA HÍBRIDA

As pesquisas relacionadas à manufatura híbrida vêm ganhando notoriedade, tanto na indústria, quanto no ramo acadêmico. A alta customização, algumas desvantagens dos processos de manufatura convencionais, a incapacidade de processo de alguns itens e o alto custo ao se desperdiçar peças, são alguns dos possíveis motivos para o crescimento desta tecnologia. Para se atender à demanda com precisão, são necessários diversos processos seguidos um do outro, tanto aditivos como subtrativos. Estes processos, chamados de híbridos, tinham o intuito de apagar as fraquezas que aditivos e subtrativos possuem individualmente, enquanto preservam e combinam suas forças (ZHU *et al.*, 2013).

A manufatura híbrida, como tecnologia, também faz parte do desenvolvimento de engenharias multitarefa por combinar máquinas de adição de material com máquinas CNC (*Computer Numerical Control*), que podem ser máquinas subtrativas capazes de realizar múltiplas tarefas simultaneamente. Apesar desta tecnologia ainda estar em crescimento, seu potencial pode atender às demandas de indústrias, como a aeroespacial e a de defesa (LORENZ *et al.*, 2015).

A manufatura híbrida possui grande enfoque no planejamento operacional da produção e no *design* do sistema de circuito fechado, isto devido às dificuldades que emergem frente às incertezas e considerações das dinâmicas do sistema (KENEÉ *et al.*, 2012).

A manufatura e a remanufatura híbrida são também importantes para estudos devido ao controle e à estratégia de produção utilizados. A remanufatura, em particular, integra a logística reversa, com seu abundante fluxo de retorno e sua redução de custos (POLOTSKY *et al.*, 2015).

## 2.3 POSSÍVEIS APLICAÇÕES DA MANUFATURA HÍBRIDA

Existem inúmeras aplicações para a manufatura híbrida em áreas como aeroespacial, automotiva, engenharia, médica, dental, eletrônica, energética, militar, ferramentaria, dentre muitas outras (ALGARDH, 2017). Nos itens a seguir serão descritos e explicados alguns possíveis usos desta tecnologia em diferentes áreas profissionais.

### 2.3.1 Indústria aeroespacial e aeronáutica

As indústrias aeroespacial e aeronáutica exigem peças de alta complexidade, alta resistência, baixo peso e demanda em baixa escala. Portanto, a manufatura aditiva, principalmente as técnicas SLM e EBM, é uma opção neste ramo (GOMES; WILTGEN, 2020).

Algumas empresas já estão adotando o uso ou fabricação de peças a partir de manufatura aditiva, dentre elas temos: GE Aviation, GKN, Airbus, Comac, Liebherr Aerospace, Honeywell e Boeing (ALGARTH, 2017; JACKSON, 2019).

Existem grandes desafios para aumentar o grau de implementação na indústria, dentre eles: maior robustez de peças sem alteração da qualidade, pós processamento adequado para o acabamento superficial e estrutural, maior velocidade de produção, novos projetos pensados para a fabricação via manufatura aditiva, etc (GOMES; WILTGEN, 2020).

### **2.3.2 Indústria automobilística**

Uma das primeiras indústrias a adotar o uso de manufatura aditiva em seus processos foi a automobilística. Sabe-se que aproximadamente 13,8% das peças fabricadas com a tecnologia de manufatura aditiva são aplicadas nos motores do automóvel. Um dos possíveis motivos desta aplicação é o alto grau de componentes complexos que podem ser otimizados (ALGARDH, 2017).

As principais vantagens estão relacionadas ao alto grau de customização, opção de haver alterações na geometria da peça, nível de eficiência aumentado, ajustes e adaptações levando em consideração o modelo do veículo (GOMES; WILTGEN, 2020).

### **2.3.3 Engenharia e manufatura**

Em relação à engenharia e manufatura, a tecnologia de manufatura híbrida pode ser utilizada diretamente, como a fabricação de determinada superfície complexa, e, ao mesmo tempo, se pode utilizar indiretamente, como a fabricação de moldes para uso em segmentos como estampagem, injeção, ou o próprio processo de moldagem (ALGARDH, 2017).

