

RECYT

Año 20 / N° 29 / 2018 / 50–56

Proceso, complejidad y calidad: comparación entre objetos similares producidos por diferentes tecnologías de Prototipado Rápido

Process, complexity and quality: comparison between similar objects produced by different Rapid Prototyping technologies

Processo, complexidade e qualidade: comparação entre artefatos semelhantes produzidos por diferentes tecnologias de Prototipagem Rápida

Paula Lumi Goulart Nishimura*, Galdenoro Botura Junior,
Osmar Vicente Rodrigues, Amanda Coelho Figliolia, Livia Garcia Ferrari

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

* E-mail: lumi.paula@gmail.com

Resumen

Las tecnologías de Prototipado Rápido, además de producir piezas con geometrías complejas y con alta precisión dimensional, pueden optimizar el proceso de desarrollo de un producto por proporcionar pruebas y mejorar la comunicación entre los involucrados en el proyecto. El presente artículo presenta y discute dos tecnologías de Prototipado Rápido, una aditiva y otra sustractiva (fresado CNC), utilizadas para producir dos piezas a partir de un mismo archivo digital. Estas piezas fueron comparadas, considerando parámetros como: tiempo de producción, costo, material y fidelidad al archivo original. Los resultados muestran que la tecnología aditiva es recomendada para modelos con geometrías complejas o que necesiten de detalles internos, y que la tecnología sustractiva se caracteriza por un menor costo de producción, mejor acabado superficial y diversidad de uso de materiales, haciendo que la elección de una u otra tecnología para un determinado proyecto dependa de los objetivos para que se está produciendo el prototipo.

Palabras clave: Prototipado rápido; Tecnología aditiva; Fresado CNC; Escaneado 3D; Manufactura.

Abstract

Rapid Prototyping technologies, besides producing pieces with complex geometries and with high dimensional accuracy, can optimize the development process of a product by providing tests and improving communication among the people involved in the project. This article presents and discusses two Rapid Prototyping technologies, one additive and another subtractive (CNC milling), used in the production of two pieces from the same digital file. These pieces were compared, considering parameters such as: production time, cost, material and fidelity regarding the original file. The results show that additive technology is recommended for models with complex geometries or that require internal details, whereas the subtractive technology is characterized by lower production cost, better surface finish and diversity of material use, making the choice of one or another technology for a specific project depend on the objectives for which the prototype is being produced.

Keywords: Rapid prototyping; Additive technology; CNC milling; 3D scanning; Manufacturing.

Resumo

As tecnologias de Prototipagem Rápida, além de produzirem peças com geometrias complexas e com alta precisão dimensional, podem otimizar o processo de desenvolvimento de um produto por proporcionarem testes e melhorarem a comunicação entre os envolvidos no projeto. O presente artigo apresenta e discute duas tecnologias de Prototipagem Rápida, uma aditiva e outra subtrativa (usinagem CNC), utilizadas na produção de duas peças a partir do mesmo arquivo digital. Essas peças foram comparadas, considerando-se parâmetros como: tempo de produção, custo, material e fidelidade ao arquivo original. Os resultados mostram que a tecnologia aditiva é recomendada para modelos com geometrias complexas ou que necessitem de detalhamento interno, enquanto a tecnologia subtrativa se caracteriza pelo menor custo de produção, melhor acabamento superficial e diversidade

de uso de materiais, fazendo com que a escolha de uma ou outra tecnologia em um determinado projeto dependa dos objetivos para o qual o protótipo está sendo produzido.

Palavras chave: Prototipagem rápida; Tecnologia aditiva; Usinagem CNC; Digitalização 3D; Manufatura.

1. Introdução

1.1. Considerações iniciais

As tecnologias de Prototipagem Rápida (PR) possibilitam a produção de modelos, mock-ups, protótipos e produtos em três dimensões, cujas estruturas são obtidas por meio de informações de um protótipo geométrico virtual, criado em softwares de Desenho Assistido por Computador-CAD, de modelamento 3D. Estas peças podem ser produzidas tanto pela sobreposição sucessiva de camadas quanto pela remoção de materiais de um bloco, desbastando-o até se obter o objeto desejado [1]. Como resultado obtém-se produtos que podem ser utilizados como protótipos/mock-ups e até mesmo como peça final, sendo neste caso o processo conhecido como de Manufatura Rápida (MR). Assim, o uso da Prototipagem Rápida agiliza o desenvolvimento de um produto, possibilitando alterações durante o seu progresso e a visualização do resultado final, além de proporcionar a verificação de suas montagens, melhorar o fluxo de informações entre os envolvidos no projeto, auxiliar na solução de problemas através da realização de testes, diminuir a incidência de erros, dentre outras vantagens, [1, 2, 3].

