

COMPARAÇÃO ENTRE MANUFATURA SUBTRATIVA E ADITIVA EM MATERIAIS METÁLICOS: CUSTO, PRAZO E LOGÍSTICA REVERSA

JEFFERSON SANTANA DE MOURA (FACULDADE DE
TECNOLOGIA DE MAUÁ)

jefferson.moura01@fatec.sp.gov.br

RAFAELLA CARMEN DE ALMEIDA (FACULDADE DE
TECNOLOGIA DE MAUÁ)

rafaella.almeida@fatec.gov.br

CARLOS FERNANDES DA SILVA (FACULDADE DE
TECNOLOGIA DE MAUÁ)

Carlos.silva240@fatec.gov.br

ALESSANDRA FERNANDES SANTOS (FACULDADE DE
TECNOLOGIA DE MAUÁ)

Alessandra.santos40@fatec.gov.br

RESUMO

A logística reversa, é a área responsável pelo gerenciamento do fluxo de materiais, desde o ponto de consumo até o ponto de origem, ou seja ela segue o sentido oposto dos processos, seu principal objetivo está na reutilização dos recursos. O presente artigo procura demonstrar por meio de um método comparativo entre os processos de manufatura subtrativa e aditiva em metais, as diferenças entre eles, em termos de custo, tempo de produção e geração de resíduos no processo, fator este que implica diretamente na logística reversa. Nota-se que no processo de usinagem, a geração de resíduo ocorre com o cavaco resultante da operação, além do que é necessário ter uma gestão de estoque, para controlar e armazenar esses resíduos industriais. Outro ponto a ser considerado é o transporte para os locais de armazenamento, esse deslocamento pode resultar na geração de monóxido de carbono ocasionados pelos veículos de transporte. Para que o cavaco não seja descartado, é necessário que ele passe pelo tratamento de limpeza, onde é realizado a separação do lubrificante e fluidos de corte contidos neste resíduo, com isso é possível submetê-lo a etapa de reprocessamento, método de gerenciamento de materiais conhecido como logística reversa. Já na manufatura aditiva o material é adicionado, o que anula essa perda. Em ambos os processos o reaproveitamento da matéria-prima é possível, mas por outro lado no processo de usinagem, os custos de recuperação do material, podem ser elevado.

PALAVRAS-CHAVE: manufatura aditiva 1 . manufatura subtrativa 2. logística reversa 3.

ABSTRACT

Reverse logistics is the area responsible for managing the flow of materials, from the point of consumption to the point of origin, that is, it follows the opposite direction of the processes, its main objective is the reuse of resources. This article seeks to demonstrate, through a comparative method between the subtractive and additive manufacturing processes in metals, the differences between them, in terms of cost, production time and waste generation in the process, a factor that directly implies reverse logistics. . It is noted that in the machining process, the generation of residue occurs with the chips resulting from the operation, in addition to the need to have a stock management, to control and store these industrial residues. Another point to be considered is the transport to the storage sites, this displacement can result in the generation of carbon monoxide caused by the transport vehicles. So that the chip is not discarded, it is necessary that it goes through the cleaning treatment, where the separation of the lubricant and cutting fluids contained in this residue is carried out, with this it is possible to submit it to the reprocessing stage, a material management method known as reverse logistics. In additive manufacturing, the material is added, which cancels out this loss. In both processes, the reuse of raw material is possible, but on the other hand, in the machining process, material recovery costs can be high.

Keywords: *additive manufacturing 1. Subtractive manufacturing d 2. reverse logistic 3.*

1. INTRODUÇÃO

Atualmente nas indústrias metalúrgicas os processos de produção mais comuns para fabricar peças individuais são os processos de usinagem, que consiste na remoção controlada de um bloco metálico, conforme a geometria e dimensões finais da peça, diferente da manufatura aditiva que é caracterizada pela adição de material camada por camada (COMCIENCIA, 2018). Com a elevada concorrência e a necessidade de criar peças de geometrias complexas, a manufatura aditiva ou impressão 3D se destaca trazendo resultados relevantes para os tempos atuais, onde as empresas buscam oferecer produtos de qualidade, vinculando preço e prazos de entrega (VOLPATO, 2018).

