

Aplicabilidade da Manufatura Aditiva e Impressão 3d na Manufatura Convencional de Moldes para Injeção de Termoplásticos.



Marco Aurélio Feriotti (FATEC – Guarulhos) ¹
marco.a.feriotti@gmail.com

Davi de Medeiros Marcelino (FATEC – Guarulhos)²
davimarcelino18@gmail.com

Mayara Neves Pohlmann (FATEC – Guarulhos) ³
mayara.pholmann@gmail.com

Prof. Ms. José Martino Neto (FATEC – Guarulhos) ⁴
jose.martino@fatec.sp.gov.br

Prof. Dr. Jorge Luiz Rosa (FATEC – Guarulhos) ⁵
jorge.rosa2@fatec.sp.gov.br

Resumo

A manufatura aditiva (MA) e a Impressão 3D vem sendo amplamente aplicada em diferentes seguimentos, em particular, no setor de fabricação de moldes para injeção de termoplásticos. Atualmente, a manufatura aditiva de metais necessita de uma solução que combine alto desempenho com baixo custo para tornar essa tecnologia mais aplicável. Esta pesquisa apresenta um estudo de caso realizado em uma empresa do setor onde, em muitos casos, a manufatura aditiva já vem sendo utilizada nos projetos e no processo de fabricação de moldes. Visando embasar este estudo de caso, foram realizadas análises bibliográficas sobre a aplicação da manufatura aditiva na ferramentaria de moldes para injeção de termoplásticos. Dessa forma, foi possível observar que existe uma tendência, no curto e médio prazo, de que a produção de moldes sofrerá um impacto, com o advento desta tecnologia, que pode significar uma mudança nos métodos convencionas de fabricação de moldes, pois, além de insertos, moldes já estão sendo fabricados com uso da MA. Na aplicação da manufatura aditiva é fundamental que o processo utilizado garanta que as peças estejam livres de defeitos ou porosidade. Este estudo também possibilitou constatar que essa tecnologia afetará significativamente os conceitos de novos projetos e resultará em mudanças disruptivas nos métodos convencionais.

Palavras-chave: Manufatura aditiva, Molde para injeção de termoplásticos, Aplicação da MA em moldes.

1. Introdução

Há um crescente embasamento literário que reconhece o importante papel que a manufatura aditiva (MA) pode desempenhar atualmente na produção convencional de moldes para injeção de termoplásticos.

O mercado vive hoje um momento de diversificação de tecnologias e os moldes em aço podem, em alguns casos, ser complementados ou até substituídos pelo processo de impressão em 3D (FERNANDES, *et al.*, 2014).

A impressão 3D é uma tecnologia disruptiva que transforma os atuais modelos de negócios. Com o avanço desta tecnologia o setor poderá sofrer mudanças significativas nos métodos convencionais de fabricação de moldes (PEGAS, 2017).

Porém, os custos de fabricação da MA ainda se apresentam elevados, particularmente em função dos altos preços dos equipamentos e das matérias primas utilizadas (HUANG, *et al.*, 2017).

Neste contexto, este trabalho pretende explorar os tipos e aplicações da MA de metais e a impressão 3D, expondo não só a flexibilidade na geometria do projeto, mas também um dos maiores desafios que é a contribuição para minimizar o problema do alto custo desta tecnologia, por exemplo, apresentando a sua aplicação de forma híbrida na fabricação de insertos de moldes.

O foco neste trabalho se restringe à área da aplicação desta tecnologia na ferramentaria de moldes para injeção de termoplásticos no Brasil.

A avaliação da aplicação da MA na produção convencional de moldes, foi feita por meio de um estudo de caso junto a uma empresa do setor denominada “Alfa” que atua na fabricação de moldes para injeção de termoplásticos. Este estudo foi embasado em uma pesquisa bibliográfica, realizada por meio das plataformas eletrônicas onde o período foi delimitado de 2014 a 2020 e as palavras-chave foram “Manufatura aditiva” e “Moldes de injeção”.

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a aplicação da MA na fabricação de moldes para injeção de termoplásticos. Para alcançar esse resultado, buscou-se apresentar essa tecnologia e apontar suas aplicações na fabricação de moldes.

2. Referencial Teórico

Atualmente, as ferramentarias estão cada vez mais pressionadas a buscar alternativas para produzir moldes eficientes de forma mais rápida, precisa e com um menor custo. Um dos fatores para a tecnologia da MA evoluir neste segmento é o desenvolvimento de materiais com

características dos aços ferramenta, utilizados principalmente na concepção de insertos para moldes (PEÇAS, *et al.*, 2019).

A tecnologia da MA precisa de uma solução em que alto desempenho encontre baixo custo. Os pesquisadores já identificaram esta demanda e estão tentando resolver, com pelo menos dois metais, baseados nas tecnologias da MA existente (TORABI, PETROS e KHOSHNEVIS, 2014).

A MA de metais vem apresentando avanços tecnológicos constantes em seu desenvolvimento e sua aplicação, ampliando a viabilidade de sua utilização de forma econômica em diversos mercados, incluindo este segmento industrial de manufatura de moldes (JUNIOR e COSTA, 2019).

2.1. Manufatura Aditiva (MA) e a Impressão 3D

A MA e a impressão 3D utilizam um modelo em três dimensões desenvolvido em um software que o suporte. Este modelo será carregado em outro software, desenvolvido especificamente para a impressora, onde será fatiado em várias camadas (JUNIOR e COSTA, 2019).

É uma tecnologia em que o princípio de fabricação consiste na deposição do material camada por camada até que a peça seja obtida. É diferente de outros processos de fabricação, como a usinagem, onde há subtração do material para a produção da peça (SILVA, *et al.*, 2018)

Existem diversas técnicas desenvolvidas para MA e outras ainda em desenvolvimento com diferentes funcionalidades. Estas tecnologias se diferenciam em função do material, do processo e equipamento (JUNIOR e COSTA, 2019).

O processo da MA enfrenta alguns desafios com relação à velocidade da impressão e o alto custo em função da tecnologia utilizada. Existe uma variedade de materiais, incluindo metais de alto desempenho capazes de atender várias aplicações industriais. Porém, essas máquinas têm um custo elevado que contribui para os altos preços (TORABI, PETROS e KHOSHNEVIS, 2014).