Em relação ao motivo por qual este ramo poderia investir nesta tecnologia, temos alguns exemplos, como: alto grau de customização, possibilidade de produtos mais leves com diferentes designs (mantendo suas características estruturais), novas opções de materiais específicos, componentes com vida útil curta e produtos com maior garantia de qualidade (existem maneiras mais fáceis de garantir a boa qualidade do produto com esta tecnologia), dentre outros (ALGARDH, 2017).

As maiores dificuldades em se tratando da tecnologia no setor de engenharia e manufatura, são dirigidas por: baixa velocidade de processamento e alta robustez do processo,

alto custo em comparação ao processo subtrativo e entendimento da tecnologia, deve-se saber quando é mais interessante utilizar o método de manufatura híbrida (ALGARDH, 2017).

### **2.3.4 Indústria de Eletrônicos e espacial**

Desde 2013, existe uma tentativa de integração entre a manufatura aditiva (mais especificamente impressão 3D) e componentes eletrônicos no espaço sideral. O estudo visa entender os possíveis problemas físicos e estruturais causados pela alta gama de dificuldades encontradas em locais como este, como radiação, pressões e temperaturas extremas etc (ALGARDH, 2017).

Os maiores desafios nos dias de hoje são devido ao custo de equipamentos, à limitação de materiais etc. (ALGARDH, 2017).

### **2.3.5 Indústria de Energia**

A manufatura aditiva tem um grande espaço de crescimento na indústria de energia, já que em todos os tipos de geração de energia está previsto o uso de prototipagem, fabricação e reparo. Um exemplo de utilização nesta indústria são turbinas, uma vez que sempre foram estruturas muito complexas e há o desejo das mesmas serem o mais leve possível, assim como componentes de reatores modulares (pequenos). A possibilidade de ser feito o reparo de equipamentos sem tirá-los do local, é um ótimo benefício a favor da utilização da manufatura aditiva nesta indústria, como em serviços de petróleo e gás (ALGARDH, 2017).

Além de energias como a utilização de turbina, energias a partir de petróleo e gás natural, energia solar e células de combustível, também estão sendo estudadas para serem utilizadas a partir deste meio, assim como outras fontes de geração de energia (ALGARDH, 2017).

## **2.4 VANTAGENS E DIFICULDADES DA APLICAÇÃO DA MANUFATURA HÍBRIDA**

Abaixo serão apresentados algumas vantagens e desafios segundo autores internacionais, as quais são fundamentais para uma melhor compreensão, e eventual, aplicação da tecnologia.

### **2.4.1 Vantagens da manufatura híbrida**

A seguir serão apresentadas algumas vantagens da aplicação da manufatura híbrida, segundo CORTINA (2018):

- É necessário um único *setup* tanto para operações aditivas, quanto para subtrativas, o que reduz o tempo gasto e aumenta a precisão.
- Com a mesma máquina realizando ambos os processos (aditivos e subtrativos), não é necessário deslocar o produto/peça, o que elimina a necessidade de estações intermediárias e traz melhor aproveitamento do espaço.
- Capacidade de produzir peças de maior complexidade, combinando propriedades de máquinas de ambos os tipos (aditiva e subtrativa).
- É possível realizar reparos utilizando uma operação aditiva caso a operação subtrativa sofra um acidente.
- Custo geral reduzido. Uma máquina híbrida possui um preço mais elevado, porém, máquinas aditivas compartilham certos elementos com máquinas subtrativas.
- A substituição de múltiplas máquinas por uma única híbrida simplifica o trabalho e o treinamento do operário.

### **2.4.2 Dificuldades da manufatura híbrida**

A seguir serão apresentados alguns tópicos de possíveis desafios da manufatura híbrida, segundo CORTINA (2018):

- Possibilidade de interferência dos fluídos de corte de duas maneiras. Os fluídos de corte evaporam durante o processo aditivo, podendo contaminar as lentes e gerar porosidade. Na outra maneira, as moléculas de pó geradas interferem na absorção do feixe de laser ao se misturarem ao fluido e formarem umidade.
- Problemas de abrasão causados pela entrada de partículas de pó que interferem nos movimentos do sistema de orientação.
- Ao longo do processo aditivo, o material é exposto a diversas mudanças de temperatura que o fragilizam, provocando tensões residuais. É vital que seja aplicado um tratamento térmico para eliminar as tensões.
- Necessidade de uma mudança na especialização e no treinamento dos funcionários, os operários precisam ter conhecimento sobre os processos aditivos e subtrativos em ambas as formas, separadamente e em conjunto.