Como já dito por Maltese (1975) na virada do século XX, a indústria metal mecânica vem realizando melhorias técnicas para se ajustarem a processos e maquinários, entretanto os problemas e dificuldades também se atualizam, como dependência de capital, mão de obra qualificada e logística.

O processo de usinagem acontece através da interferência entre a ferramenta e a peça, o contato entre eles resulta na geração de cavacos por meio do cisalhamento (STOETERAU,2003). Essa sobra de material tem sido um dos grandes problemas causados pelos processos de produção convencional, esses resíduos são desperdícios de material, e podem gerar outros problemas e custos como: utilização de processos de limpeza, na separação dos lubrificantes dos resíduos e na logística reversa, que é o processo que segue a direção oposta dos processos logísticos normais (LAMBERT apud STOCK apud ROGERS apud TIBBER-LEMBKE, 2001).

Berman (2012) afirma que a manufatura aditiva irá provocar mudanças no modelo de manufatura tradicional, porque ela além de oferecer produtos personalizados proporcionará uma redução considerável nos custos, o que relaciona-se também com o meio ambiente.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho é comparar em termos de custo e prazo a produção de peças em 3 propostas distintas de complexidade, considerando os processos entre manufatura subtrativa e aditiva, quantificando o efeito do resíduo da produção na logística reversa.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

Serão apresentados os conceitos, técnicas e análises sobre manufatura aditiva em metais e manufatura subtrativa, fornecendo uma visão geral dos impactos que esses processos podem causar ao meio ambiente.

2.1 MANUFATURA ADITIVA EM MATERIAIS METÁLICOS

Com os avanços tecnológicos tendo um crescimento cada vez mais significativo, as grandes empresas tem buscado por outros meios de produção como por exemplo a manufatura aditiva, que surgiu por volta dos anos 80 e foi se aperfeiçoando ao longo dos últimos anos (ALCALDE, 2019; WILTGEN, 2018; WILTGEN, 2019). Processo popularmente conhecido como impressão 3D, foi desenvolvida em 1984 por Charles Hull e denominada de estereolitografia, junto à essa inovação surgiram diversas técnicas onde passou-se a comercializar inúmeros dispositivos de impressão 3D, com custos e qualidades significativas (TAKAGAKI, 2002). A manufatura aditiva (MA) é compreendida pela ASTM F 2792 - 10 (2010) como sendo o oposto da manufatura subtrativa, ou seja não à perda de material. A impressão acontece com o material sendo depositado camada sobre camada, nos eixos X, Y e Z, criando o formato da peça com base em um modelo tridimensional gerado em um software de CAD (computer-aided designs) (WILTGEN, 2019).

A possibilidade de utilizar metais na manufatura aditiva sem a utilização do processo tradicional de usinagem, impactaria significativamente nos custos, nos prazos e no modo de projetar e construir peças (ATTARAN, 2017; DUDA et al., 2017). Algumas das vantagens que possibilitou o crescimento dessa tecnologia são as criações de peças complexas sem limitações em sua geometria, integração de partes, redução de massa de componentes, customização, economia de material e entre outros. Essas características são exclusivas desse processo de manufatura, quando comparado com o processo convencional de manufatura subtrativa, como por exemplo a usinagem (HON, 2007; VOLPATO; DE CARVALHO, 2018).

Volpato (2007) relaciona o processo de manufatura aditiva em três grupos: os baseados em líquidos, em pó e os que utilizam sólidos, os processos são classificados de acordo com o estado da matéria-prima. Conforme o comitê de normas técnicas ASTM (2019), atualmente existem sete tipos de processos de manufatura aditiva, a ISO/ASTM 52900:2015 relaciona como: fotopolimerização em cuba, extrusão de material, jateamento de material, jateamento de aglutinante, fusão em leito de pó, adição de lâminas e deposição com energia direcionada. Mas existem somente quatro técnicas que são aplicáveis aos metais sendo elas: Fusão em leito de pó (PBF- Powder Bed Fusion), Deposição por energia direta (DED – Direct energy deposition), Jateamento por enfardamento (BJ – Binder Jetting) e Laminação em folha (SL).