De acordo com [3], a Prototipagem Rápida, que possui suas raízes na Topografia e na Fotoescultura, cujas construções também são baseadas em camadas e surgiram no século XIX, passou a ser empregada comercialmente somente após o aparecimento do primeiro equipamento, o SLA-1 (StereoLithography Apparatus), pela empresa 3D Systems, em 1987. Desde então surgiram diversos tipos de máquinas e insumos e os preços se tornaram mais acessíveis, o que favoreceu sua popularização e possibilitou diversas empresas, inclusive as de pequeno e médio porte, investirem na área e otimizarem seus Processos de Desenvolvimento de Produto (PDP). Conforme [4], no início, seu uso era voltado principalmente à construção de protótipos, hoje podem ser encontradas aplicações em todo o processo de design, como também na elaboração de ferramentas. Embora os processos de PR sejam mais utilizados nas fases de desenvolvimento e planejamento de produtos [5], as tecnologias de PR podem beneficiar diversos setores como a indústria aeroespacial, automobilística, joalheira, e ainda atividades ligadas a artes, arquitetura e até mesmo na saúde [3].

Apesar dos valores terem ficado mais acessíveis, ainda existem insumos e tecnologias com valores elevados, o que faz com que alguns dos processos de PR sejam ainda considerados de alto custo. Durante o transcurso para

identificação da melhor opção para a execução de um projeto, de modo a otimizar seu processo de produção, evitar possíveis imprevistos e diminuir seu custo final, a adoção do uso desta tecnologia torna-se altamente relevante e quando aplicada em uma produção de larga escala, pode ser julgada, ainda, mais vantajosa, uma vez que a relação hora/máquina acaba se reduzindo pelo montante de peças produzidas.

As tecnologias de Prototipagem Rápida podem ser divididas em dois grupos: as aditivas e as subtrativas. Embora as tecnologias aditivas sejam as mais populares deve-se destacar que as tecnologias subtrativas têm tanto potencial quanto elas, seja pelo preço, uma vez que seus custos tendem a ser mais baixos, quanto pela capacidade da elaboração das peças e acabamento superficial obtido, [6].

O objetivo do presente artigo é apresentar a comparação dos custos e de características, como tempo de produção, material e qualidade de acabamento de superfície, de duas peças produzidas por duas tecnologias de Prototipagem Rápida diferentes, uma aditiva e uma subtrativa. Para isso, foi escolhido um modelo de cabo de chave de fenda a partir do banco de arquivos open source "GrabCAD". Os artefatos finais foram produzidos por meio dos equipamentos: Z-Printer 650 Z-Corporation (tecnologia aditiva baseada em pó e material aglutinante), e da Fresadora CNC Roland MDX 540 (tecnologia subtrativa), disponíveis no Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos – CADEP, da Universidade Estadual Paulista no Campus de Bauru/ Brasil – UNESP/BAURU.

1.2. Tecnologias Aditivas e Subtrativas de Prototipagem

O princípio das tecnologias aditivas consiste na produção de peças por meio da sobreposição contínua das camadas de material depositado, que pode ser tanto líquido (como as resinas), quanto sólido (como materiais em forma de filamentos ou lâminas) ou em pó [7 e 8]. As peças são produzidas a partir da decodificação de arquivos em 3D pelo equipamento, onde o modelo digital é previamente decomposto em diversas camadas para a realização das sucessivas etapas da deposição do material. A principal vantagem relacionada com o uso das tecnologias aditivas é a facilidade com que a máquina constrói variados tipos de geometrias, sejam elas bem elaboradas ou com detalhes em espaços internos e negativos, dispensando o uso de moldes e outras ferramentas de fabricação, construindo os objetos de forma livre [9].

