

Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D.

Besko, Marcos ^a; Bilyk, Claudio ^b; Sieben, Priscila Gritten

^a Graduando de Engenharia Mecânica (UniOpet – 80230-030 – Curitiba – Paraná – Brasil), marcosbesko@gmail.com

^b Docente (UniOpet – 80230-030 – Curitiba – PR – Brasil), claudio.bilyk@opet.edu.br.

^c Docente (UniOpet – 80230-030 – Curitiba – Paraná – Brasil), prigsieben@hotmail.com.

Resumo.

Impressão 3D é um processo de fabricação por manufatura aditiva, também conhecida como prototipagem rápida, onde a partir de um modelo tridimensional feito em um programa CAD, que logo é “fatiado” em camadas por um programa CAM, para que então um filamento termoplástico que é conduzido até uma matriz de extrusão aquecida, possa fundir o material e depositá-lo camada por camada de baixo para cima até a fabricação da peça. Os filamentos PLA, ABS, PETG (PET, PTT), Nylon, os flexíveis TPE, TPN e TPC e o PC são os mais utilizados em impressão 3D no processo conhecido como FDM. Através de uma revisão bibliográfica com consultas feitas em artigos, sites e periódicos, realizou-se um levantamento das principais características técnicas destes materiais. Com isso, um estudo demonstrou quais os filamentos são menos nocivos ao meio ambiente em se tratando de aspectos como toxicidade, reciclabilidade e energia consumida durante o processo de impressão. O PLA resultou ser o filamento mais sustentável.

Palavras chave: impressão 3D, filamentos, meio ambiente, polímeros.

Technical and harmful aspects of the main filaments used in 3D

Abstract.

3D printing is an additive manufacturing manufacturing process, also known as rapid prototyping, where from a three-dimensional model made in a CAD program, which is soon "sliced" in layers by a CAM program, so that a thermoplastic filament (PET, PTT), Nylon, the flexible TPE, the TPN (TPN) and the TPN (TPN) filaments. and TPC and PC are the most used in 3D printing in the process known as FDM. Through a bibliographic review with queries made in articles, websites and periodicals, a survey of the main technical characteristics of these materials was done. which filaments are less harmful to the environment when dealing with aspects such as toxicity, recyclability and energy consumed during the printing process. The PLA proved to be the most sustainable filament.

Keywords: 3D printing, filaments, environment, polymers.

1. Introdução.

Impressão 3D é um processo onde um modelo tridimensional é feito em um sistema CAD (Desenho Auxiliado por Computador), onde é gerado um arquivo que logo é enviado para um sistema CAM (Manufatura Auxiliada por Computador) para ser "fatiado" em camadas, então é desenrolado de uma bobina um filamento termoplástico até a extrusora da impressora 3D. O bico extrusor é aquecido para fundir o termoplástico, e um sistema mecânico permite a vazão do material sobre a mesa da impressora que pode ser aquecida ou não para deposição de camada sobre camada, sendo estas de baixo para cima até a finalização da peça projetada (Carlos H. Ahrens; Fernando Lafratta¹; Gean V. Salmoria¹; Manoella R. Cardenuto).

O processo mais usado entre as impressoras 3D de baixo custo é chamado de Fused Deposition Modeling, este é conhecido como FDM.

A tecnologia FDM produz modelos conceituais, protótipos funcionais e peças para uso final em termoplásticos padrão, de engenharia e de alto desempenho. É a única tecnologia de impressão 3D profissional que utiliza termoplásticos de categoria de produção. Assim, as peças criadas são inigualáveis em termos de resistência mecânica, térmica e química (Stratasys, 2017).

Quando se trata de filamentos para impressoras 3D, os materiais mais utilizados são PLA, ABS, PETG (PET, PTT), Nylon, os flexíveis TPE, TPN e TPC e o PC, porém as características técnicas difundidas se resumem apenas sobre resistências, durabilidade e custos, mas as características ambientais como toxicidade e consumo de energia emitidas na fabricação das peças durante o processo de impressão ou reciclabilidade não são muito levadas em conta pelos usuários na sua grande maioria. Por isso é de suma importância fazer um levantamento destes aspectos para que estas informações possam ser multiplicadas.

2. Objetivo.

Apresentar de forma geral as principais características dos filamentos de impressão 3D mais utilizados no Brasil, considerando dentre tantos aspectos, a questão ecológica, temperatura de extrusão e de mesa de aquecimento, assim como seus impactos ambientais.