Outro fator a ser observado nessa tecnologia são os níveis de porosidade, isso pode comprometer a sua aplicação em alguns casos, como por exemplo nos insertos de moldes, pois estes necessitam superfícies polidas e não podem sofrer infiltrações no circuito de refrigeração. Estudos apontaram que o direcionamento no processo tem influência na geração de defeitos de porosidade, e indicaram para os projetistas de moldes, os cuidados a serem tomados no posicionamento modelos matemáticos 3D nesse processo (PLESSIS, *et al.*, 2016).

2.1.2 Tipos de Impressão 3D

O conceito de MA permite que a mesma peça possa ser feita em diversas vertentes da impressão 3D (FERNANDES, *et al.*, 2014).

Um grupo de trabalho foi criado em 2010 pela ASTM (*American Society for Testing and Materials*) para criar a norma F42 que formula um conjunto de diretivas que classificam a gama de processos aditivos em sete categorias:

<i>VAT Photopolymerisation</i> (Fotopolimerização)
<i>Material Jetting</i> (Impressão por Jato de Material)
<i>Binder Jetting</i> (Impressão 3D de Aglomerante)
<i>Material Extrusion</i> (Deposição de Material Fundido)
<i>Power Bed Fusion</i> (Fusão em camada de pó)
<i>Sheet Lamination</i> (Laminação de Folhas)
<i>Directed Energy Deposition</i> (Deposição direta de energia)

Destas categorias apresentadas, quatro delas podem processar metais. Na tabela 1 são apresentados as tecnologias, processos e os materiais normalmente usados.

Tabela 1 – Processos aditivos que processam metais

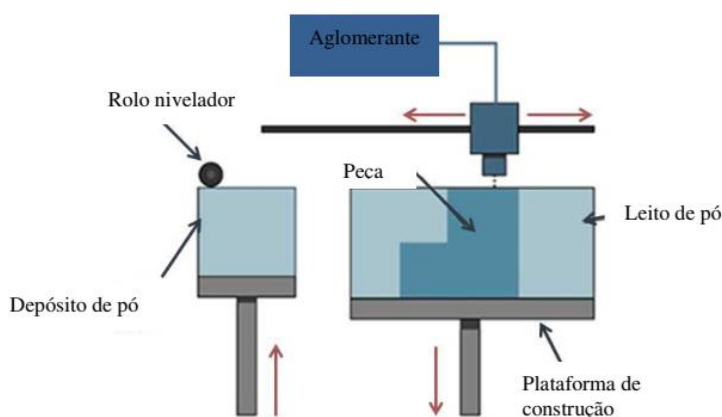
Categorias	Processos	Materiais
Impressão 3D de aglomerante	Metal 3D Print	Aço inoxidável
Deposição de material fundido	FDM	<i>Feedstocks</i>
Fusão em camada de pó	SLM	Aço inoxidável
		Aço ferramenta
	EBM	Ligas de alumínio
		Ligas de titânio
Deposição direta de energia	LENS	Ligas de cromo-cobalto
		Ligas de níquel
	DMD	Ligas de titânio
		Ligas de cromo-cobalto
		Ligas de níquel

Fonte: Adaptado de Reis (2017)

2.1.3. Impressão 3D de aglomerante (*Metal 3D Print*)

A impressão 3D de aglomerante (Figura 1) é um processo que utiliza dois materiais, o pó de aço e uma resina com função aglomerante que atua como um adesivo entre as camadas de pó da peça de impressão e o processo repete-se sucessivamente, até se obter a geometria pretendida. A geometria que se retira da plataforma do processo não é final, é necessário um segundo passo que é um tratamento térmico no forno para a remoção da resina e proceder a sinterização do pó metálico (REIS, 2017).

Figura 1 – Princípio do funcionamento impressão 3D de aglomerante

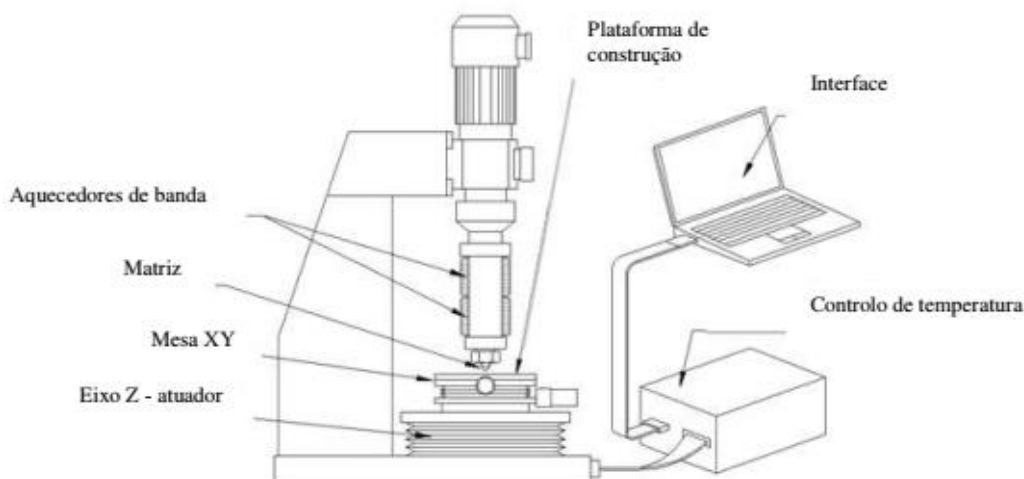


Fonte: Reis (2017)

2.1.4. Deposição por material fundido (*Fused Deposition Modeling – FDM*)

A deposição de metais (FDM) é uma técnica desenvolvida para produzir componentes metálicos (Figura 2) com base na extrusão de misturas de metal com um ligante polimérico (feedstocks) para formar, camada por camada, objetos tridimensionais (REIS, 2017).

