

PROJETO PARA MANUFATURA ADITIVA (DFAM) APLICADO NA FABRICAÇÃO DE “PEÇA MODELO” UTILIZADA NA VALIDAÇÃO DE GABARITOS DE CONTROLE E DISPOSITIVOS DE PRODUÇÃO

Lucas Aurélio Stelziner Fischer

Universidade Federal do Paraná, DEMEC, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 210 CEP 81531-990, Curitiba/PR
lucas.stelziner@gmail.com

Sergio Fernando Lajarin

Universidade Federal do Paraná, DEMEC, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 210 CEP 81531-990, Curitiba/PR
espanhol@gmail.com

Resumo: O setor automotivo é muito representativo na produção industrial brasileira e extremamente importante para outros setores como fornecedores de peças e serviços. Para que as empresas de auto peças possam fornecer seus produtos para o setor, elas devem atender os dezoito requisitos do Processo de Aprovação de Peça de Produção (PPAP, do inglês, Production Part Approval Process). Uma das maiores dificuldades para obter a aprovação do PPAP está na confecção da "Peça Modelo", utilizada como referência para calibrar e validar dispositivos, treinar operadores, entre outras coisas. As metodologias de desenvolvimento de peças automotivas estão se tornando defasadas, devido ao uso de métodos antigos. Portanto, uma modernização da atual metodologia pode trazer benefícios na aprovação dos PPAP das peças automotivas. Diante disso, este trabalho apresenta um procedimento de Projeto para Manufatura Aditiva (DFMA, do inglês: Design for Manufacture Additive) que analisa a viabilidade e sistematiza a fabricação de Peça Modelo por meio da Manufatura Aditiva (AM, do inglês, Additive Manufacturing). Por fim, os resultados comprovaram a aplicabilidade do procedimento de DFAM proposto e apontou benefícios consideráveis ao processo de desenvolvimento de peças automotivas e pode ser facilmente implementado por montadoras e fornecedores para obtenção das Peças Modelo.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. DFAM. APQP. PPAP. Peça modelo. Gabarito de Controle.

1. INTRODUÇÃO

O setor automotivo representa cerca de 22% do PIB (Produto Interno Bruto) industrial e afeta diretamente o desempenho de outros setores indústrias, como por exemplo as fábricas de autopeças que alimentam as grandes montadoras. Para que as empresas de auto peças possam fornecer seus produtos para o setor automotivo, elas devem atender as características técnicas exigidas por cada montadora. Diante dessa necessidade, no final de 1980 uma comissão de especialistas de fabricantes automotivos dos Estados Unidos desenvolveu um processo denominado Planejamento Avançado da Qualidade do Produto (APQP, do inglês: Advanced Product Quality Planning). Este processo visa estruturar o desenvolvimento e atendimento dos níveis de qualidade dos produtos fornecidos as empresas automobilísticas (MANUAL PPAP, 2020). Uma das principais atividades integradas dentro do APQP, é o Processo de Aprovação de Peça de Produção (PPAP, do inglês: Production Part Approval Process), esta atividade assegura que o processo de fabricação do fornecedor é capaz de produzir peças de forma seriada de acordo com as exigências técnicas estabelecidas pelo cliente (MANUAL PPAP, 2020). Somente após a aprovação do PPAP pelo cliente, uma empresa está habilitada a fornecer o produto em forma seriada. Uma das maiores dificuldades para obter a aprovação completa do PPAP está relacionada a validação dos dispositivos de produção e a confecção da "Peça Modelo", que é usada como referência para calibrar dispositivos, treinar operadores, validar os gabaritos de controle dimensionais, etc. O problema principal está no tempo, custo de desenvolvimento e fabricação dos dispositivos de produção para viabilizar a fabricação da peça modelo.

Diante disso, uma modernização da atual metodologia poderá trazer benefícios significativos na aprovação dos PPAP das peças automotivas e por consequência, oportunizando reduções de custo no desenvolvimento das peças a serem fornecidas para as montadoras automotivas. Uma das alternativas é o emprego de ferramentas da indústria 4.0 para confecção das Peças Modelo, como por exemplo o emprego de processos de fabricação mais versáteis como é o caso da Manufatura Aditiva (AM, do inglês: Additive Manufacturing).

A Manufatura Aditiva é a maior novidade na área da manufatura nas últimas três décadas (Thompson et al., 2016, Sossou et al., 2018). Ela tem como diferencial o método de fabricar por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com informações obtidas diretamente de uma representação geométrica computacional 3D do componente (Volpato, 2017). A AM oferece muitas vantagens sobre os processos de fabricação tradicional, que incluem a capacidade

de fabricar objetos com geometrias complexas em um curto período de tempo sem a necessidade de vários equipamentos de alto custo (Novakova e Kuric, 2012).