3. Fundamentação Teórica.

3.1 História da Impressão 3d.

As impressoras 3D, são sem dúvida nenhuma revolucionárias, mas não podemos considera-las inovadoras, pois as mesmas já estão no mercado desde a década de 1980 começando com Hideo Kodama neste mesmo ano, onde foi um dos primeiros a inventar uma abordagem de cura a laser de um único feixe, sendo este o antepassado do SLA. O processo de estereolitografia, ou seja, SLA foi inventado em

1984 por uma equipe de franceses formada por Alain le Méhauté, Olier de Witt e Jean-Claude, dois anos depois em 1986 Chuck Hull criou a 3D System para a comercialização de sua descoberta, a estereolitografia com o uso de materiais foto polímeros a base de acrílico que são líquidos no início do processo e quando recebem um “golpe” de luz ultravioleta se tornam sólido instantaneamente.

Carl Deckard em 1988, ficou conhecido como o “pai” da tecnologia seletiva de sinterização a laser, chamada por SLS, sendo esta desenvolvida durante dois anos e meio. Por fim já no final da década de 80, mais precisamente em 1988, Scott Crump inventou a tecnologia de modelagem de deposição fundida, mundialmente conhecida como FDM, e ele também é o fundador da empresa Stratasys, que hoje é uma das empresas líder mundial no segmento de impressão 3D.

Com o fim das patentes, já em 2009, começou o surgimento de pequenas empresas neste novo nicho de mercado, como descrito por Murilo Roncolato.

As patentes registradas por Crump expiraram em 2009, ano em que “coincidentemente” começaram a surgir dezenas de startups (graças aos milhões que recebiam via crowdfunding, vide Pirate3D e a Formlab) como a MakerBot, fabricante da Thing-O-Matic e da Replicator, com o propósito de transformar impressoras 3D em máquinas pessoais, assim como a Apple fez com os computadores. (Revista Galileu, Roncolato, 2013)

3.2 PLA.

O ácido polilático (PLA), é o principal filamento utilizados nas impressoras 3D, ele possui uma temperatura de impressão menor que acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), por isso não necessita de mesa aquecida para impressão.

Segundo Brito et al. “o poli (ácido láctico) – PLA é um poliéster alifático, termoplástico, semicristalino ou amorfo, bi compatível e biodegradável, sintetizado a partir do ácido láctico obtido de fontes renováveis”. As fontes renováveis de onde é derivado o PLA são oriundas do amido de milho, cana-de-açúcar, raízes de tapioca e amido de batata.

Não é tóxico, e por ser um termoplástico biodegradável, o torna mais ecológico do que a maioria dos filamentos de impressoras 3D, como dito por Allthat3d “este filamento de impressão 3D é mais amigo do ambiente em comparação com outros materiais plásticos”.

Quando aquecido para sua extrusão, sente-se um leve aroma doce, tem a capacidade de degradar-se em ácido láctico, é inofensivo ao organismo humano e devido a esta propriedade é usado na medicina em suturas e implantes cirúrgicos. É considerado o material mais fácil de se trabalhar, por isso é bastante indicado aos iniciantes de impressão 3D.

Pode ser usado em louças descartáveis, produtos de higiene, embalagens de alimentos e tem menor propensão a deformação quando comparado com o ABS

O PLA é quebradiço, portanto deve-se evitar de usá-lo em peças que requer resistência mecânica, e também em peças com exposições a temperaturas em torno de 60°C ou mais. Têm maior facilidade para entupir o bico do extrusor e seu armazenamento requer um cuidado maior devido ao fato do PLA absorver facilmente

humidade do ar, caso isto aconteça, será necessária uma maior temperatura de extrusão.

3.3 ABS.

O segundo filamento mais utilizados em impressão 3D é o ABS, “o polímero ABS é um copolímero obtido a partir de reações de três monômeros diferentes, sendo eles acrilonitrilo, butadieno e estireno [...]” (Francisco, 2016, p. 16), sua impressão requer mais conhecimento técnico e necessita de mesa aquecida.

O ABS é superior ao PLA em relação às suas propriedades mecânicas, é durável, forte e é considerado leve. Suporta temperaturas mais elevadas, é ligeiramente flexível e sua maior vantagem em relação ao PLA, deve-se ao fato de ser o termoplástico mais barato no mercado de filamentos para impressão 3D.