A tecnologia aditiva utilizada para o desenvolvimento do protótipo encontra-se embutida no equipamento da

Z-Printer 650 Z-Corporation, e imprime objetos por deposição de pó (gesso) e material aglutinante, camada sobre camada, que vão se solidificando conforme o objeto vai tomando forma [10]. Os objetos criados por ela dispensam a construção de suportes, uma vez que o modelo, ao ser construído, é sustentado sobre o próprio pó. Depois da impressão do objeto, o pó residual é eliminado, podendo ser reaproveitado para construção de outras peças, constituindo esta uma das vantagens desta tecnologia, uma vez não existe perdas e o equipamento utiliza apenas a quantidade requerida de insumo para se obter o produto final.

A deposição em camadas, por sua vez, pode inserir no produto obtido o que é conhecido como efeito “degrau” ou “escada”, pois sua superfície se apresentará serrilhada, sendo esta uma das principais desvantagens desta tecnologia [3]. Este efeito pode ser minimizado, em alguns casos, com a diminuição da espessura das camadas e com o posicionamento de sua inclinação em relação ao eixo z de construção. Segundo [3].

A orientação do protótipo no volume de construção é determinante para a qualidade e robustez do mesmo. O efeito degrau, inerente ao processo de construção em camadas, aparece em todas as superfícies planas ou não-planas que estiverem inclinadas em relação ao eixo de construção (eixo z). Isto afeta diretamente a qualidade do protótipo tanto dimensionalmente quanto na sua resistência mecânica. (3, p. 126).

O inconveniente para esse procedimento está no tempo de produção que poderá chegar a duplicar. Outro importante fator encontra-se relacionado com a posição da peça na plataforma de confecção, pois caso as partes frágeis não sejam levadas em consideração na sua construção, o produto final apresentará fragilidades indesejáveis.

Nas tecnologias subtrativas de PR, o modelo final é obtido por meio da remoção do material a partir de um bloco, utilizando-se fresas controladas numericamente por computador. O custo da produção de peças através desta tecnologia tende a ser menor do que nas aditivas, cujos valores das máquinas, insumos e custo hora/máquina costumam ser maiores, sendo esta uma das suas principais vantagens [9]. Outro ponto favorável ao seu uso reside no fato destas tecnologias permitirem o emprego de uma vasta gama de materiais, como madeiras, MDFs, plásticos, metais, espumas e resinas [11]. Porém, as tecnologias subtrativas possuem limitações, como dificuldade na elaboração dos detalhes internos do artefato, obtenção de peças ocas, de ângulos extremos e cavidades muito negativas [7].

2. Materiais e Métodos

A comparação dos parâmetros apresentados pela prototipagem utilizando duas tecnologias diferentes partiu de um modelo único virtual de cabo de chave de fenda (peça/modelo) disponibilizado no site “GrabCAD”, no qual

foram realizadas alterações de modo a prepará-lo para o processo. Para isso utilizou-se o programa SolidWorks 2011, onde a parte que corresponderia ao metal existente da peça foi removida, mantendo-se apenas o seu cabo. Porém, em função das diferentes características das máquinas que executariam o processo, teve-se a necessidade de se adequar o modelo virtual para cada uma delas.

A obtenção da peça por meio da tecnologia aditiva aconteceu por meio da máquina Z-Printer 650, que produz objetos por deposição de pó (gesso), camada sobre camada, usando material aglutinante, que é adicionado sobre cada uma delas conforme a peça vai sendo confeccionada. Para a tecnologia subtrativa utilizou-se a fresadora MDX 540, devido, principalmente, à sua capacidade de criar acabamentos com alta qualidade superficial graças a sua precisão dimensional, e por ter um 4º eixo rotacional capaz de trabalhar a peça em 360º, exigência para a execução da peça escolhida.

Para se conseguir a redução dos custos de confecção do artefato produzido por meio da tecnologia aditiva, optou-se por fazer seu interior oco, com uma casca de apenas 3mm de espessura e, conseqüentemente, mais leve. Como estratégia de eliminação do pó excedente foi deixado no modelo um orifício de 3,8mm. A futura vedação do orifício da extração do pó foi conseguida com a criação de uma tampa com a mesma medida do orifício, para ser encaixada na peça depois de confeccionada, cobrindo, desta forma, o compartimento oco. As modificações no protótipo virtual foram realizadas por meio do software “Magics 17.02”, da Materialise (Figura 1), sendo salvas no formato STL, padrão reconhecido pelas máquinas de Prototipagem Rápida, de modo que pudesse ser utilizado pelo programa “ZPrint Software V7.12.4®” específico desta máquina. Por meio deste programa é realizada a edição da peça, seu posicionamento na plataforma de construção e obtenção das informações relativas ao processo de construção (como quantidade de insumo da máquina, tempo previsto e ainda apresentar qual layer está sendo impressa, já que o processo é feito sob o pó).