Figura 2 – Princípio de funcionamento de impressão 3D (FDM)

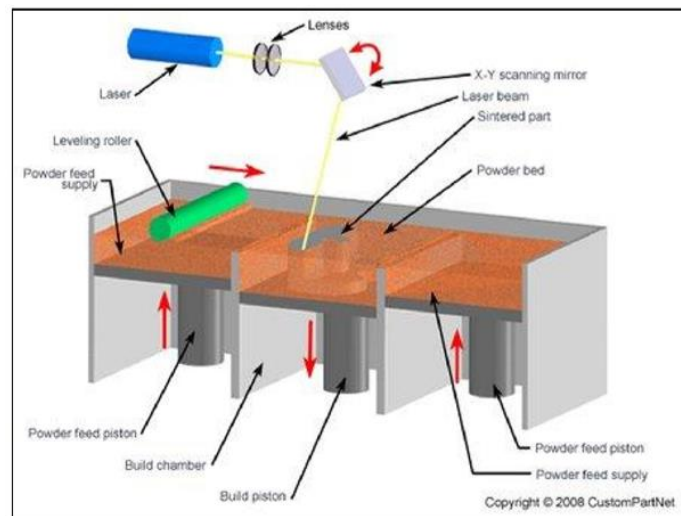


Fonte: Reis (2017)

2.1.5. Sinterização seletiva a laser (*Selective Laser Sintering – SLS*)

Este método nasce da fundição de pequenas partículas em pó abrindo um leque de possibilidades de matéria-prima. Em suma, é espalhada uma camada do material em uma superfície onde um laser funde suas partículas e forma uma camada, logo após, outra lâmina de pó é depositada em cima e o ciclo se repete até que se obtenha o sólido desejado, conforme representado na figura 3 (FERNANDES, *et al.*, 2014).

Figura 3 – Princípio de funcionamento de Impressão SLS

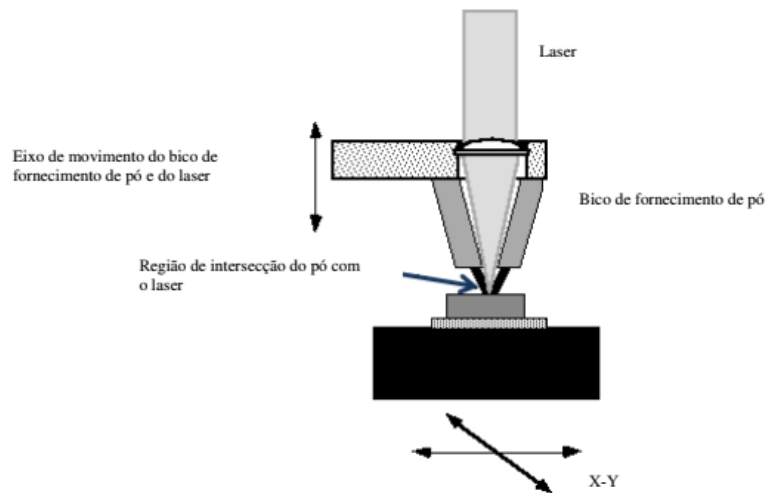


Fonte: Fernandes *et al.* (2014)

2.1.6. Deposição direta de energia (LENS)

O processo de deposição direta de energia (LENS®) possui algumas similaridades com o processo SLM, as partículas metálicas são inseridas através de um feixe laser focalizado que funde as partículas de metal sobre um substrato, conforme representado na figura 4 (REIS, 2017).

Figura 4 – Princípio do funcionamento LENS



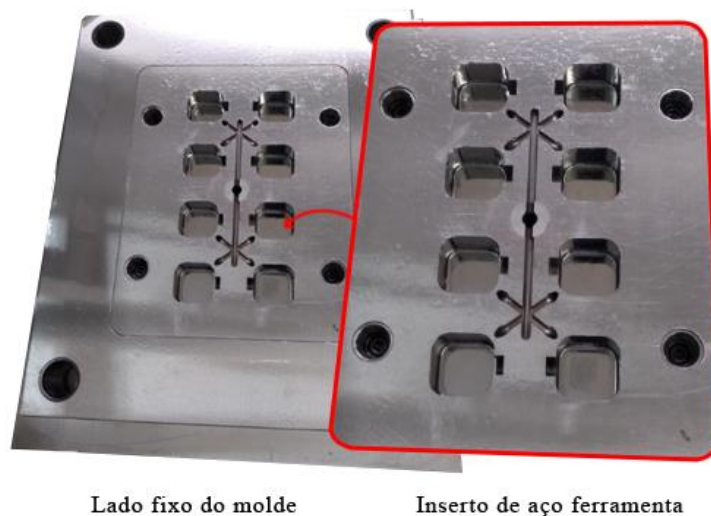
Fonte: Reis (2017)

2.2. Aplicação na ferramentaria de moldes para termoplásticos

Um molde para injeção de termoplásticos é uma ferramenta mecânica, que, quando acoplada a uma máquina de injeção de termoplásticos, permite a produção de peças plásticas, sendo estas o produto que se pretende obter (CARREIRA, 2020).

No projeto de um molde de injeção, em muitos casos as cavidades necessitam uma temperabilidade elevada, portanto, são previstos inserts nessas regiões utilizando o aço ferramenta e o tratamento térmico indicado em função da matéria prima a ser injetada (Figura 5).

Figura 5 – Lado fixo do molde para injeção de termoplástico e o inserto de aço

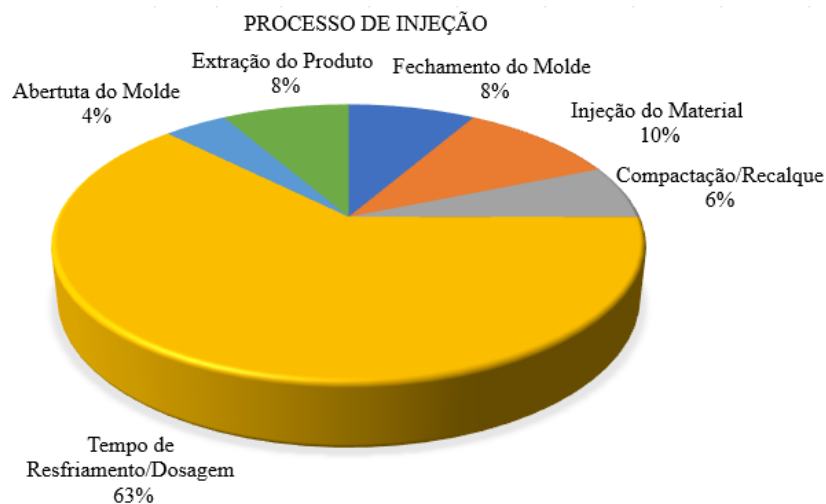


Fonte: Autores

A utilização do processo de MA em insertos é uma realidade aplicável, que pode ser considerada no projeto e fabricação de moldes ou partes de moldes plásticos (JUNIOR e COSTA, 2019).