Os matérias utilizados nos processos de manufatura aditiva em metais segundo o levantamento (LANGFELD, 2018; 3D DILIGENT, 2019; DESIGNIFYING, 2019) são classificados conforme os tipos de técnicas e matérias-primas, conforme apresentados na tabela 1.

Tabela 01 – Lista de materiais utilizados na manufatura aditiva metálica.

| TECNOLOGIA | MATÉRIAS-PRIMA UTILIZADAS |
|------------|---|
| SLS | Al, Ti, Ligas de Ni, CoCr, Steel |
| SLM | Al, Ti, Ligas de Ni, CoCr, Steel |
| EBM | Al, Ti, Ligas de Ni, CoCr, Steel |
| DMLS | Al, Ti, Ligas de Ni, CoCr, Steel |
| BJ | WC, W, CoCr, Steel/ Bronze, Steel, Inco |
| DED | Ti, Ligas de Ni, Steel, Co, Al |
| UAM | Al, Cu |

Fonte: Langefeld (2018); 3D Diligent (2019); Designifying (2019)

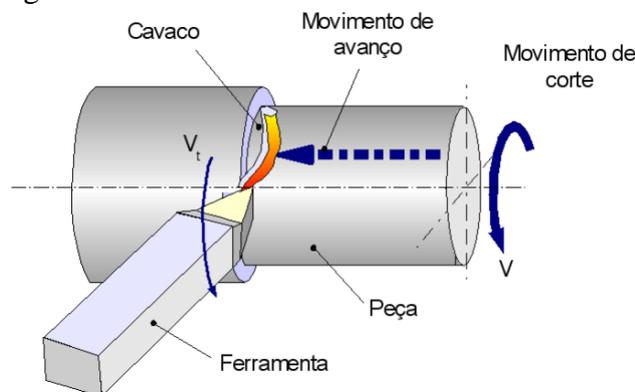
2.2 MANUFATURA SUBTRATIVA

Até parte do século XVIII boa parte das peças pensadas pela engenharia eram produzidas de forma artesanal, com a revolução industrial introduzindo novos métodos de manufatura e materiais mais resistentes, houve um grande crescimento nos processos de produção, desenvolvimento de métodos de usinagens e usos dos materiais (McGEOUGH, 1988). Com essa evolução chegou-se a uma variedade enorme de processos e matérias-primas utilizadas (KALPAKJIAN, S, 1985).

Conforme Ferraresi (1977) o processo de usinagem consiste na utilização de uma ferramenta de corte, que remove material, desbastando e gerando cavaco, conferindo a forma, as dimensões e o acabamento da peça, conforme figura 1. De modo geral as principais operações de usinagem existentes são: o torneamento, fresamento, retifica, brochamento e furação. Cada processo exerce um papel fundamental para determinar como o produto será fabricado, considerando as propriedades do material (SALES; SANTOS, 2013).

Atualmente os processos de usinagem mais complexos e com alta qualidade são realizados por máquinas automatizadas através do comando numérico computadorizado CNC. Esse comando diminui a interferência do operador no momento da operação e contribui também com a produtividade e qualidade das peças fabricadas.

Figura 1 - Processo de usinagem “torneamento”



Fonte : STOETERAU R. L. (2003)

2.3 LOGÍSTICA REVERSA

A logística reversa pode ser compreendida como a área da logística empresarial que é responsável pelo planejamento e controle dos fluxos reversos das matérias-primas, atribuindo também os estoques, os produtos acabados e toda a cadeia produtiva. Isso gera diversos benefícios, entre eles, no ganho de competitividade refletindo nos aspectos econômicos, sociais e ambientais (ROGERS; TIBBEN-LEMBKE, 1999). Mensurar resultados e definir metas é um dos fatores mais significativos no momento do planejamento, mesmo a mensuração de resultados possuindo uma grande relevância nos processos reversos, a maioria das empresas que segue a política da logística reversa ainda encontram dificuldades para definir indicadores eficientes (GUIMARÃES, 2015).

Segundo Romm (1996) a reciclagem de resíduos nos processos industriais é de extrema importância, mas em contra partida se torna mais vantajosa evitar ou minimizar sua geração.

Conforme Andrés (2001) para alcançar os objetivos é necessário minimizar o consumo de recursos e a poluição, observando as três fases do ciclo de vida do produto: a manufatura, a utilização e o descarte, desta maneira se torna mais viável eliminar o poluente ao invés de recuperá-lo.