Com AM, surgiu o conceito de Projeto para Manufatura Aditiva (DFMA, do inglês: *Design for Manufacture Additive*). Segundo Gibson *et al.* (2016) e Pereira (2001) o DFMA tem como proposito principal simplificar a estrutura topológica do produto, gerar redução de peso e proporcionar condições geométricas acessíveis para serem fabricadas por meio da AM. De acordo com Chu *et al.* (2008) para obter sucesso no DFMA é necessário ter criatividade e pensar de forma inovadora. Plessis (2019) usando conceitos de DFMA mostrou ser possível combinar oito componentes em apenas uma geometria, eliminando montagem, reduzindo peso em 40% e redução significativa no custo de fabricação da peça.

Diante disso, o objetivo deste trabalho é propor um procedimento de DFMA que analise a viabilidade e sistematize o projeto de Peça Modelo para fabricação por meio da AM.

2. DESENVOLVIMENTO

O procedimento proposto contém sete etapas principais (Figura 1). A primeira etapa consiste na identificação dos requisitos específicos do produto tais como: características dimensionais, tolerâncias geométricas, geometrias especiais, pontos de fixação, aplicabilidade. Os requisitos são levantados por meio da interpretação do desenho técnico 2D e por auxílio da análise virtual da montagem em sistema CAD (do inglês: *Computer Aided Design*) 3D. Na segunda etapa, são analisadas as limitações de processo, tais como: volume de fabricação, precisão, materiais processáveis pela máquina de AM disponível, e também a presença de características específicas de peças fabricadas por AM (estrutura de suporte, efeito degrau de escada, anisotropia, entre outras). Na terceira etapa é analisada a possibilidade de contorno das limitações identificadas. Já na quarta etapa é verificado se a geometria da peça é apropriada para ser fabricada por meio da AM. Esta avaliação é feita com auxílio da metodologia proposta por Booth *et al.* (2017) que por meio de uma planilha, pontua características de complexidade, funcionalidade, material e estruturas de suporte e aponta, entre outras coisas, se a geometria da peça precisa ser reprojetada antes de seguir para a próxima etapa.

Com um projeto adequado (original ou reprojetado) a quinta etapa seguinte trata do planejamento do processo de AM, que pode ser feito em um *software* de planejamento chamado comumente de fatiador. Algumas das decisões tomadas nessa etapa consiste em definir a velocidade de impressão, altura de camada, orientação da peça na plataforma, fator de escala, temperatura do processo, entre outras. Nessa etapa, é possível simular computacionalmente a fabricação e obter os valores estimados de tempo e custo de manufatura. A etapa seguinte consiste na fabricação física da peça na impressora 3D, seguida de operações de pós-processamento.

A última etapa do procedimento proposto consiste na validação dimensional. Caso a peça apresente resultados dentro do especificado nos requisitos do projeto a peça está pronta para ser utilizada, caso contrário deve ser revisto novamente as etapas anteriores conforme relatado no fluxo do procedimento.