Para obtenção de peças injetadas de boa qualidade e com ciclos produtivos eficientes, são envolvidos, além da máquina injetora, um projeto de molde que contemple sistemas de alimentação, extração e refrigeração eficientes. Neste contexto a etapa de refrigeração, normalmente, representa em média cerca de 60 a 70% do tempo total de um ciclo do processo de injeção, como representado na figura 6 (JUNIOR e COSTA, 2019).

Figura 6 – Gráfico representativo da média das etapas do processo de injeção



Fonte: Autores baseado em Junior e Costa (2019)

A MA permite a criação de geometrias dos canais de refrigeração que eram complexas para o método de fabricação convencional, com isso é possível reduzir o ciclo de injeção aumentando a produtividade e proporcionando melhorias no funcionamento do molde (WU e TOVAR, 2018).

A MA está sendo aplicada na fabricação de partes internas de moldes, podendo ser utilizada para acelerar o processo de fabricação (WU, *et al.*, 2017).

Estes processos proporcionam às empresas uma série de benefícios exclusivos em uma ampla gama de áreas, incluindo custos operacionais e ganhos de eficiência, além de inovação de produtos e redução do impacto ambiental (HUANG, *et al.*, 2017).

O processo de MA metálico pode gerar defeitos nas peças, como por exemplo, a porosidade, que traz prejuízo na sua aplicação em moldes e insertos.

2.3. Moldes impressos em plástico

Para a produção de pequenas séries para a validação de projetos ou nos órgãos reguladores, a impressão de moldes em plástico é uma alternativa que traz como benefícios a redução de custos e do tempo de fabricação comparados aos métodos convencionais.

Em vez de se investir altas somas e gastar muito tempo produzindo moldes em aço para a produção de séries limitadas, existem máquinas injetoras que já podem trabalhar com moldes impressos em plásticos, conforme representado na figura 7, as partes internas são idênticas dos moldes de aço, é possível submetê-los ao processo de injeção de uma gama de materiais amplamente usados no setor (FERNANDES, *et al.*, 2014).

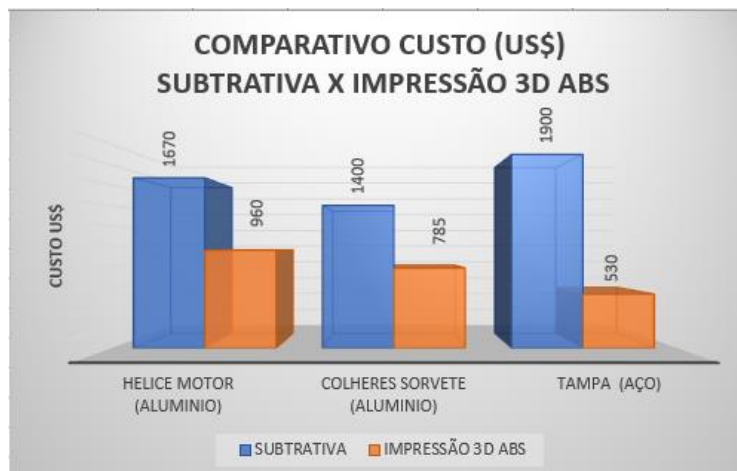
Figura 7- Moldes impressos em plástico gerados na impressora 3D



Fonte: Fernandes, *et al.* (2014)

Neste caso comparando com orçamentos solicitados aos fabricantes de moldes, a economia é significativa, sendo 43% menor que o molde de alumínio e 72% mais barato que um molde de aço, conforme demonstrado na figura 8 (FERNANDES, *et al.*, 2014).

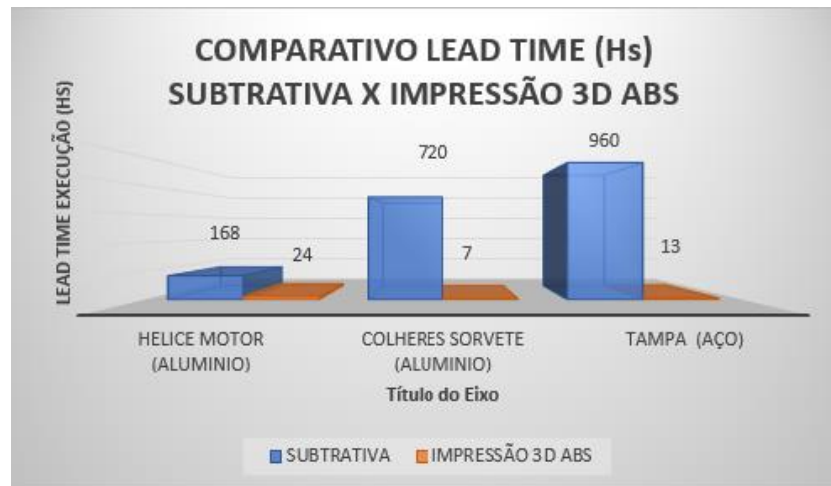
Figura 8 – Gráfico comparativo de custo moldes manufatura subtrativa x impressos em 3D



Fonte: Autores, baseado em Fernandes *et al.* (2014)

A impressão 3D, além de reduzir custos, acelera o lançamento do produto, conforme comparação do lead time de fabricação apresentada na figura 9.