- Produção de resíduos com efeitos tóxicos, como o óleo lubrificante e o pó de materiais como níquel e cobalto.
- Determinadas partes da máquina, compostas por materiais que refletem a luz do laser e podem derreter áreas sensíveis, devem ser inspecionadas mais atentamente e protegidas com medidas apropriadas.

### **3 METODOLOGIA**

Na expectativa de explicar a diferença de acabamento utilizando a tecnologia híbrida, a presente pesquisa se classifica, quanto aos fins, como explicativa e, quanto aos meios, como método experimental, no qual serão submetidos os objetos de estudo, sob influência de algumas variáveis em situações controladas pré-determinadas (GIL, 2019).

A pesquisa explicativa centraliza-se em encontrar os fatores que influenciam e determinam a ocorrência de fenômenos, neste tipo de pesquisa é detalhado os estudos da realidade. Este tipo de pesquisa utiliza principalmente do método experimental (GIL, 2019).

Segundo Mascarenhas (2012), o método experimental é a junção de diversos procedimentos com o intuito de formar um conhecimento de forma objetiva e exata por meio de um experimento. Desta forma, este método procura provas para validar se uma hipótese é ou não verdadeira, devido a isso, é fundamental que o pesquisador tenha conhecimento de todos os fatores que podem impactar os resultados.

A pesquisa experimental foi realizada em laboratórios da empresa ROMI, utilizando-se 3 corpos de prova com 3 repetições cada, os quais foram inicialmente substratos metálicos do material H13 cilíndrico de 25 mm de diâmetro e 10 mm de altura. Na máquina híbrida foi feita a adição de 3 camadas de metal com 0,4 mm de altura cada.

O metal H13 apresenta como características dureza, resistência (térmica e à fratura), assim como alto nível de usinabilidade e polibilidade. Este metal pode ser usado como molde para injeção de polímeros (GGD Metais, 2019).

A potência do laser (LP) inserido varia para cada corpo de peça, sendo que o corpo de prova A recebe uma potência de 280 W, o corpo de prova B recebe 300 W e o C 320 W. Outros parâmetros do processo se mantiveram constante nos diferentes corpos de prova, sendo estes: vazão do pó metálico (PF = 20%rpm), velocidade do escaneamento do laser (LSS = 360 mm/min), distância do Stand-off (SD = 5 mm), gás de proteção (7 L/min), gás do bocal (5 L/min), gás transportador (4 L/min), número de camadas (L3), altura do cordão (0,4mm) e espaço de incubação (0,6 mm).

Foi realizada uma conformação plástica na peça metálica e depois um corte longitudinal no meio do item para análise na região interna do metal acrescentado.

Foram analisadas as partes de dimensões, porosidade e zona térmica afetada (ZTA) do metal adicionado na peça. O instrumento de análise foi um microscópio metalográfico.

A hipótese testada consistia em verificar se a peça final, feita pela máquina híbrida utilizando somente a adição de metais, foi distinta em questão de uniformidade, porosidade, ZTA e diâmetro das camadas em relação ao tipo de potência de laser. Esta pesquisa será feita seguindo os passos listados abaixo:

1. Definição do problema da pesquisa;
2. Levantamento da revisão de literatura e bibliográfica: artigos, teses, livros e sites;
3. Desenvolvimento de hipóteses;
4. Aplicação da pesquisa experimental nas máquinas híbridas utilizando apenas a adição de metais;
5. Análise dos resultados observados;
6. Elaboração do relatório final.