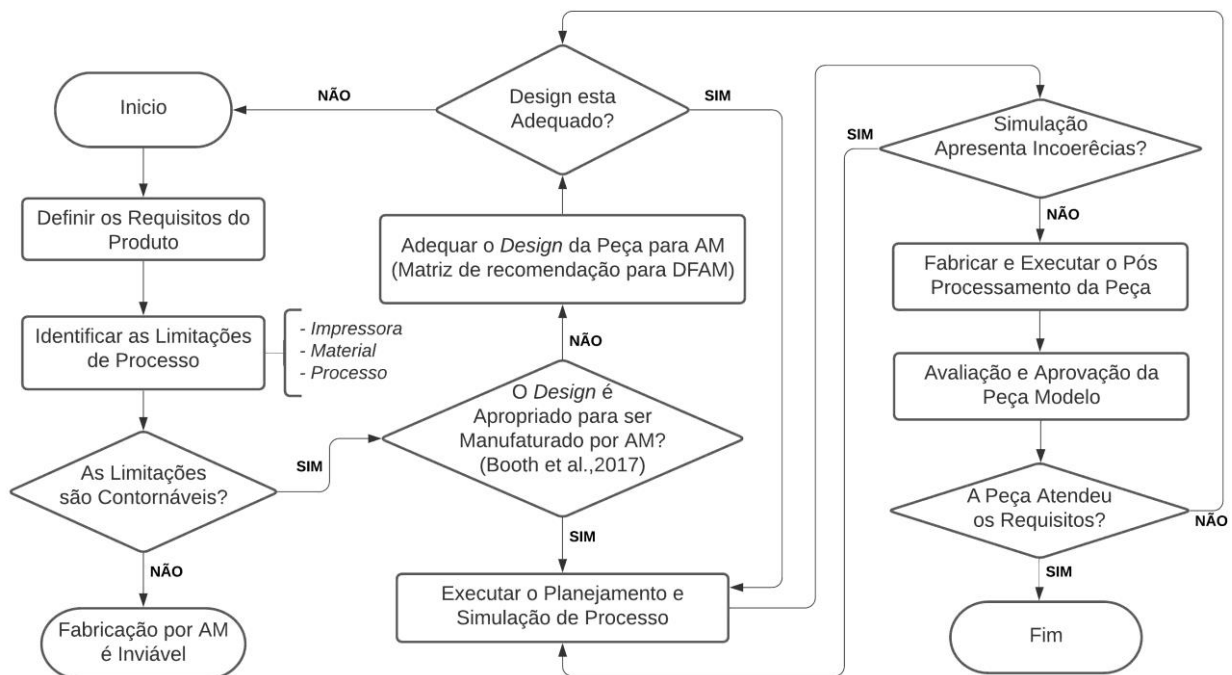


Figura 1. Fluxograma do procedimento de fabricação de Peças Modelo por Manufatura Aditiva (Autor)

O procedimento proposto foi aplicado na fabricação de duas peças modelo de geometrias diferentes. A primeira peça é um suporte metálico chamado de “Algema” fabricado convencionalmente por processos de estampagem e a segunda peça, chamada de “Tubo de Resfriamento” convencionalmente fabricada com auxílio de dobradeiras CNC (Comando Numérico Computadorizado) e processos de solda.

2.1 Definição dos requisitos de produto

Esta etapa iniciou com a leitura do desenho técnico dos produtos (Fig. 2) com o objetivo de identificar os *datum targets* de alinhamento que determinam os pontos de partida das dimensões principais. Na sequência, foram identificadas as dimensões toleradas do produto. Além disso, se fez necessário realizar a análise da aplicabilidade do produto, para assegurar que as dimensões críticas em desenho são realmente importantes ou mesmo garantir que não foi esquecido de mencionar ou tolerar alguma dimensão em desenho. Essa análise foi feita diretamente em um modelo 3D da montagem em sistema CAD.

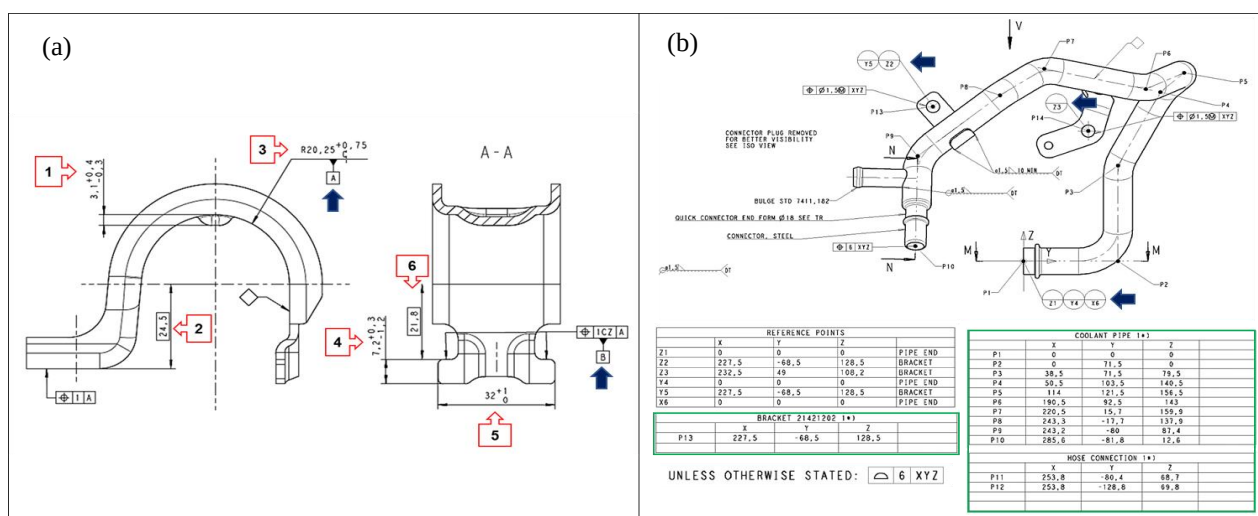


Figura 2. Desenho técnico das peças, em (a) Algema com os balões numéricos indicando as dimensões críticas e as setas os *datum targets*; (b) Tubo de Resfriamento com as dimensões críticas indicadas na tabela grifada e setas apontando os *datum targets*

2.2 Limitações de processo

Foram analisadas características limitantes do equipamento de AM disponível, tais como: material processável por esse equipamento e características inerentes ao processo. Ao final dessa análise foi possível averiguar se a peça apresentou viabilidade para ser manufaturada por meio da AM.

A impressora 3D disponível foi da marca SethiS2 que emprega o princípio de extrusão de material e tem as seguintes características: Volume de impressão de 200x200x200mm (comprimento, largura e altura, respectivamente), resolução de camada de 0.05mm à 0.3mm, possui apenas um extrusor, atinge temperatura de extrusão de até 260°C, possui mesa aquecida, estrutura fechada e alcança velocidade de impressão de até 150 mm/s. Nessa fase foi identificada uma limitação de equipamento onde o Tubo de Resfriamento excedia o volume de impressão disponível. O procedimento direcionou para a análise da possibilidade de contorno da limitação. O material escolhido para fabricar a peça foi o ABS, já que apresenta melhores propriedades térmicas que outros materiais processáveis por esse equipamento.