Figura 9 – Gráfico comparação de lead time moldes manufatura subtrativa x impressos em 3D



Fonte: Autores baseado em Fernandes *et al.* (2014)

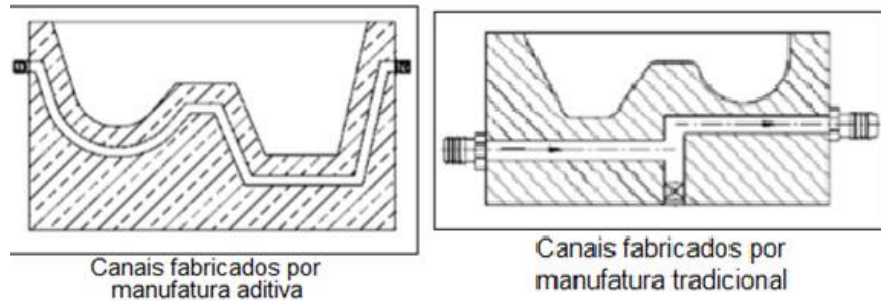
Uma das aplicações mais conhecidas de moldes impressos em 3D é na produção de pequenas séries de produtos, portanto, com uma impressora 3D não é mais necessário adquirir moldes para fabricar um determinado produto, para submetê-lo a exames de validação basta imprimi-lo. Também há benefícios com a facilidade de personalização de pequenos lotes (FERNANDES, *et al.*, 2014).

2.4. Moldes impressos em metais

A utilização de tecnologias de MA no setor dos moldes tem sido cada vez mais recorrente desde os anos 90 com a criação do conceito da refrigeração com canais conformáveis, desde então, têm-se desenvolvido aplicações com este tipo de característica (CARREIRA, 2020).

A obtenção de peças de boa qualidade com tempos de ciclos eficientes depende não somente da máquina injetora, mas também dos sistemas que a compõem, alimentação, refrigeração e extração (JUNIOR e COSTA, 2019). Na figura 10, é apresentado um desenho técnico comparativo de canais de refrigeração.

Figura 10– Comparativo de canais de refrigeração MA e convencional



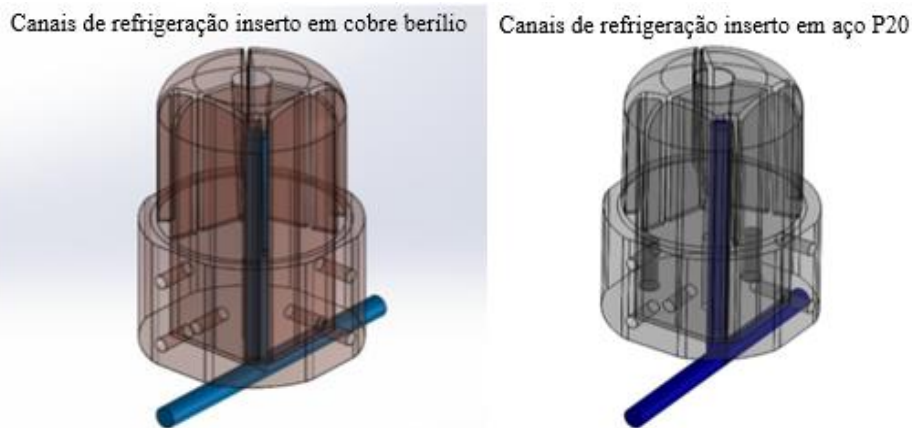
Fonte: Junior e Costa (2019)

A tecnologia da MA oferece a liberdade de adaptar os canais de resfriamento ao contorno da superfície da peça de forma mais uniforme.

Foi realizado um teste comparativo em um molde de sapata plástica utilizando inserto de metal impresso pelo processo MA com insertos fabricados pelo método tradicional (JUNIOR e COSTA, 2019).

Fabricado através de métodos convencionais o inserto de aço AISI P20 e de cobre berílio possui canais de refrigeração retilíneos e possui as mesmas características geométrica e elementos de fixação, conforme é mostrado na figura 11.

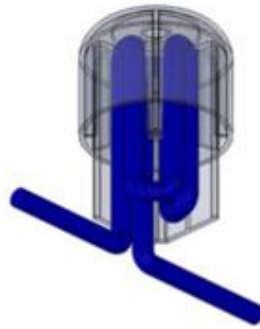
Figura 11: Comparação das características dos inserto de cobre berílio e do aço P20



Fonte: Junior e Costa (2019)

Para a fabricação por impressão 3D, o aço Maranging M300 foi escolhido por possuir características muito semelhantes ao aço AISI P20. A impressão permitiu liberdade de criação na geometria dos canais de refrigeração sem se preocupar com elementos de fixação. Assim foi estudada uma geometria buscando uma otimização em sua configuração, a fim de realizar a maior eficiente troca térmica possível (Figura 12).

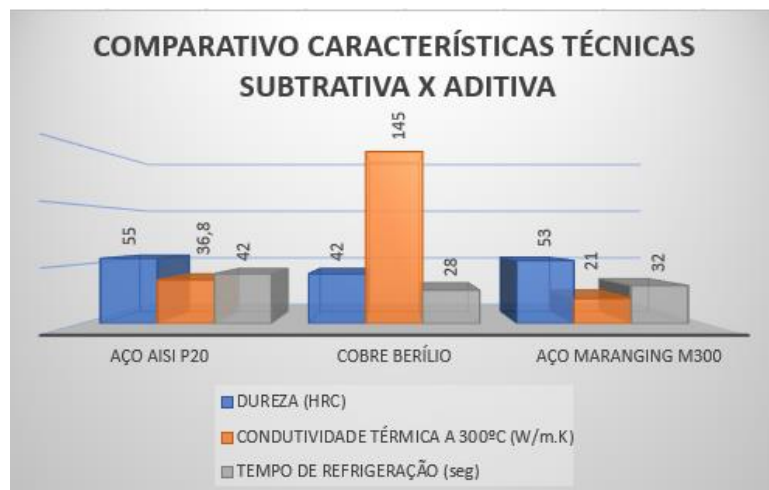
Figura 12 – Canais de refrigeração inserto em aço Maraging M300



Fonte: Adaptado de Junior e Costa (2019)

A figura 13 permite comparar a condutividade térmica, dureza (HRC) e o tempo de refrigeração entre os três materiais. O aço M300 tem a menor condutividade térmica dentre os três, porém a geometria dos canais de refrigeração compensa no tempo de refrigeração.