Conforme a política nacional de resíduos sólidos (PNRS) que institui a lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010.

Resíduos sólidos são definidos como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água..." (Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010).

3. DESENVOLVIMENTO DA TEMÁTICA

O desenvolvimento deste trabalho baseou-se na criação de três modelos de peças distintas, tipicamente produzidas em matérias metálicas, seguindo as etapas de modelamento 3D, cotação da produção pelo processo de manufatura subtrativa e aditiva, e terminando com a comparação dos resultados obtidos.

Para efeito de padronização e comparação, foi definido que todas as peças, tanto produzidas por manufatura aditiva quanto por manufatura subtrativa fossem cotadas em alumínio.

3.1 MODELAMENTO 3D

Uma vez definido conceitualmente o que representa cada um dos três conceitos de peças: simples, complexa e conjunto, passou-se a concepção e modelamento 3D.

Para o modelamento 3D, foi utilizado o software de CAD SolidWorks, onde as referidas peças seguem o conceito apresentado, convertendo o arquivo em formato específico chamado .stl – (Stereolithography), após essa etapa é necessário transferir o arquivo para um software de fatiamento, onde é possível identificar falhas ou erros de construção, nesse software também é definido o posicionamento da peça na plataforma de impressão, para assim analisar a necessidade de suportes.

3.1.1 PEÇA SIMPLES

Definiu-se que uma peça de geometria simples é aquela que pode ser produzida por um único processo produtivo, neste caso, pensando-se no processo de manufatura subtrativa, estabeleceu-se uma peça produzida pelo processo de torneamento, e na manufatura aditiva, a técnica utilizada será a de SLM (Selective Laser Melting – Fusão seletiva por laser) procedimento que consiste na deposição do material em pó metálico em camadas sucessivas, sendo fundido por um feixe de laser, conforme peça demonstrada na figura 2.

Figura 2 - Peça simples



Fonte: Próprios autores

3.1.2 PEÇA COMPLEXA

Como peça complexa, considera-se que é aquela que necessita da associação demais de um processo de produção para a confecção da peça, pensando-se no processo de manufatura subtrativa, definiu-se uma peça produzida pelo processos de fresamento e eletroerosão, no caso da manufatura aditiva, a técnica utilizada será a de SLM, conforme mostrada na peça figura 3.

Figura 3 - Peça complexa



Fonte: Próprios autores

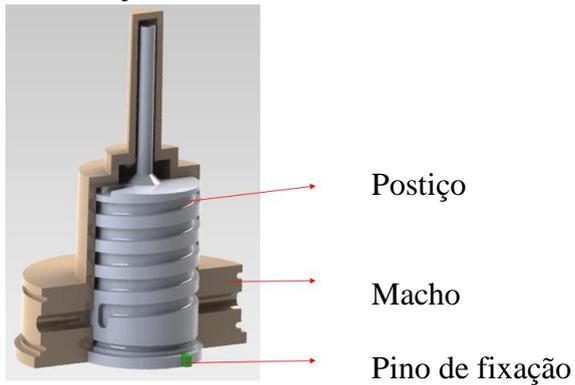
3.1.3 CONJUNTO

Conceitualmente um conjunto é formado por duas ou mais peças montadas, para que surta o efeito funcional desejado.

- **Conjunto gerado para produção por manufatura subtrativa**

Pensando-se no processo de manufatura subtrativa, estabeleceu-se uma peça produzida pelo processo de torneamento e fresamento.

Figura 3 – Conjunto manufatura subtrativa

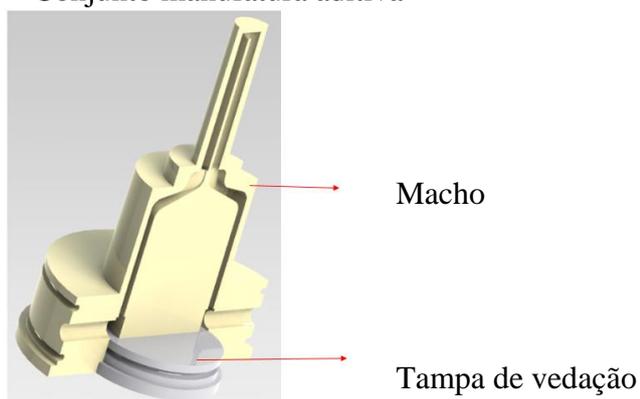


Fonte: Próprios autores

- **Conjunto gerado para produção por manufatura aditiva em metais**

No caso da manufatura aditiva, a técnica utilizada será a de SLM, na confecção da peça demonstrada na figura 4.