A desvantagem do ABS é uma pequena geração de fumaça durante o processo de impressão e esta é considerada tóxica, por isso, deve-se operar a impressora 3D em uma área ventilada. O ABS é derivado de petróleo e conseqüentemente não é um material biodegradável assim como o PLA. Necessita de maior temperatura para atingir seu ponto de fusão, e pode deformar durante e depois do processo de impressão, por isso é indicado mesa de aquecimento e o uso em impressoras fechadas.

3.4 PETG (PET, PETT)

O Polietileno Tereftalato (PET) é considerado o plástico mais utilizado no mundo, e seu uso em garrafas de água e de refrigerantes o torna o mais conhecido pela população. O PET possui algumas características positivas relevantes, onde se justifica o seu uso mais disseminado, algumas destas características foram descritas por Lima sendo:

O Polietileno Tereftalato é um poliéster, transparente, brilhante, leve com boa performance de design e facilidade de moldagem, que proporciona alta resistência mecânica (impactos) e química além de ter barreiras para gases e odores (Lima, 2001, pg.18.).

O PET “bruto” não é muito usado em impressão 3D, mas este possui um derivado conhecido como polietileno tereftalato modificado com glicol ou PETG, sendo este considerado por alguns como um bom meio termo entre o PLA e o ABS onde é mais durável e flexível que o PLA, e mais fácil de imprimir do que o ABS.

A modificação em sua composição com o uso do glicol teve como “resultado um filamento mais claro, menos frágil e, mais importante, mais fácil de usar do que a forma base” (Allthat3d, 2017).

Assim como o PLA, o PETG é higroscópico, portanto seu armazenamento deve ser em local fresco e seco, é pegajoso durante a impressão e arranha mais facilmente do que o ABS.

O Politereftalato de trimetileno (PETT) de polietileno é outra variante de PET. Um pouco mais rígido do que o PETG, esse filamento de impressora 3D é popular por ser transparente.

De modo geral o PET, PETG e o PETT são polímeros estáveis e inofensivos, são recicláveis e não produzem fumaça ou odores durante o processo de impressão e sua temperatura de impressão é por volta de 220°C à 250°C e necessita de mesa aquecida.

3.5 Nylon

O Nylon, ou “poliamida” é um polímero sintético bastante popular e é utilizado em muitas aplicações industriais. É um plástico de baixo custo, forte, leve e flexível em comparação com os demais filamentos, classifica-se como “primeiro lugar” quando considerado suas principais características. As poliamidas ou nylons pertencem a uma classe de polímeros atraente para aplicações em engenharia devido à combinação de propriedades como: estabilidade dimensional, boa resistência ao impacto sem entalhe e excelente resistência química (Bassani, Pessan, Júnior, 2002, pg. 102).

Assim como o PLA, “o filamento de Nylon é extremamente sensível à umidade, de modo a tomar medidas de secagem durante a armazenagem e imediatamente antes da impressão” (Estamparia do Futuro). O Nylon pode absorver a umidade facilmente, e durante apenas 24 horas chega a aumentar em 10% o seu peso.

Faixa de temperatura de impressão está em torno de 210°C à 250°C, portanto sua temperatura de fusão é considerada alta, e também como o ABS, quando aquecido emite fumaça e a mesma é considerada tóxica, e ele não é reciclável por ser um termofixo.

3.6 TPE, TPU, TPC (flexível)

Notoriamente a principal característica destes filamentos para impressão 3D é o fato deles serem flexíveis, mas também possuem outras vantagens quando se comparado à elastômeros convencionais como dito por Engenheiro de Materiais.

“Esses polímeros surgiram a partir da busca por menor densidade, menor custo de produção, maior produtividade, fácil adição de cor, reciclabilidade e melhor processabilidade em termos de elastômeros” (Engenheiro de Materiais, 2016).

O Elastômero Termoplástico também conhecido como TPE “são compostos feitos a partir de um termoplástico rígido como PP, PBT ou PA em combinação com um material suave de borracha, normalmente incorporando aditivos e.g. óleo e cargas” (Resinex, 2017), ou seja, é uma mistura de polímeros.

O Poliuretano Termoplástico (TPU) é uma variação do TPE, apresenta-se um pouco mais rígido e mais durável do que o TPE.

Poliuretano (PU) é o nome dado aos materiais produzidos através da reação entre isocianatos e polióis. Digo "materiais", no plural, pois o poliuretano é um polímero extremamente versátil e permite desde a

fabricação de produtos rígidos, passando pelos elastoméricos/borrachosos, até as espumas/esponjas. Além disso, o poliuretano pode ser tanto termoplástico quanto termofixo (Tudo Sobre Plásticos, 2017).