Figura 13 – Gráfico comparativo das características da manufatura subtrativa x aditiva

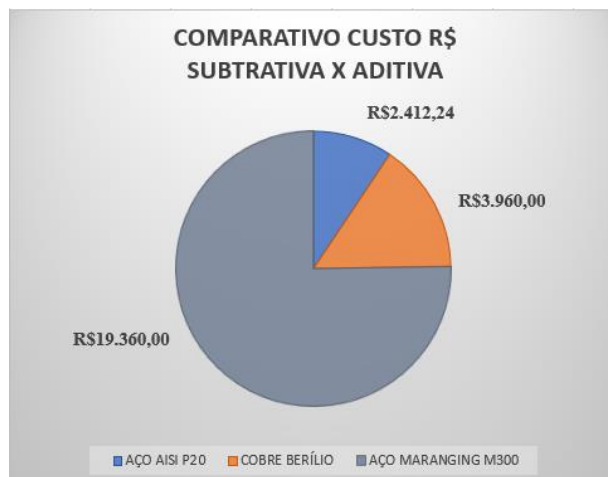


Fonte: Autores baseado em Junior e Costa (2019)

O aço M300 demonstrou resultados promissores, apresentou um ganho de produtividade de 10 segundos em relação ao tempo de resfriamento comparado ao aço P20 e uma diferença de 4 segundos em relação ao cobre berílio.

O fator econômico (figura 14), é uma limitação da aplicação da MA pois, os materiais disponíveis no mercado têm seu custo equivalente à 9 vezes o valor comparado aos aços ferramenta.

Figura 14 – Gráfico comparativo de custos da manufatura subtrativa x aditiva



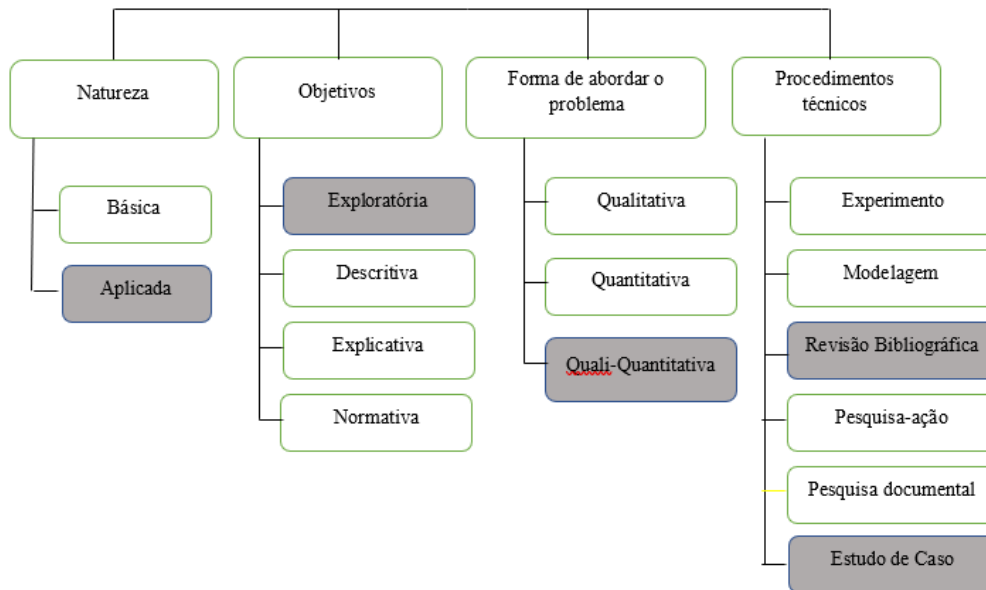
Fonte: Autores baseado em Junior e Costa (2019)

Com o objetivo de tornar a MA mais acessível, pesquisadores estão trabalhando no desenvolvimento de novas tecnologias de impressão 3D. Existem pesquisas baseada em soldagem a arco de gás metálico (GMAW) desenvolvido em *Michigan Technological University* e o segundo processo, desenvolvido na *University of Texas Arlington*, é conhecido como jato de metal líquido (LMJ), que envolve o jato de metal fundido em um processo semelhante à impressão a jato de tinta, onde microgotas derretidas individualmente são ejetadas e conectadas umas às outras. Nenhum desses processos está disponível comercialmente (TORABI, PETROS e KHOSHNEVIS, 2014).

3. Método

Para a realização desde trabalho, a definição do método baseado em Gil (2002) e Knechtel (2014), se classifica de natureza aplicada, cujos objetivos são exploratórios, com forma de abordagem quali-quantitativa, e os procedimentos técnicos são de revisão bibliográfica a fim de embasar o estudo de caso. A estrutura é descrita no fluxograma apresentado na figura 15.

Figura 15: Fluxograma do método de pesquisa do trabalho

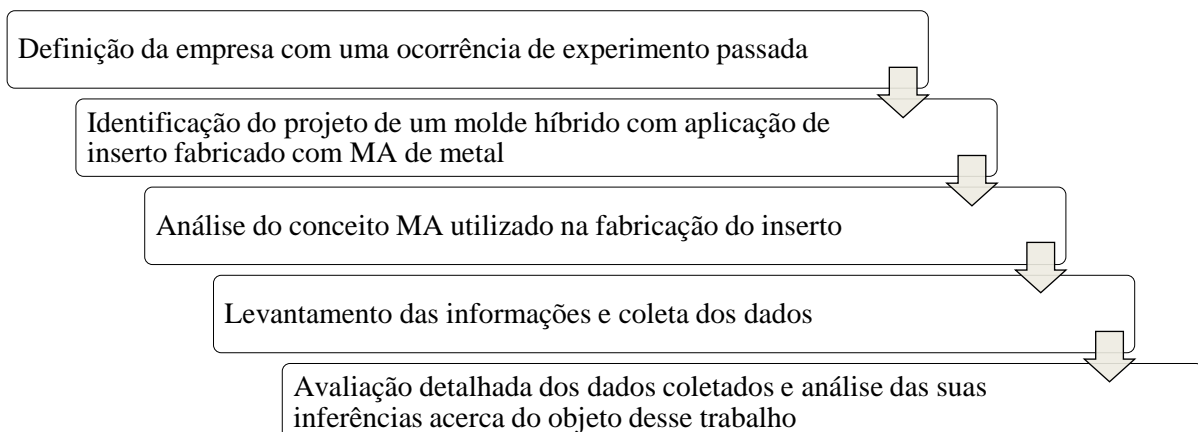


Fonte: Autores baseado em Knechtel (2014) e Gil (2002)