Parâmetros e decisões de processo, tais como, orientação da peça na plataforma de impressão, altura de camada, velocidade de impressão, temperatura de impressão, tipo e percentual de preenchimento, necessidade de estruturas de suporte e de base ou borda adicional foram analisadas de forma a assegurar as tolerâncias dimensionais, geométricas e de boa qualidade superficial nas peças modelos. Nenhuma limitação clara foi observada nessa etapa.

2.3 Avaliação de design para AM

A etapa de análise da viabilidade de fabricação por meio de AM foi realizada aplicando o procedimento de DFMA proposto por Booth *et al.* (2017) conforme demonstrado na Figura 3. O procedimento é composto por oito principais parâmetros que são preenchidos e pontuados conforme as características físicas da peça a ser manufaturada. No final do preenchimento é calculada uma pontuação que orienta a tomada de decisão em relação à fabricação do componente. Resultados superiores a 33 pontos indicam que o design da peça deve ser modificado, notas entre 24-32 sugerem uma

revisão no design da peça, entre 16-23 pontos mostra uma probabilidade moderada de obter sucesso na fabricação da peça e por fim, entre 8-15 sinaliza uma maior probabilidade de sucesso de fabricação da peça por meio da AM. Quando o *design* é inadequado à fabricação por meio da MA a etapa de planejamento e simulação do processo se inicia.

A avaliação realizada nas duas peças do estudo, apresentaram notas inferiores a 20 pontos, apontando uma probabilidade moderada das peças serem produzidas com sucesso por AM.

2.4 Adequação de Design para AM

A etapa de adequação de design se faz necessária caso a peça apresente variáveis que torne o processo de fabricação de AM inviável. As variáveis são identificadas por meio da nota obtida na metodologia proposta por Booth *et al.* (2017), ou por auxílio de análises técnicas, softwares CAD e software de fatiamento. Com base em revisões bibliográfica e experiências práticas dos problemas de maior índice de recorrências da indústria automotiva, foi elaborado uma matriz de recomendação, que tem como principal objetivo, auxiliar o usuário na tomada de decisão em relação a adequação do *design* para AM. Conforme representado na Fig. 4 a matriz é ordenada em dois tópicos, sendo que as linhas da coluna primária apresentam os problemas mais usuais, tais como, desvios dimensionais, dimensão da peça superior a área de fabricação, custo de fabricação elevado, etc. E as colunas subsequentes as soluções recomendadas para tais problemas. A recomendação da solução está dividida em fortemente recomendado (FR), recomendado (R) e não recomendado (NR). Portanto, para obter maior sucesso na readequação do design, basta escolher uma solução ou uma combinação de soluções que seja recomendado ou fortemente recomendado para o problema retratado.

No caso em estudo foi necessário utilizar a matriz de recomendação para o Tubo de Resfriamento, pois as dimensões do Tubo excederam a capacidade volumétrica de produção da máquina, criando assim a necessidade de repensar o design da peça ou separa-la em partes para posterior montagem. Conforme interpretação da matriz, a solução recomendada foi dividir a peça em partes, para permitir a fabricação por AM.

Projeto para Manufatura Aditiva (DFMA)

Um método rápido para reduzir o número de falhas de impressão e prototipagem, por **Joran Booth**.
Instrução: Selecione uma opção para cada categoria da peça que planeja imprimir. E por fim calcule a pontuação final

Selecione uma Opção	Complexidade	Selecione uma Opção	Funcionalidade	Selecione uma Opção	Remoção de Material	Selecione uma Opção	Recursos não suportados	Soma Entre Linhas	Total
☐ 	A forma da peça é a mesma de materiais comuns de estoque ou é completamente 2D	☐ 	As superfícies de contato são superfícies de apoio, ou espera-se que durem mais de 1000 ciclos	☐ 	A peça é menor ou do mesmo tamanho que a estrutura de suporte necessária	☒ 	Existem recursos longos e sem suporte	x5	
☐ 	A peça é praticamente 2d e pode ser feita em uma fresadora ou torno sem reposicionamento	☐ 	A superfície de contato se move significativamente, sofre grandes forças ou deve suportar 100-1000 ciclos	☐ 	Existem pequenas lacunas que exigirão estrutura de suporte	☐ 	Existem pequenos recursos não suportados	x4	
☐ 	A peça pode ser feita em uma fresadora ou torno, mas somente após o reposicionamento na pinça pelo menos uma vez	☒ 	A superfície de contato se move um pouco, sofre forças moderadas ou espera-se que dure 100-1000 ciclos	☐ 	Cavidades ou canais internos não têm abertura para remoção de material	☐ 	Os recursos com presença de saliência apresentam suporte inclinado	x3	
☐ 	A curvatura da peça é complexa para uma operação de usinagem, como fresadora ou torno	☐ 	A superfície de acoplamento se moverá minimamente, sofrerá baixas forças ou será projetada para suportar 2-10 ciclos	☒ 	O material pode ser facilmente removido de cavidades internas, canais ou furos	☒ 	Os recursos de saliência têm um suporte mínimo de 45°deg	x2	
☒ 	Existem recursos internos ou a curvatura da superfície é muito complexa para ser usinada	☐ 	A superfície é puramente não funcional ou praticamente não apresenta ciclos	☐ 	Não há canais internos, cavidades ou furos	☐ 	A peça esta orientada para não ter regiões salientes	x1	