Para a execução do processo de impressão da peça, posicionou-se o modelo verticalmente na plataforma de construção da Z-Printer 650, optando-se pela sua não inclinação em relação ao eixo z para que se pudesse comparar e analisar a atuação dessa tecnologia sem qualquer interferência prévia, em detrimento a diminuição do serrilhamento caso fosse adotada outra posição.

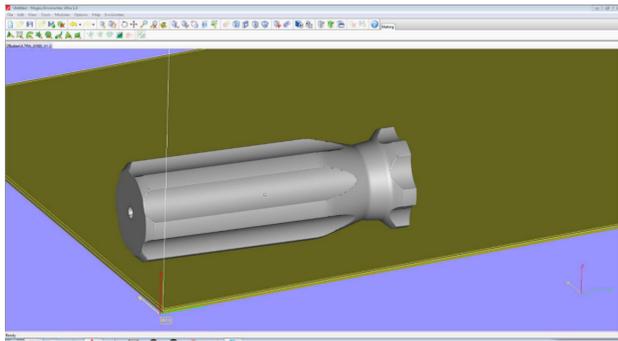


Figura 1: Imagem de tela do modelo do cabo: apresentação no programa "Magics 17.02".

Uma característica desta tecnologia é a impossibilidade de se visualizar e documentar o andamento e a evolução do processo, uma vez que a construção do modelo é feita sob o pó, conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2: Preenchimento da plataforma da Z-Printer 650 com o insumo (A1 e A2); confecção do modelo (A3); peça finalizada (B)

Depois de finalizada a impressão, a peça descansou por 2 horas dentro da Z-Printer 650, para ganhar mais resistência, já que o processo faz com que fique úmida e mole quando pronta. A retirada da plataforma de modo manual pode causar deformações e deve ser realizada com extremo cuidado. O pó excedente foi removido, na sequência, por meio de sopro por um jato de ar, realizando-se, a seguir, a aplicação de uma camada de cianoacrilato, feita por gotejamento, que é a aplicação do produto através de pequenas gotas, de modo a aumentar a sua resistência mecânica (Figura 3). Para seu manuseio, deixou-se a peça previamente em repouso por 10 minutos.

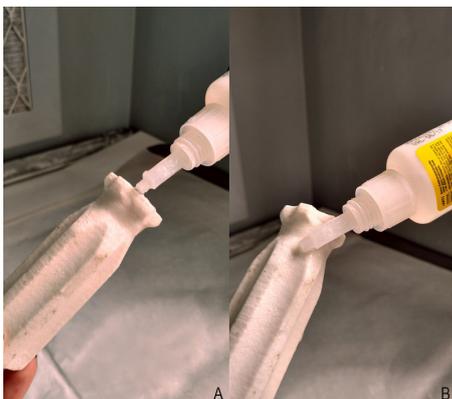


Figura 3: Aplicação do cianoacrilato por gotejamento (A e B)

A produção da peça por meio de tecnologia subtrativa foi obtida através da máquina MDX 540, havendo, portanto, a necessidade de se adequar previamente o modelo virtual por meio do programa de modelagem SolidWorks, de modo a se conseguir espaço para o apoio das garras do 4º eixo rotacional da máquina, uma vez que a peça necessitaria sofrer uma rotação de 360º durante a sua confecção (Figura 4). Depois disso, o arquivo foi salvo em STL.