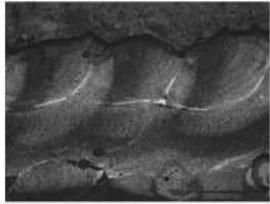
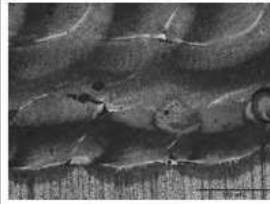

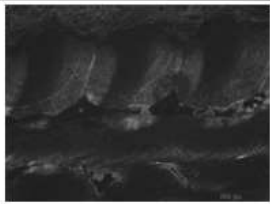
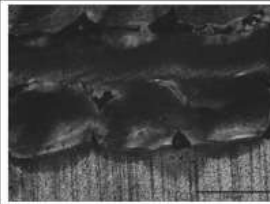

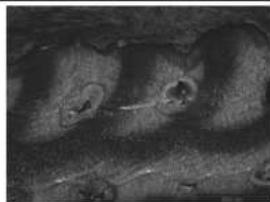
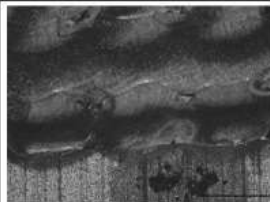

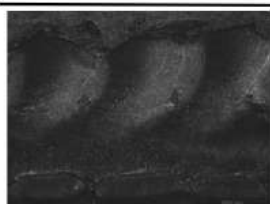
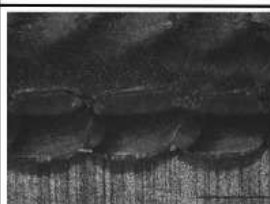

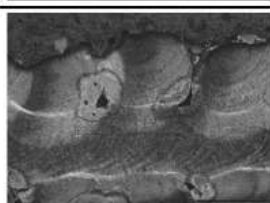
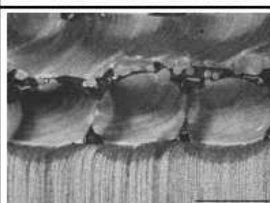
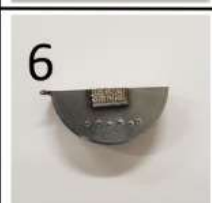
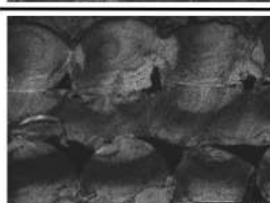
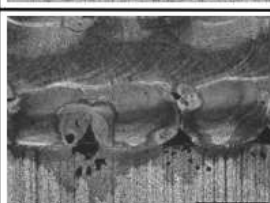

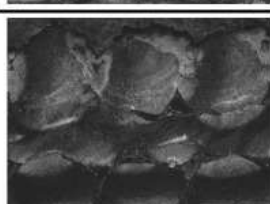
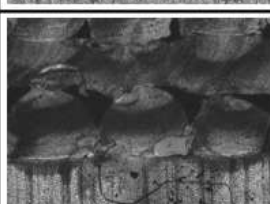

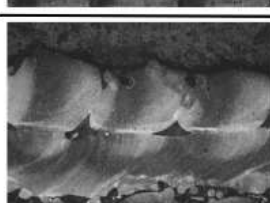
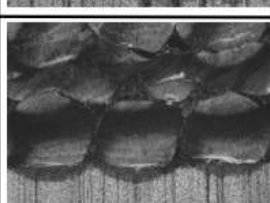
#### **4 RESULTADO**

Os 3 corpos de prova são segmentados por meio da intensidade do laser aplicado nos mesmos, sendo o tipo de corpo de prova A representado pelas repetições 1, 2 e 3 (LP = 280W), o corpo de prova B pelas 4, 5 e 6 (LP = 300W) e C pelas 7 e 8 (LP = 320 W).

Analisando as imagens obtidas pelo microscópio metalográfico, observou-se que não há mudanças representativas entre as extremidades laterais e região central das camadas de metais adicionadas, portanto, optou-se por apresentar somente as imagens da região central das peças.

No quadro abaixo, são exibidas cada uma das imagens dos corpos de prova com suas respectivas repetições do experimento:

Quadro 1: Vistas Superiores e Regiões seccionadas das camadas de metal adicionadas

Vista superior	Região superior	Região inferior
1 		
2 		
3 		
4 		
5 		
6 		
7 		
8 		

Fonte: Própria Autoria (2021).

Com as imagens acima, podemos avaliar as particularidades de cada uma das peças e compará-las entre si e com suas respectivas repetições.