Figura 4 – Conjunto manufatura aditiva



Fonte: Próprios autores

3.1.4 COTAÇÃO

Para obter as informações necessárias, foram realizados orçamentos com as empresas do ramo, localizadas na grande São Paulo:

- Manufatura aditiva: A empresa de equipamentos de automação industrial Omnitek, colocou-se à disposição para fornecer os dados necessários para realização deste projeto.
- Manufatura subtrativa: A cotação no processo de usinagem foi realizada através do contato com a empresa de ferramentaria Riomanfe, que se dispôs em fornecer as informações, conforme os critérios estabelecidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, pode-se definir quais as alternativas que atendam de maneira mais eficiente aos requisitos do projeto, auxiliando assim na etapa de tomada de decisão. Existem vários parâmetros que podem ser considerados nesta etapa, tais como: fator econômico, prazos, controle de estoque, logística reversa envolvida nas condições ambientais e recuperação dos resíduos da produção.

A tabela 2 apresenta uma comparação entre os processos produtivos e as matérias-primas utilizadas para a confecção das peças.

Tabela 2- Relação de custo e tempo de construção.

| | SIMPLES | | COMPLEXA | | CONJUNTO | |
|---------------------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Manuf. Subtrativa | Manuf. Ditiva | Manuf. Subtrativa | Manuf. Subtrativa | Manuf. Subtrativa | Manuf. Subtrativa |
| QUANTIDADE DE COMPONENTES | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| CUSTO | R\$ 630,00 | R\$ 6.103,83 | R\$ 3.960,00 | R\$ 13.513,68 | R\$ 2.350,00 | R\$ 12.179,71 |
| TEMPO DE PRODUÇÃO (HORAS) | 6 | 42,4 | 26 | 112 | 26 | 77,5 |

Fonte: Próprios autores

Em termos de custo, a comparação entre os processos de construção por manufatura aditiva e subtrativa indicam que as peças produzidas pelo processo de manufatura subtrativa (convencional) ainda são mais baratas e com menor tempo de produção, em comparação às produzidas pela manufatura aditiva, isto pode ser justificado pelo alto investimento necessário para a impressão 3D. Estimasse que em poucos anos tenha-se um redução significativa no custo deste equipamento, tendo como base o que ocorreu na manufatura aditiva de matérias poliméricas, onde nos últimos 20 anos nota-se uma redução de custo dos equipamentos demais de 90%. Assim como ocorrido na confecção de produtos poliméricos, estimasse que a evolução constante da tecnologia permita que os tempos de produção venham a diminuir, conforme a manufatura aditiva em metais se renova, o custo final possa sofrer um reajuste e consequentemente reduzindo o custo de peças produzidas.

A tabela 3 compila os resultados das cotações descritas no item 3.2:

Tabela 03 – Processos, materiais e massa

| | SIMPLES | | COMPLEXA | | CONJUNTO | |
|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | Manuf. Subtrativa | Manuf. Ditiva | Manuf. Subtrativa | Manuf. Subtrativa | Manuf. Subtrativa | Manuf. Subtrativa |
| PROCESSO DE PRODUÇÃO | TORNO | SLM | FRESADORA - RETIFICA | SLM | Fresa e Eletroerosão | SLM |
| MATÉRIA PRIMA | ALUMINIO 1060 | ALUMINIO AISi10Mg | ALUMINIO 1060 | ALUMINIO AISi10Mg | ALUMINIO 1060 | ALUMINIO AISi10Mg |
| MASSA INICIAL | 2,850 Kg | 0,610 Kg | 17,582 Kg | 1,900 Kg | 8,168 Kg | 1,203 Kg |
| MASSA FINAL | 0,581 Kg | 0,610 Kg | 1,810 Kg | 1,900 Kg | 1,270 Kg | 1,203 Kg |

Fonte: Próprios autores

Observa-se que no processo de produção de peças em manufatura aditiva não se obtém desperdício de matéria-prima.