Selecione uma Opção	Recursos Finos	Selecione uma Opção	Concentração de Estresse	Selecione uma Opção	Tolerância	Selecione uma Opção	Exatidão Geométrica	Soma Entre Linhas	Total
☐ 	Algumas paredes têm menos de 1,5 mm de espessura	☐ 	Cantos internos não possuem chanfros, filetes ou nervuras	☒ 	As dimensões de diâmetro e comprimento são nominais	☐ 	A peça tem grande superfície plana ou tem uma forma que é importante ser exata	x5	
☐ 	Paredes com valores entre 1,5 - 3,0 mm de espessura	☐ 	Cantos possuem chanfros, filetes ou nervuras	☐ 	As dimensões de diâmetro ou comprimento são ajustados para contração ou encaixe	☒ 	A peça tem superfícies planas de tamanho médio ou formas que devem ser quase exatas	x3	
☒ 	Paredes com valores maiores que 3,0 mm de espessura	☐ 	Cantos possuem recursos significativos de chanfros, filetes ou nervuras	☐ 	As dimensões de diâmetro e comprimento não são importantes	☒ 	A peça tem pequenas superfícies ou nenhuma superfície plana ou formas que precisam ser exatas	x1	

Pré Avaliação

* Considere um processo de fabricação diferente

† Considere fortemente um processo de fabricação diferente

Pontuação Total

33-40 Precisa Redesenhar

24-32 Considere Redesenhar

16-23 Probabilidade moderada de sucesso

8-15 Maior probabilidade de sucesso

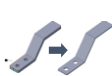
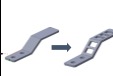
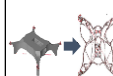
Total Geral 0

Figura 3. Metodologia de Booth aplicada para avaliar o *Design* da peça Algema (Adaptado de Booth *et al.*, 2017)

O Tubo de Resfriamento foi dividido em dez partes. Conforme ilustrado na Fig. 5(a) a divisão consiste em sete partes do tubo de maior diâmetro e três partes referentes aos suportes soldados e o tubo de menor diâmetro. As divisões do tubo principal foram executadas na região central dos cilindros de maior comprimento, longe das curvaturas. Em seguida o tubo principal foi preenchido internamente se tornando um sólido de único diâmetro com objetivo evitar material de

suporte interno durante a fabricação por meio da AM e proporcionar maior resistência mecânica. Por fim, os suportes soldados e o tubo de menor diâmetro foram acoplados e fixados por meio de parafusos. Para realizar as fixações foram criados furos passantes entre o corpo dos componentes e o tubo principal. A decisão em manufaturar os componentes de forma separada, tem como justificativa em garantir o dimensional, prover melhor qualidade superficial e eliminar estruturas de suporte durante a fabricação.

Matriz de recomendação básicas para DFMA

Recomendação	Alterar matéria prima	Reduzir espessura	Reduzir massa por meio da extração de geometrias conhecidas	Dividir a peça em partes	Alterar escala do produto	Otimizar topologicamente o design utilizando design biomimética	Otimizar topologicamente o design utilizando estruturas de treliçadas	Desenvolver um novo conceito de design
Qual é o problema ?								
Dimensão da peça é superior a área de fabricação	NR	NR	NR	FR	NR	NR	NR	NR
Geometria possui um alto nível de complexidade	NR	NR	NR	R	NR	FR	FR	FR
Peça apresenta desvios dimensionais	R	NR	NR	NR	R	R	R	R
Peça possui quantidade excessiva de subcomponentes	NR	NR	NR	R	NR	R	R	FR
Peça apresentada excesso de peso	NR	FR	FR	R	NR	FR	FR	FR
Resistência mecânica inferior ao desejado	R	R	NR	NR	NR	R	FR	R
Resistência térmica inferior ao desejado	FR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Custo de produção elevado	R	FR	FR	R	NR	FR	FR	FR

FR Fortemente Recomendável
R Recomendável
NR Não Recomendável

Figura 4. Matriz de recomendação para tomada de decisão na adequação do design para AM (Autor)