Comparação entre as repetições do mesmo tipo de corpo de prova

1. O corpo de prova A, representado pelas imagens 1, 2 e 3:
  - Fusão: considerada como média;
  - Porosidade: considerada entre baixa;
  - Diâmetro: variando entre mínimo de 400 e 520 mm;
  - ZTA: considerada entre baixa e média.
  
2. O corpo de prova B, representado pelas imagens 4, 5 e 6:
  - Fusão: considerada entre média e baixa;
  - Porosidade: considerada entre média e alta;
  - Diâmetro: considerada entre 350 e 510 mm;
  - ZTA: considerada entre média e alta.
  
3. O corpo de prova C, representado pelas imagens 7 e 8:
  - Fusão: considerada como baixa;
  - Porosidade: considerada como alta;
  - Diâmetro: considerada entre 260 e 520 mm;
  - ZTA: considerada entre média e alta;

Observamos que em relação à porosidade, fusão, diâmetro e ZTA o corpo de prova A apresentou-se melhor do que os outros.

## **5 DISCUSSÃO**

Constatou-se que a variação da potência do laser aplicado diretamente na peça metálica impacta significativamente no estado final do item. Visto que no presente estudo dos 3 tipos de potência de laser aplicados, o que apresentou melhor resultado em questão de fusão, porosidade, diâmetro e ZTA foi a menor potência de 280 W.

São essenciais futuras análises em relação a outros parâmetros que foram mantidos constantes neste estudo e que podem impactar no processo de adição de metal na estrutura da peça.

Em relação a manufatura híbrida, foi apenas analisada a parte de adição de metais, porém após bem definidos os parâmetros usados na parte aditiva, seria interessante a avaliação desta combinação com a subtração de metal.

Notou-se que é fundamental um estudo mais aprofundado no tema pelos pesquisadores, a fim de tornar a tecnologia mais tecnicamente viável e aplicável nos diferentes setores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMAQ. **Anuário ABIMAQ 2019**. São Paulo, 2019. Disponível em: < <http://abimaq.org.br/COMUNICACOES/ANUARIO/abimaq2019.pdf> >. Acesso em: 12 abr 2021.

ALBERTI, Eduardo A.; BUENO, Bruno M. P.; OLIVEIRA, Ana S. C. M. **Processamento de Ligas de Níquel com Técnica de Manufatura Aditiva Utilizando Plasma por Arco Transferido**. Artigo Técnico de Pós-graduação, Universidade Federal do Paraná, 2015. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/si/a/bFHf3CXmNXQk9hGNkqtfVBf/?format=pdf&lang=pt> >. Acesso em: 24 mai. 2021.

ÅLGÅRDH, Joakim. *et al.* **State-of-the-art for Additive Manufacturing of Metals**. Metalliska Material, 2017. Disponível em: < [https://www.metalliskamaterial.se/globalassets/3-forskning/rapporter/2016-03898---state-of-the-art-for-additive-manufacturing-of-metals-2\\_1.pdf](https://www.metalliskamaterial.se/globalassets/3-forskning/rapporter/2016-03898---state-of-the-art-for-additive-manufacturing-of-metals-2_1.pdf) >. Acesso em: 07 mai. 2021.

CARDOSO, Natalia R. **A China e o seu Novo Modelo de Desenvolvimento Sustentável**. Monografia de Bacharelado, 2015. Disponível em: < <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/1035/1/NRCardoso.pdf> >. Acesso em: 04 abr 2021.

GGD Metais. **GUIA PRÁTICO AÇOS E METAIS**. São Paulo, 2019.

GIL Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2019.

GOMES, João; WILTGEN, Filipe. **Avanços na manufatura aditiva em metais: técnicas, materiais e máquinas**. Rev. Tecnol. Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 1-16, jun. 2020. Disponível em: < <https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/9917/6240> >. Acesso em: 06 mar. 2021.

IQBAL Asif; ZHAO Guolong; SUHAIMI Hazwani; HE Ning; HUSSAIN Ghulam; ZHAO Wei. **Readiness of Subtractive and Additive Manufacturing and their Sustainable Amalgamation from the Perspective of Industry 4.0: a Comprehensive Review**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-020-06287-6> > Acesso em: 17 mai. 2021.