A natureza aplicada, envolve conhecimento disponível e aplica o conhecimento visando utilidade econômica e social. Caracteriza-se como exploratória, pois proporcionou maior familiaridade com o problema ao torná-lo mais explícito levando-se a construção de hipótese (GIL, 2002, p. 41). A forma de abordar o problema foi a modalidade de pesquisa quali-quantitativa, pois interpreta as informações quantitativas numéricas e os dados qualitativos mediante a observação e a interpretação das pesquisas (KNECHTEL, 2014, p. 106).

Na pesquisa bibliográfica adotou-se material já elaborado constituído principalmente de artigos científicos, que abordam os temas pertinentes ao objeto desse estudo e sua problemática. A pesquisa foi elaborada utilizando plataformas eletrônicas e o período foi delimitado de 2014 a 2020 e as palavras-chave foram “Manufatura aditiva” e “Moldes de injeção”.

Uma abordagem de estudo de caso foi usada para permitir a avaliação da aplicação prática das pesquisas apresentadas acima, para tanto, foi realizada pesquisa exploratória em cinco etapas:



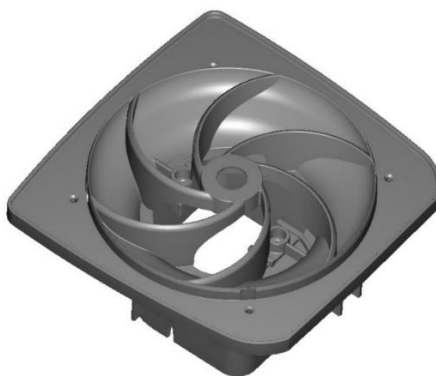
A empresa Alfa objeto desse estudo utiliza em seus projetos a aplicação da MA, atua há 30 anos na fabricação de moldes para injeção de termoplásticos para produtos aplicados em vários setores da indústria.

4. Resultados e discussões

Em estudos anteriores sobre a tecnologia da MA metálica, descobriu-se que diferentes variáveis estavam relacionadas a sua aplicação na fabricação de moldes. A partir das informações obtidas na literatura, foi possível dar início ao estudo de caso buscando uma compreensão extensiva e com mais objetividade, utilizando dados qualitativos, coletados a partir de eventos reais, com o objetivo de explicar e explorar o objeto desse trabalho inseridos em seu próprio contexto. Neste sentido foi selecionado o caso relatado abaixo:

A empresa “Alfa” desenvolveu o projeto e a construção do molde de injeção para um suporte do motor injetado em termofixo baquelite (Figura 16) a pedido de um fabricante de eletrodomésticos denominado “empresa A”.

Figura 16: Produto suporte do motor injetado em termofixo baquelite



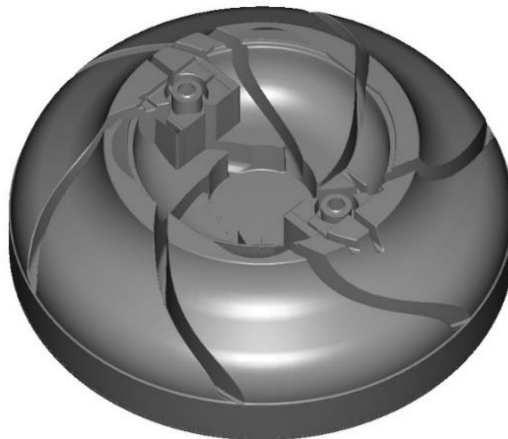
Fonte: Autores

A empresa “Alfa” apresentou um cronograma com prazo total de 150 dias para entrega do molde. A “Empresa A” verificou que o prazo para os testes de validação, aprovação e certificação junto aos órgãos regulamentadores, como a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT e o Instituto Nacional de Metrologia – INMETRO seria de 60 dias.

A “Empresa A”, buscou mitigar fases no cronograma do projeto para que algumas etapas ocorressem independentemente da conclusão de outras. Foi solicitada a injeção de 150 amostras 40 dias antes do prazo de entrega previsto para execução dos testes de validação junto a ABNT e o INMETRO, com objetivo de obter a certificação juntamente com prazo da entrega do molde.

A empresa “Alfa” apresentou proposta de cavidade híbrida utilizando inserto fabricado com tecnologia da MA metálica para substituir o postigo usinado em aço AISI 1.2344 (Figura 17), com objetivo de acelerar o processo de fabricação.

Figura 17: Postigo usinado em aço AISI 1.2344



Fonte: Autores

Para a tomada de decisão, alguns critérios foram avaliados, o custo e o prazo (Figura 18).

Figura 18: Gráfico comparativo custo x tempo



Fonte: Autores

Outro critério avaliado foi a vida útil e a capacidade de produzir as 150 peças solicitadas, pois o termofixo baquelite é muito abrasivo no processo de injeção e não se tem informações de ensaios anteriores do processo de MA que possa ser utilizado para mensurar sua vida útil nessa aplicação específica.

A empresa “Alfa” se reuniu com a empresa especializada em impressão 3D metálica e foram avaliadas as condições necessárias para a aplicação do inserto no molde.

Diante das condições para atender a quantidade e as características do processo de injeção, foi sugerido o processo *Metal 3D Print*, utilizando aço inoxidável e no processo de tratamento térmico foi feita a dopagem por capilaridade de bronze, substituindo o aglomerante.

Verificou-se a necessidade de melhoria da resistência a abrasão, com base em pesquisa elaborada sobre as características e propriedades da aplicação de tratamento superficial PVD (*Physical Vapor Deposition*), foi sugerido a aplicação de TiAlN (*Titanium Aluminium Nitride*) para contribuir na redução do coeficiente de abrasão aumentando a resistência ao desgaste, conforme demonstrado na tabela 2.