2.5 Planejamento de Processo

A primeira definição de processo foi a orientação da peça na plataforma de fabricação. Esta definição foi conduzida por meio de duas análises, a primeira teve como propósito encontrar a orientação que proporcionasse melhor estabilidade e precisão dimensional para a peça. Sendo que, as peças foram orientadas na plataforma de impressão com predominância nos eixos XY, com o propósito em assegurar a precisão dimensional e evitar estruturas de suporte. E a segunda análise avaliou quais regiões das peças necessitava de estrutura de suporte, levando em consideração a orientação predeterminada anteriormente. Em seguida os parâmetros de processo foram preenchidos no *software* de fatiamento (Tabela 1). Por fim foi executado a simulação do processo de fabricação. Por meio desta simulação foi possível estimar o tempo de manufatura, quantidade de material necessário, custo teórico, peso da peça e possíveis erros de fabricação.

2.6 Fabricação e pós-processamento

Com a conclusão do planejamento foi iniciado a fabricação. Nesta etapa foi exigido apenas um monitoramento visual do processo, para evitar possíveis falhas durante a manufatura da peça, tais como descolamento da plataforma de fabricação, entupimento do bico de extrusão, queda de energia, entre outros. Após a fabricação por AM, as peças foram submetidas a uma operação de pós-processamento com o descolamento da peça da plataforma de impressão, seguida de remoção das estruturas de suporte e rebarbas com ajuda de um pequeno alicate de ponta fina e outro de corte. A algema foi na sequencia lixada e pintada com tinta acrílica de baixa espessura para melhorar o acabamento superficial. As partes do Tubo de Resfriamento foram montadas e coladas com supercola instantânea. Para concluir a montagem os componentes periféricos foram fixados no tubo principal por meio de parafusos.

Tabela 1. Parâmetros do processo definidos para impressão das duas Peças Modelo.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Altura da camada	0,2 mm	Altura da 1ª camada	100%
Temperatura de impressão	230°C	Largura da 1ª camada	100%
Temperatura da plataforma	110°C	Temperatura da 1ª camada	230°C
Veloc. de extrusão na 1ª camada	15 mm/s	Direção impres. de contornos	Dentro-fora
Veloc. de extrusão contornos	20 mm/s	Padrão de preenchimento	Linear
Veloc. de extrusão preenchimento	30 mm/s	Distância de retração	5 mm
Contornos sólidos na parede	3	Velocidade de retração	40 mm/s
Camadas sólidas no piso	3	Diâmetro do filamento	1,75 mm
Camadas sólidas no teto	3	Borda adicional (saia, <i>raft</i>)	0
% de preenchimento	30%	Resolução do pilar do Suporte	2
Utilização de ventilador	100%	% de preenchimento Suporte	30%
		Camadas de suporte denso (80%)	2 e 5

2.7 Análise dimensional e validação

Foi realizada uma avaliação dimensional levando em consideração os requisitos iniciais identificados no desenho técnico. Todas as dimensões toleradas e *datum targets* foram analisados com auxílio de uma máquina de medição por coordenadas do tipo portal, modelo ACCURA da marca ZEISS com incerteza de medição de 2,2µm. Uma validação das Peças Modelos fabricadas pelo procedimento apresentado neste trabalho foi realizada por meio da comparação com resultados dimensionais de Peças Modelo fabricadas por métodos tradicionais.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E VALIDAÇÃO

O procedimento proposto permitiu analisar a viabilidade de fabricação de duas Peças Modelo por AM. Sendo que na etapa de análise das limitações do processo, uma limitação de equipamento com volume insuficiente foi identificada para a impressão da Peça Modelo Tubo de Resfriamento. Entretanto, por meio da aplicação da matriz de recomendação de adequação do design ilustrada na Fig. 4, a peça foi dividida em partes que couberam no volume de impressão e posteriormente foram montadas. Caso a análise da matriz de recomendação para adequação do design não apontasse uma alternativa viável, ou existisse alguma outra limitação que não fosse contornável, o procedimento indica inviabilidade de fabricação por AM.

Na etapa seguinte, os designs das duas Peças Modelo foram submetidos a uma análise de adequação à fabricação por AM. O procedimento de DFAM planilhado proposto por Booth et al. (2017) foi aplicado e o resultado foi 19 para a peça Algema e 17 para a peça Tubo de Resfriamento. Na escala de pontuação do procedimento, entre 16-23 indica probabilidade moderada de sucesso na fabricação por AM. Os pontos mais críticos analisados foram as tolerâncias requeridas em desenho, as superfícies de contato e os perfis geométricos das peças. O tempo total gasto na fabricação da peça Algema foi de 4h45min, sendo 3h45min para fabricar a peça por meio da AM e 1h para executar a etapa de pós-processamento. O tempo total de fabricação do Tubo de Resfriamento foi de 14h, sendo 11h de impressão e 3h de pós-processamento. O resultado de ambas as peças já pós-processadas pode ser visto nas Figuras 5.