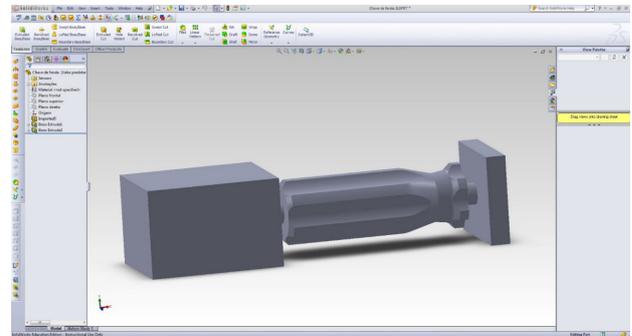


Figura 4: Imagem da tela do programa SolidWorks, que mostra a peça já adaptada com apoio para garras do 4º eixo rotacional

A depuração para identificação de possíveis erros no arquivo gerado foi realizada por meio do programa "Magics 17.02" e, uma vez isto feito e nenhum erro constatado, foram gerados os parâmetros da usinagem pelo software "SRP Player 1.23", específico desta máquina. Para a confecção da peça pela máquina MDX 540, fez-se uso da resina epóxi para usinagem MB 0720 (720kg/m³ de densidade), da empresa Hard, sendo utilizada a fresa esférica ball nose 6mm x 48mm a 10.000 RPM, tanto para o desbaste quanto para o acabamento. O desbaste, que é a remoção do material mais espesso, levou 27 minutos para ser realizado, e o acabamento 1 hora e 07 minutos para ser concluído. (Figura 5).

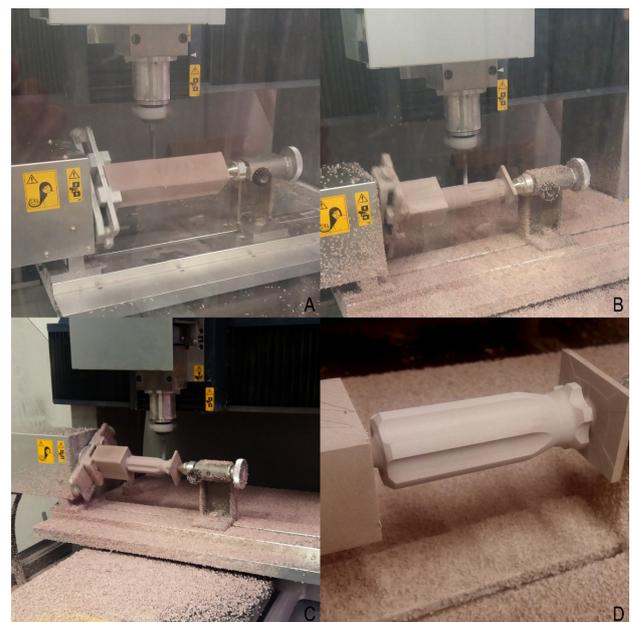


Figura 5: Usinagem da peça utilizando a máquina MDX 540: desbaste (A e B); acabamento (C) e peça finalizada (D)

O produto final foi obtido retirando-se a parte excedente da resina usinada, que estava unida pela garra do quarto eixo, com uma serra de fita, lixando-se as áreas que se encontravam em contato com esta base (Figura 6).



Figura 6: Peça obtida na máquina MDX 540 sobre lixa utilizada no lixamento.

3. Resultados

3.1. Comparação dos parâmetros

A produção dos protótipos por meio de dois processos diferentes de Prototipagem Rápida geram peças que, mesmo sendo confeccionadas a partir de um mesmo arquivo e se parecerem visualmente semelhantes (Figura 7), possuem uma grande possibilidade de apresentarem diferenças dimensionais em relação ao arquivo virtual original. A imprecisão dimensional que ocorre pode se tornar uma fonte de problemas, uma vez que as dimensões reais dos protótipos não são exatamente as mesmas especificadas no projeto original.



Figura 7: Peças, lado a lado, produzidas nas tecnologias subtrativa e aditiva.

Diferenças milimétricas são imprescindíveis quando se necessita de um encaixe perfeito, como, por exemplo,

no campo ergonômico, quando uma peça com as medidas corretas pode vir a trazer maior conforto e precisão em uma empunhadura [12], sendo a inspeção tridimensional uma das técnicas utilizadas para identificação destes possíveis desvios [4,6]. Esta técnica utiliza da comparação entre a digitalização da peça usinada e o arquivo virtual do modelo utilizado na confecção da peça para identificação dos desvios das dimensões ocasionados pela impressão (Figura 8). Este procedimento, a digitalização dos protótipos, foi realizado por meio do scanner óptico 3D GOM Atos I 2M, com a ajuda de adesivos nos pontos de digitalização a fim de auxiliar na criação de uma malha poligonal a partir dos triângulos formados pela união entre os pontos (Figura 9), na escala de 0,8mm, em função da quantidade de dados exigida para a realização da verificação. Para a sobreposição dos dois arquivos, o original com os obtidos por digitalização, utilizou-se o software ATOS Professional V 7.5 SR1.