Já sobre a perspectiva da manufatura subtrativa observa-se que a perda de material durante o processo de produção oscila de acordo com a geometria da peça, mas, considerando-se as peças deste estudo, temos ao final uma quantidade de cavaco de aproximadamente 25 kg, obtidos em cerca de 50 horas de trabalho. A sobra de material, que necessita de um reprocessamento para poder ser reutilizada, produz altos custos com transporte, coleta, armazenamento, limpeza do material para remoção de impurezas, energia e recuperação da matéria-prima.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo demonstrar através de cotações, a quantidade de resíduos gerados por meio da comparação entre os processos de manufatura subtrativa e aditiva em materiais metálicos, com o foco na aplicação da logística reversa.

O resultado deste estudo demonstra que a manufatura aditiva em metais ainda está em ascensão, de fato o processo minimiza os desperdícios de material, mas o custo de equipamento encarece a confecção de uma determinada peça. Estimasse que ao longo dos anos o investimento a esses equipamentos de impressão 3D em materiais metálicos tornam-se mais acessíveis, possibilitando que o processo proporcione ganhos em relação à economia de material e os custos relacionados a fabricação. Isso é baseado no que ocorreu em outras técnicas de manufatura aditiva, como por exemplo nos materiais poliméricos. Com base em levantamento históricos na implantação de novas tecnologias, demonstram que a utilização desses equipamentos ao longo dos anos, tem proporcionado na redução dos valores de investimento e nos custos que envolvem o processo.

Baseado nas informações adquiridas percebe-se que a manufatura subtrativa permanece tendo relevância no mercado, entretanto a manufatura aditiva terá um papel fundamental no desenvolvimento das indústrias.

O presente estudo comparativo revela, que no processo de usinagem, não deve-se considerar apenas os custos das peças produzidas, pois, deve-se também considerar todos os custos embutidos na recuperação do cavaco, tais como: mão de obra para coletar o cavaco, espaço para alojar estes resíduos, gerenciamento do estoque até chegar-se ao volume de venda, e o custo de transporte. Temos ainda também os custos ambientais como: limpeza e consumo de energia para reciclagem do cavaco, e todos os custos embutidos não existentes na manufatura aditiva.

Espera-se que o presente artigo possa motivar ainda mais os pesquisadores, proporcionando aos profissionais da área uma visão sobre o assunto, o estudo apresentado auxiliará na tomada de decisão, para determinar o processo mais adequado na confecção e elaboração de uma peça.

REFERÊNCIAS

- 3DILIGENT. **Sheet lamination**. [S. l.:s. d.]. Disponível em: <<https://www.3diligent.com/3d-printing-service/sheet-lamination/>>. Acesso em: 07.jan.2022. 15h17.
- ALCALDE, E. **Prototipagem Rápida Aditiva: Aplicação em Dispositivo Funcional de Auxílio Humano para Membros Superiores**. 2019. 141 f. / Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté (UNITAU), Taubaté, 2019.
- ALCALDE, E.; WILTGEN, F. **Estudo das Tecnologias em Prototipagem Rápida: passado, presente e futuro**. Revista de Ciências Exatas da Universidade de Taubaté, Taubaté, v. 24, n. 2, p. 12-20. 2018.
- ANDRÉS, L. F. A. **Gestão Ambiental em Indústrias do Vale do Taquari: Vantagem com o uso das Técnicas de Produção mais Limpa**. Dissertação (mestrado), 86 f. Departamento de Administração, UFRGS, Porto Alegre, 2001.
- ASTM F2792. American Society for Testing and Materials. **Standard Terminology For Additive Manufacturing Technologies**. 2010.
- ASTM F42/ISO TC 261. **Develops Additive Manufacturing Standards**. [S. l.:s. d.]. Disponível em: <https://www.astm.org/COMMIT/F42_AMStandardsStructureAndPrimer.pdf>. Acesso em: 15.dez.2021. 17h02
- ATTARAN, M., **The Rise of 3-D Printing: The Advantages of Additive Manufacturing Over Traditional Manufacturing**. Bus. Horizons, v. 60, pp. 677-688. 2017.
- BERMAN, B. **3-D Printing: the new Industrial Revolution**. Business Horizons, [S.l.] v. 55, n. 2, p. 155-162. 2012.
- CF. MALTESE, F. **Notes for a Study of the Automobile Industry**. In: Labor market segmentation. Boston D.C. Heath, 1975.
- COMCIENCIA. **Manufatura Aditiva: Primeiras Impressões 3d e o Futuro da Produção Camada Por Camada**. Comciencia, Revista Eletrônica de Jornalismo Científico. SBPC, Reportagem, Dossiê195. 2018.
- DESIGNIFYING. **3D printing dmls direct metal laser sintering**. [Haryana], 2019. Disponível em <<http://www.designify.com/blog/3d-printing-technology/3d-printing-dmls-direct-metal-laser-sintering/>>. Acesso em: 09.jan.2022. 14h57.