O resultado da análise dimensional mostrou que as peça Algema e Tubo de Resfriamento atenderam a todos os requisitos exigidos em desenho e levantadas como requisitos do produto. O tempo de análise da peça Algema foi de 30 minutos e do Tubo de Resfriamento foi de 1h10min. A maior preocupação na fabricação do Tubo de Resfriamento estava atrelada as subdivisões feitas na peça para viabilizar a fabricação. Entretanto, essa preocupação não se confirmou e a estratégia de dividir a peça em diversas partes e depois monta-la, mostrou-se eficiente.

Diante disso, as peças fabricadas por meio da AM e submetidas ao procedimento proposto foram aprovadas como Peças Modelo e puderam ser utilizadas na validação de gabaritos de produção.

Nas Tab. 2 são apresentados os tempos gastos para a obtenção das Peças Modelo empregando o procedimento aqui proposto e o convencional. A redução foi significativa - menos de 2% do tempo para a obtenção da peça Algema e menos de 4% para obter o Tubo de Resfriamento. Em seguida as Peças Modelos foram aplicadas na validação dos dispositivos de controle do fornecedor. Essa redução no tempo de obtenção das Peças Modelo garante maior agilidade na avaliação e validação desses dispositivos além de proporcionar agilidade na obtenção da documentação de PPAP e redução de tempo no desenvolvimento do processo de fabricação das peças seriadas.

Tabela 2. Análise Comparativa para aquisição da Algema e Tubo de Resfriamento por AM e pelo método convencional

Peça Modelo Algema			
Etapa de Desenvolvimento	Processo de Fabricação		Resultado
	Convencional (Horas)	AM (Horas)	
Adequação de Design	0	0	C = AM
Fabricação da Peça	440h	4h45min	MA < C
Validação da Peça	30min	30min	C = MA
TOTAL	440h30min	5h15min	MA < C
Peça Modelo Tubo Resfriador			
Etapa de Desenvolvimento	Processo de Fabricação		Resultado
	Convencional (Horas)	AM (Horas)	
Adequação de Design	0	8	C < AM
Fabricação da Peça	416h	14h	MA < C
Validação da Peça	1h10min	1h10min	C = MA
TOTAL	417h10min	15h10min	MA < C

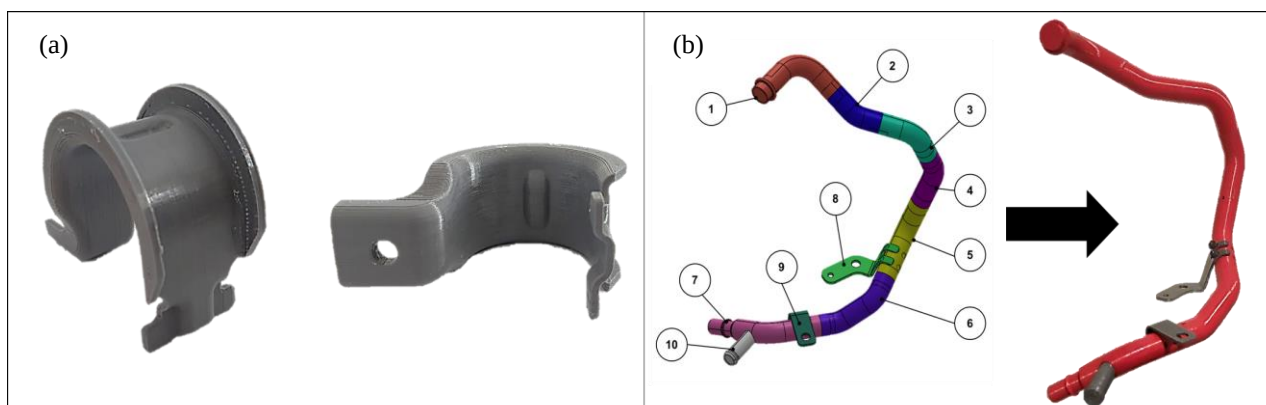


Figura 5. Em (a) Peça Algema fabricada por AM e pós processada; em (b) Tubo de Resfriamento fabricado por AM e pós processado (Fonte: Autor)

4. CONCLUSÃO

Inicialmente, duas peças automotivas com características diferentes foram selecionadas (Algema e Tubo de Resfriamento) e submetidas ao procedimento de DFAM desenvolvido. O procedimento composto por diversas etapas, exigiu inicialmente o levantamento dos requisitos do produto para que diante das limitações do processo (equipamento, material e processo), a viabilidade da fabricação por AM fosse verificada. As duas Peças Modelo analisadas, foram consideradas viáveis para a fabricação por AM. A peça Tubo Resfriador foi direcionada a uma readequação de design para contornar a limitação de volume de impressão do equipamento disponível. Na sequência, foi realizado o planejamento do processo, a fabricação em material ABS, pós-processamento e por fim, a avaliação dimensional. Os resultados da avaliação dimensional das duas peças confirmaram o atendimento dos requisitos do produto e puderam ser empregadas na avaliação de dispositivos de controle.