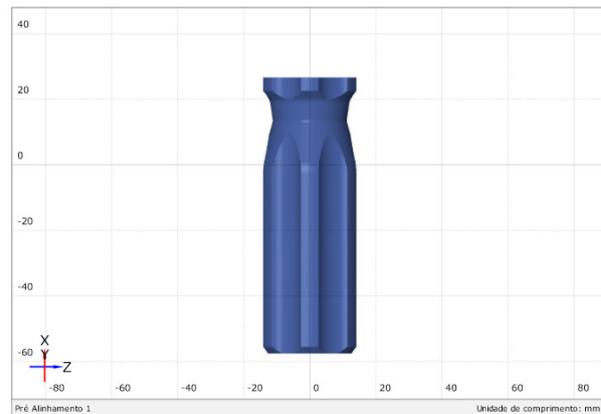


Figura 8: Modelo geométrico virtual original



Figura 9: Processo de digitalização pelo scanner óptico 3D GOM Atos I 2M

As figuras 10 e 11 mostram a digitalização das peças produzidas nas máquinas Z-Printer 650 e MDX 540, res-

pectivamente. A quantidade de áreas verdes representa o grau de fidelidade em relação ao arquivo original; as áreas em amarelo representam as dimensões acima das originais, enquanto as áreas em azul representam as abaixo.

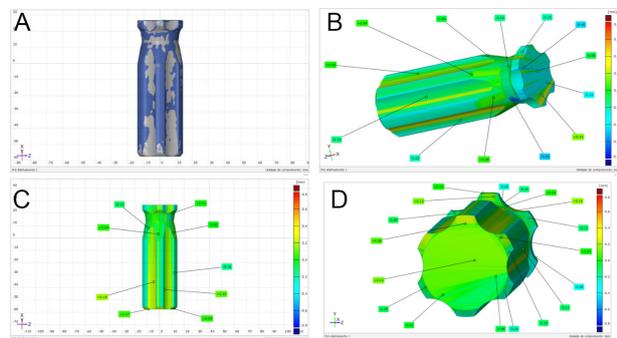


Figura 10: Imagem digitalizada a partir do modelo produzido pela tecnologia aditiva na máquina Z-Printer 650

Na figura 10A se encontra a sobreposição da imagem digitalizada da peça produzida pelo equipamento Z-Printer ao modelo virtual original. Nesta figura é possível observar variações dimensionais, representadas pelas cores azul e amarelo, que ocorrem por todo o corpo da superfície, principalmente, devido ao “efeito serrilhado”, o que acontece, também, na imagem 10C. Na figura 10B, com o artefato em perspectiva, visualiza-se que as alterações superficiais ocorreram não só no corpo, como também na parte superior do cabo de chave de fenda. Na figura 10D se encontra a vista inferior da peça, que por mais tenha recebido a tampa para o orifício colada manualmente, não apresentou alterações significativas.

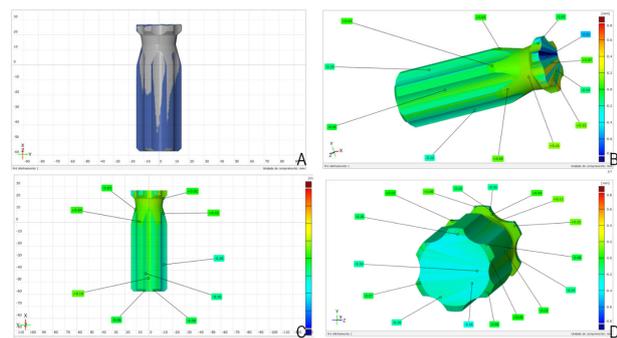


Figura 11: Imagem digitalizada a partir do modelo produzido pela tecnologia subtrativa na máquina MDX 540

A figura 11A representa a imagem digitalizada da peça produzida pela tecnologia subtrativa sobreposta à imagem do modelo virtual original. Por meio desta figura, como também pela 11C, identifica-se o predomínio da cor verde na peça, com algumas variações superficiais com tonalidades azuis sobre o corpo do cabo. Nas figuras 11B e 11D é possível visualizar a existência de diversas alterações superficiais na parte superior e inferior da peça, o que pode

ser atribuído à remoção do suporte para a garra do eixo rotacional. O corpo da peça possui predominância de áreas verdes, estando mais fiel ao modelo original, com menos variações dimensionais.