DUDA, T.; RAGHAVAN, L.V. **3D Metal Printing Technology**. IFAC, [S.l.], 49-29, pp.103-110. 2017.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blücher,, 796p. 1977.

GUIMARÃES, José Leonardo; SALOMON, Valério Antonio Pamplona. **ANP Applied to the Evaluation of Performance Indicators of Reverse Logistics in Footwear Industry**. Procedia Computer Science, [S.l.] ,55. Jg., S. 139-148. 2015.

HON, K. K. B. **Digital Additive Manufacturing : From Rapid Prototyping to Rapid Manufacturing**. Proceedings of the 35th International MATADOR Conference, p. 337–340, 2007.

KALPAKJIAN, S. **Manufacturing Processo for Engineering Materials**. AddisonWesley Publixhing Company, [S.l.]. 1985.

LANGEFELD, B. et al. **Additive manufacturing in aerospace and defense**. [S. l.]: Roland Berger,2018. Disponível em: < http://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_additive_manufacturing.pdf>. Acesso em: 18.nov.2022. 14h55.

MCGEOUGH, J. A. **Advanced Methods of Machining**. Londres: Hapman and Hall, [S.l.], 1988.

PNRS - **POLITICA NACIONAL DE RESIDUOS SOLIDOS** Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 25.Mar.2022 15h38.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going Backwards:Reverse Logistics Practice**. University of Nevada, Reno – Center for Logistics Management, 1999, pp. 283 In: <<http://unr.edu/coba/logis/reverse.pdf>>. Acesso em; 22.mar.2022. 13h42

ROMM, Joseph J. **Um Passo Além da Qualidade: Como Aumentar Seus Lucros e Produtividade Através de uma Administração Ecológica**. São Paulo: Futura, 1996.

SALES, W. F.; SANTOS, S. C. **Fundamentos da Usinagem dos Materiais**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2013.

STOCK, TIBBER-LEMBKE & LAMBERT. **Strategic Logistics Management**. 4th Edition, McGraw Hill, New York, 2001.

STOETERAU. **Introdução ao projeto de máquina-ferramentas modernas**. RL - Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

STOETERAU R. L. **Fundamentos dos processos de usinagem**. USP, São Paulo, 2003. Disponível em: < <http://www.revistaferramental.com.br>>. Acesso em: 13.abr.2022 19h34.

TAKAGAKI, L. K. **Tecnologia de Impressão 3D**. Revista Inovação Tecnológica, São Paulo, v.2, n.2, p.28-40, 2012.

VOLPATO, N.; CARVALHO, J. **Introdução à manufatura aditiva ou impressão 3D**. In: MUNHOZ, A. L. J. et al. Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D. 1.ed. São Paulo: Blucher, p 15-29. 2018.

VOLPATO, N.; CARVALHO, J. **Prototipagem rápida como processo de fabricação**. In: AHRENS, C. H. et al. Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações. 1. ed. São Paulo: Blucher, p. 6-7. 2007.

VOLPATO, N. **Manufatura aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, p. 15–30, 2017.

WILTGEN. **Protótipo e Prototipagem Rápida Aditiva: Sua importância no Auxílio de Desenvolvimento**. 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação , São Carlos, SP, Brasil, 2019.