Uma análise comparativa entre as peças produzidas de forma convencional e as produzidas neste trabalho por AM demonstrou que o tempo de obtenção das Peças Modelo empregando o procedimento proposto foi significativamente menor – menos de 2% do tempo para a peça Algema e menos de 4% para obter o Tubo de Resfriamento. Essa redução no tempo para a obtenção das Peças Modelo agiliza a avaliação e validação dos dispositivos de controle dos fornecedores, pode agilizar a obtenção da documentação de PPAP, garantir assertividade na aprovação de PPAP e pode reduzir o tempo no desenvolvimento do processo de fabricação das peças seriadas. Além disso, o emprego do procedimento de DFAM proposto é inovador no contexto da indústria automotiva, pois sugere uma mudança de conceito produtivo e insere a AM como mais uma opção de processo de fabricação e não mais apenas como ferramenta de prototipagem rápida.

6. REFERÊNCIAS

- Booth, J.W., et al., 2016, “The design for additive manufacturing worksheet”, In *Proceedings of the ASME 2016 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2016*, August 21-24, 2016, Charlotte, North Carolina, USA.
- Chu, C., Graf, G. and Rosen, D.W. (2008), “Design for additive manufacturing of cellular structures”, *Computer-Aided Design and Applications*, Vol. 4 No. 5, pp. 686-696.
- Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., 2016, “Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing”, Springer New York Heidelberg Dordrecht London.
- Manual PPAP, PPAP - *Processo de Aprovação de Peças de Produção*, Disponível em <https://ppap.com.br/>, Acesso em 30 de junho de 2020.
- MDIC - *Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, Setor automotivo*, Disponível em: mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/setor-automotivo/ Acesso em: 23 de maio de 2020.
- Novakova-Marcincinova, L.; Kuric, I., 2012, *Basic and Advanced Materials for Fused Deposition Modeling Rapid Prototyping Technology. Manuf. and Ind. Eng*, v. 11, n. 1, p. 1338–6549.
- Pereira, E. et al., 2001, *Engenharia simultânea: um estudo de caso em uma empresa têxtil*. Revista Produção, v.1, n.1, out. p. 2-10.
- Plessis, A., et al., 2019, “Beautiful and Functional: A Review of Biomimetic Design in Additive Manufacturing”, *Additive Manufacturing*, Vol. 27, pp. 408–427.
- Sossou, G., Demoly, F., Montavon, G., Gomes, S., 2018, “An additive manufacturing oriented design approach to mechanical assemblies.”. *J. of Comp. Des. and Eng.*, Vol. 5, pp. 3–18.
- Thompson, M.K. et al., 2016, “Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints, *CIRP Annals*” – *Manufacturing Technology*, Vol. 65, pp. 737–760.
- Volpato, N., de Carvalho, J., 2017. *Introdução à manufatura aditiva ou impressão 3D. Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D*. São Paulo: Edgar Blücher.
- Wang, X.; Jiang, M.; Zhou, Z.; Gou, J.; Hui, D., 2017, *3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. Compos. Part B*, vol. 110, pp. 442–458.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

DESIGN FOR ADDITIVE MANUFACTURING (DFAM) APPLIED IN THE MANUFACTURE OF “MASTER SAMPLE” USED IN THE VALIDATION OF FEATURES CONTROL AND PRODUCTION DEVICES

Lucas Aurélio Stelziner Fischer

Universidade Federal do Paraná, DEMEC, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 210 CEP 81531-990, Curitiba/PR
lucas.stelziner@gmail.com

Sergio Fernando Lajarin

Universidade Federal do Paraná, DEMEC, Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 210 CEP 81531-990, Curitiba/PR
espanhol@gmail.com

Abstract: The automotive sector is awfully representative of Brazilian industrial production and extremely important for other sectors, such as parts and services suppliers. In order for auto parts companies to supply their products to automotive sector, it is necessary to fulfill the eighteen requirements requested within the Production Part Approval Process (PPAP). The greatest difficulties to obtaining the PPAP approval is correlated to the manufacture of "Master Sample". which has a purpose to be used as a reference for calibrating and validating devices, training operators, etc. The development methodologies of automotive parts are becoming outdated due to the usage of old methods. Therefore, the current methodology modernization can provide benefits to the PPAP approval for automotive parts. Thereby, this paper aims to presents a Design for Manufacture Additive (DFMA) procedure that analyzes the feasibility and systematizes the Master Sample manufacture through Additive Manufacturing (AM). Finally, the results demonstrated in this paper prove that the proposed DFAM procedure, reveals considerable benefits to the development process of automotive parts and can be easily implemented by vehicle manufacturers and suppliers to obtain the Master Samples.

Keywords: Additive Manufacturing. DFAM. APQP. PPAP. Jigs. Fixtures