3.2 Resultados e Discussões

A análise dos parâmetros mostra que o cabo de chave de fenda produzido pela máquina MDX 540 demorou 1 hora e 34 minutos para ficar pronto, enquanto o modelo confeccionado na Z-Printer 650 levou 3 horas e 16 minutos para ser obtido, ou seja, um tempo cerca de 2 vezes maior. Os custos relacionados na obtenção da peça pela máquina MDX 540 (tecnologia subtrativa) foram cerca de 8 vezes menores do que os necessários para a confecção da peça por meio da tecnologia aditiva, sendo eles R\$523,69 e R\$68,00. A resina epóxi para usinagem mostrou ser adequada para ser utilizada na tecnologia subtrativa para a produção de protótipos, inclusive por ser mais resistente que o gesso. Porém, traz como desvantagem uma taxa menor de reuso, uma vez que os suportes da peça não puderam ser reaproveitados, quando comparada com a tecnologia aditiva, por esta utilizar apenas o material necessário para confecção da peça.

A comparação em relação ao acabamento mostra que o cabo obtido por meio da tecnologia subtrativa necessitou apenas da remoção da base excedente para o encaixe da garra e um rápido lixamento na área de contato para sua finalização, o que levou cerca de 30 minutos, enquanto o cabo confeccionado pela tecnologia aditiva necessitou de um intervalo de cerca de 2 horas após sua confecção, dentro da máquina e sob o próprio pó, para a secagem da impressão. Quando removida da máquina, a peça teve o pó excedente da construção soprado por um jato de ar para ser retirado, recebendo, ainda, uma camada de cianoacrilato para melhorar sua resistência. Esta camada foi obtida pela aplicação da cola através de gotejamento, sendo necessários, ainda, mais 10 minutos para o repouso. O efeito serrilhado da peça produzida pela máquina Z-Printer 650 poderia ser minimizado por meio do lixamento da superfície, porém somente após a aplicação do cianoacrilato, pois, em função da fragilidade do material, a peça poderia se quebrar caso não se tomasse os devidos cuidados. Neste caso, optou-se pelo não lixamento para não prejudicar a comparação dos modelos.

Os parâmetros obtidos pela digitalização e apresentados nas figuras 10A, 10B e 10C mostram que a peça produzida pela tecnologia aditiva possui um leve serrilhamento superficial, representado em azul em todo o modelo. Tal efeito não foi observado na peça obtida pela tecnologia subtrativa e sua ausência pode ser confirmada pela predominância da cor verde.

As imagens da figura 11, onde estão retratadas as comparações dos modelos para a tecnologia subtrativa, possuem mais áreas verdes, estando mais fiéis ao arquivo original. Assim, o artefato produzido pela tecnologia subtrativa se destacou em relação à fidelidade dimensional

das peças usinadas, embora os modelos aparentem estar visualmente semelhantes. Vale destacar que a necessidade da remoção dos suportes do modelo obtido na máquina MDX 540 fez com que suas partes superiores e inferiores tivessem suas dimensões alteradas.

4. Conclusão

Um estudo comparativo de duas tecnologias de Prototipagem Rápida, uma aditiva e uma subtrativa, foi realizado a partir de um único modelo virtual gerado em CAD e adaptado para cada uma das máquinas onde foram confeccionados, de modo a se obter um produto final idêntico. Foram produzidos dois cabos de chave de fenda, cujo arquivo em 3D foi obtido por meio de um modelo open source. Os sistemas de produção e os insumos das tecnologias utilizadas neste estudo eram diferentes, portanto, na obtenção de peças semelhantes, levou-se em consideração as limitações de cada tecnologia. Nesta pesquisa, a tecnologia subtrativa se destacou em todas as variáveis analisadas, que nesse caso foram: tempo de confecção, preço, resistência do material e acabamento.