Tabela 2 : Características e propriedades do nitreto de titânio alumínio, aplicado por PVD

Microdureza (HV 0,005)	3300
Coeficiente de atrito contra o aço (seco)	0,30 - 0,35
Tensões interna da camada (Gpa)	-2,0
Temperatura máxima de trabalho (°C)	800
Temperatura do processo PVD (°C)	< 500
Cor do revestimento	Violeta - Cinzento

Fonte: Adaptado de Ohnuma *et al.* (2003)

O inserto foi fabricado e, após ser ajustado no molde, aplicou-se a camada de TiAlN, atendendo o prazo estipulado pela “Empresa A”, e foram injetadas 150 amostras.

Posteriormente, a “Empresa A” solicitou a injeção de mais 250 peças para testes funcionais e 300 peças para as adequações da sua linha de montagem. Foi observado que o inserto impresso resistiu à injeção de 700 peças com poucas avarias, ou seja, resistiu a 4 vezes a quantidade planejada.

Mais estudos, que levem em consideração essas variáveis, precisarão ser realizados para se avaliar com mais precisão a vida útil no molde.

O objetivo da aplicação da MA de forma híbrida nesse projeto, como meta de mitigar o prazo para a injeção do produto para que fosse submetido aos testes de validação junto aos órgãos certificadores foi alcançado.

5. Considerações finais

Foi averiguado nesse estudo, a possibilidade de imprimir moldes e suas partes alterando os métodos convencionais para um modelo híbrido. Isso também está de acordo com as observações anteriores, que mostraram que é possível buscar a harmonização entre as

manufaturas subtrativa e aditiva, já que a impressão 3D não contempla todas as necessidades e pode atuar como auxiliadora na fabricação convencional de moldes.

A comparação dos achados com os de outros estudos confirma também que a MA tem algumas limitações com relação aos materiais metálicos e custo, porém, traz muitas vantagens relacionadas à liberdade de geometria e prazos de fabricação quando comparados aos métodos convencionais da manufatura subtrativa, portanto projetos de moldes híbridos podem trazer grandes vantagens competitivas ao setor.

Inferiu-se que os resultados obtidos com o estudo de caso, corroboram os achados de uma grande parte dos trabalhos anteriores em que a utilização de insertos fabricados com a tecnologia MA, embora apresente custos maiores, se comparados com processo da manufatura subtrativa, podem ser utilizado como uma opção para acelerar os prazos de fabricação do molde, proporcionando ao cliente a condição de obter antecipadamente seu produto final nas condições exigidas para submeter aos testes de validação exigidos.

Este trabalho também buscou contribuir para a disseminação da MA e sua utilização na fabricação de moldes considerando que o uso dessa tecnologia para esse fim ainda é pouco pesquisada. Entretanto ela vem apresentando avanços constantes em seu desenvolvimento e sua aplicação pode ser um fator competitivo.

Objetivando avançar na área da aplicação dessa tecnologia, são necessários estudos de alguns aspectos que deveriam ser alvos de trabalhos futuros como, por exemplo, aperfeiçoar parâmetros de produção para obter superfícies com melhor acabamento e tolerâncias dimensionais; reduzir as limitações relativas ao alto custo otimizando os processos de produção; estudar o comportamento e as propriedades dos novos materiais existentes no mercado comparando-os aos aços ferramenta.

REFERÊNCIAS

CARREIRA, J. M. O. Produção de componentes para moldes de injeção para termoplásticos por fabrico aditivo metálico. **Projeto Mestrado em Engenharia Mecânica - Produção Industrial, IPL**, Leira, Portugal, 2020.

FERNANDES, A. D. F. et al. **Supply Chain e o Impacto da Impressora 3D**. São Paulo: [s.n.], 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 41 p.

HUANG, R. et al. Environmental and economic implications of distributed additive manufacturing:

The case of injection mold tooling. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21 (S1), p. S130-S143, 2017.

JUNIOR, G. B. M.; COSTA, C. A. Manufatura aditiva aplicada na fabricação de insertos para moldes de injeção termoplásticos. **SCIENTIA CUM INDUSTRIA**, Caxias do Sul, v. 7, n. 2, p. 76-82, 2019.

KNECTHEL, M. R. **Metodologia da pesquisa em educação: uma abordagem teórico-prática dialogada**. 1. ed. Curitiba, PR: Inter Saberes, 2014. 106 p.

OHNUMA, H. et al. Effects of aluminum concentration on friction and wear properties of titanium aluminum nitride films. **Surface and Coatings Technology**, p. 623–626, 2004.

PEÇAS, P. et al. Additive manufacturing in injection molds—life cycle engineering for technology selection. **Advanced Applications in Manufacturing Engineering**, Lisboa, Portugal, p. 105 - 139, 2019.

PEGAS, P. H. Simulação baseada em agentes para uma cadeia de suprimentos com impressão 3D: Uma análise comparativa utilizando AnyLogic, Ponta Grossa, PR, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/16138>>.

PLESSIS, A. et al. Directionality of cavities and porosity formation in powder-bed laser additive manufacturing of metal components investigated using X-Ray Tomography. **3D Printing and Additive Manufacturing**, v. 3, n. 1, p. 48-55, 2016.

REIS, N. C. R. Aplicabilidade do fabrico aditivo na indústria dos moldes de injeção, Leira, Março 2017.

SILVA, A. L. A. et al. Manufatura aditiva: Caracterização e comparação com os processos de produção existentes. **ENESEP**, 2018.

TORABI, P.; PETROS, M.; KHOSHNEVIS, B. Selective inhibition sintering: the process for consumer metal additive manufacturing article in 3D printing and additive manufacturing. **3D Printing and Additive Manufacturing**, v. 1, n. 3, p. 152-155, 2014.

WU, T. et al. Design optimization of plastic injection tooling for additive manufacturing. **Procedia Manufacturing**, LA, USA, v. 10, p. 923 – 934, 2017.

WU, T.; TOVAR, A. Design for additive manufacturing of conformal cooling channels using thermal-fluid topology optimization and application in injection molds. **International Design Engineering**, Quebec, Canada, 2018.