JACKSON, Beau. **SAE INTERNATIONAL RELEASES FIRST SPECIFICATIONS FOR NORSK TITANIUM RAPID PLASMA DEPOSITION**. 3D Printing Industry, 2019. Disponível em: < <https://3dprintingindustry.com/news/saeinternational-releases-first-specifications-for-norsk-titanium-rapid-plasma-deposition-149210> >. Acesso em: 13 mai. 2021.

KENEE, Jean; DEJAX, Pierre; GHARBI, Ali. **Production planning of a hybrid manufacturing-remanufacturing system under uncertainty within closed-loop supply chain**. 2012. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527310004196> >. Acesso em: 18 mai. de 2021.

LORENZ, K.A.; JONES, J. B.; WIMPENNY, D. I.; JACKSON, M. R. **A REVIEW OF HYBRID MANUFACTURING**. 2015. Disponível em: < <http://utw10945.utweb.utexas.edu/sites/default/files/2015/2015-8-Lorenz.pdf> >. Acesso em: 18 mai. de 2021.

MACARTHUR, Ellen; WAUGHROY, Dominic. **Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains**. World Economic Forum, 2014. Disponível em: < [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_ENV\\_TowardsCircularEconomy\\_Report\\_2014.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_ENV_TowardsCircularEconomy_Report_2014.pdf) >. Acesso em 09 abr 2021.

MANOGHARAN, G; WYSK, R; HARRYSSON, O; AMAN, R. **AIMS- a Metal Additive-Hybrid Manufacturing System: System Architecture and Attributes**. Procedia Manufacturing, v. 1, p. 273–286, 2015. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978915010215> >. Acesso em: 07 abr 2021.

MASCARENHAS, Sidnei A. **Metodologia Científica**. São Paulo: Pearson, 2012.

POLOTSKY, Vladimir; KENEE, Jean; GHARBI, Ali. **Production and setup policy optimization for hybrid manufacturing-remanufacturing systems**. 2015. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.06.026> >. Acesso em: 18 mai. de 2021.

ROMI. **Manufatura Híbrida Traz Novas Oportunidades À Indústria Brasileira**. Santa Catarina, 2018. Portal a Voz da Indústria. Disponível em: < <https://www.industria40.ind.br/noticias/17500-manufatura-hibrida-traz-novas-oportunidades-a-industria-brasileira> >. Acesso em: 12 abr. 2021.

SMARTECH ANALYSIS. **Sales of Hybrid Manufacturing Rvenues Will Reach \$1.1 Billion by 2028**. Estados Unidos, 2021. Disponível em: < <https://www.smartechanalysis.com/news/sales-of-hybrid-manufacturing-revenues-will-reach-1-1-billion-by-2028/#> >. Acesso em: 18 mai. 2021.

WILTGEN, Filipe; ALCALDE, Eduard. **Prototipagem rápida aditiva aplicada em dispositivos funcionais de auxílio humano**. Trabalho apresentado no XX Congresso Brasileiro de Fabricação, São Carlos, 2019. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/335510058\\_PROTOTIPAGEM\\_RAPIDA\\_ADITIVA\\_APLICADA\\_EM\\_DISPOSITIVOS\\_FUNCIONAIS\\_DE\\_AUXILIO\\_HUMANO](https://www.researchgate.net/publication/335510058_PROTOTIPAGEM_RAPIDA_ADITIVA_APLICADA_EM_DISPOSITIVOS_FUNCIONAIS_DE_AUXILIO_HUMANO) >. Acesso em: 13 abr. 2021.

ZHU, Z; DHOKIA, V.G.; NASSEHI, A.; NEWMAN, S.T. **A Review of Hybrid Manufacturing Processes – state of the art and future perspectives**. Department of Mechanical Engineering, University of Bath, Bath, UK, BA2 7AY, 2013. Disponível em: < [https://purehost.bath.ac.uk/ws/files/11219548/Newman\\_IJCIM\\_2013.pdf](https://purehost.bath.ac.uk/ws/files/11219548/Newman_IJCIM_2013.pdf) >. Acesso em: 12 mai. 2021.