A partir das análises realizadas e apresentadas pode-se concluir que as tecnologias aditivas são as recomendadas para modelos que possuam geometrias complexas ou que necessitem, durante o processo de confecção, da inclusão de detalhes internos, como parte de seus componentes, por exemplo, de modo a dispensar futuras montagens. Estes tipos de tecnologia, na maioria das vezes, produzem peças praticamente prontas para o uso, inclusive com seus encaixes, necessitando apenas, para sua conclusão, de alguns detalhes, como limpeza de insumos, remoção de possíveis suportes, “cura” (descanso) ou, conforme o caso, de lixamento.

Caso a intenção do projeto seja obter uma peça economicamente mais barata, as tecnologias subtrativas de PR são as mais recomendadas. Embora sejam menos populares que as tecnologias aditivas, as tecnologias subtrativas possuem tanto potencial quanto elas, principalmente nos quesitos financeiro, versatilidade de material e acabamento superficial, além de terem comprovado capacidade para produzir peças prontas para o uso, com um bom acabamento superficial, e de trabalharem com diversos tipos de materiais.

Vale destacar que a escolha da melhor tecnologia de Prototipagem Rápida a ser utilizada em um projeto dependerá da finalidade da peça e dos objetivos para o qual ela está sendo confeccionada, se a peça será utilizada como produto final (MR) ou apenas como um protótipo/mock-up; se o orçamento disponível é limitado; se o nível de detalhamento e precisão exigidos são altos; se a peça possui detalhes internos; se o tempo para a execução das peças é curto ou longo; entre outras questões.

Referências bibliográficas

1. Canciglieri Junior, O.; Selhorst Junior, A. and Iarozinski Neto, A. *Processos de Prototipagem Rápida por deposição ou*

remoção de material na concepção de novos produtos - uma abordagem comparativa. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, 2007.

2. Saura, C. E. *Aplicação da prototipagem rápida na melhoria do processo de desenvolvimento de produtos em pequenas e médias empresas.* Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, 2003.
3. Volpato, N. *Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações.* São Paulo: Editora Blücher; 2007.
4. Alencar, F.; Rodrigues, O.V.; Barata, T. Q. F. and Bartolo, P. J. *Comparative analysis of dimensional deviations between CAD model and physical models obtained by additive manufacturing technologies by means of optical scanning with structural light projection.* In: 5th International PMI Conference Proceedings, University College Ghent, Ghent, 2012.
5. Barbosa, R.T. *Design e Prototipagem: Conhecimento e Uso da Prototipagem Rápida no Design Brasileiro.* Dissertação de Mestrado, UNESP, Bauru, 2009.
6. Nishimura, P. L. G.; Rodrigues, O. V.; Botura Junior, G. and Silva, L. A. *Prototipagem Rápida: um comparativo entre uma tecnologia aditiva e uma subtrativa.* In: 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design (P&D), Belo Horizonte, 2016.
7. Neto, M. G. A. *Metodologia de design mediada por protótipos.* Tese de Doutorado, UNESP, Bauru, 2014.
8. Macarrão Junior, L. *Importância do uso de mock-ups e técnicas de prototipagem e ferramental rápido no processo de desenvolvimento de produto na indústria automotiva.* Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
9. Selhorst Junior, A. *Análise comparativa entre os processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos: um estudo de caso para determinação do processo mais indicado.* Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008.
10. CADEP – Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos. *Tecnologias.* Disponível em: <<http://www.cadepunesp.com.br/>>. Acesso em: 5 de jul. 2017.
11. Pereira, D. D. *O uso da modelagem aplicada à ergonomia no desenvolvimento de produtos.* Dissertação de Mestrado, UNESP, Bauru, 2015.
12. Nishimura, P. L. G.; Kick, P. G. S.; Rodrigues, O. V.; Botura Junior, G. and Paschoarelli, L. C. *A Prototipagem Rápida aplicada à avaliação ergonômica: estudo comparativo entre um mock-up produzido manualmente e outro obtido por uma fresadora CNC.* In: V Congresso Ergotrip Design, Natal, 2016.

Recibido: 23/10/2017.

Aprobado: 18/04/2018.