O TPE também possui outra variação, sendo esta o Copoliéster Termoplástico chamado também de TPC, onde o seu principal diferencial em relação ao TPE, é o fato de possuir uma maior resistência à exposição química e UV, além de resistir muito bem ao calor onde possua temperaturas de até 150°C.

O uso do TPE ou TPU é indicado para objetos que precisam ter muito desgaste e que os mesmos necessitam se dobrar, esticar ou comprimir. O TPC pode ser usado nos mesmos contextos, mas especialmente em ambientes mais severos, como o exterior. De modo geral estes filamentos trabalham em uma faixa de temperatura de impressão na casa dos 225°C á 235°C mas não requer mesa aquecida, e a impressão em com eles é mais difícil, então requer uma maior experiência do usuário.

3.7 PC (policarbonato)

O policarbonato é um material termoplástico, conhecido também como PC dentre os filamentos convencionais, é considerado o mais forte no uso em impressão 3D.

Possui a capacidade de suportar temperaturas de até 110°C, é extremamente durável e resistente ao impacto físico e é transparente, tais características são descritas por Diel.

O Policarbonato é semelhante ao vidro, caracteriza-se por possuir alta transparência, que pode chegar acima de 90%. Essa transparência é conseguida graças à sua estrutura amorfa. Dentre todos os termoplásticos, o Policarbonato é o que possui maior resistência ao impacto, sem qualquer aditivação, a não ser os elastômeros (Diel, pg. 3, 2000).

Mesmo sendo um material forte, o PC é moderadamente flexível, mas não tanto quando comparado com o Nylon. Também é higroscópico, sua deformação é considerável, necessita de mesa aquecida, e sua temperatura de impressão é por volta de 27 °C à 310°C.

Seu uso é indicado para peças de dureza exigida, e que mantenham sua forma em ambientes de alta temperatura, e também em objetos mecânicos ou automotivos além de se poder aproveitar sua clareza óptica em projetos de iluminação ou para telas.

4. Métodos.

Através de uma revisão bibliográfica do saber já compreendido acerca do tema proposto, foi feita consultas em artigos, sites e periódicos. Com as devidas informações técnicas, foram feitas análises e um levantamento das principais características das propriedades dos filamentos PLA, ABS, PETG (PET, PTT), Nylon, os flexíveis TPE, TPN e TPC e o PC utilizados em impressão 3D no processo

FDM.

5. Resultados e Discussão.

A tabela 1 foi elaborada contendo as principais propriedades que um filamento de impressão 3D possui, e para cada item levantado, foi classificado um nível, dividido em: baixo, médio e alto.

Propriedades	PLA	ABS	PETG (PET,PTT)	NYLON	TPE,TPU e TPC	PC
Ecológico	alto	baixo	alto	baixo	alto	alto
Brilho	médio	baixo	alto	médio	médio	alto
Transparência	médio	baixo	alto	baixo	médio	alto
Rigidez/Dureza	médio	alto	alto	alto	baixo	alto
Resistência Impactos	baixo	médio	alto	alto	alto	alto
Flexibilidade	baixo	médio	médio	médio	alto	médio
Contração/WARP	baixo	alto	médio	baixo	médio	baixo
Precisão/Detalhes	alto	baixo	médio	alto	médio	alto
Qualidade de Superfície	alto	baixo	alto	alto	médio	alto
Resistência/Atritos	baixo	médio	alto	alto	baixo	alto
Resistência Química	médio	baixo	alto	alto	alto	alto
Resistência Temp.	baixo	alto	médio	alto	médio	alto
Usinabilidade	baixo	alto	baixo	alto	baixo	médio
Densidade	baixo	médio	baixo	baixo	médio	alto
Temp. de Impressão	médio	alto	alto	alto	alto	alto
Temp. Mesa Aquecida	baixo	alto	médio	alto	baixo	alto
Preço por m3/grama/hora	baixo	médio	médio	baixo	baixo	alto

Fonte: Autores (2018)

Tabela 1 – Principais propriedades dos filamentos para impressão 3D.

Com base nos dados apresentados na tabela pode-se fazer uma análise quanto aos aspectos técnicos dos principais filamentos utilizados e impressão 3D, e com isto demonstrar acerca dos filamentos estudados quais são menos nocivos em se tratando de meio ambiente.

Dentre os principais pontos levantados para esta análise, ressaltou-se o fato dos polímeros serem recicláveis, pois, esta característica é de suma importância devido a sua sustentabilidade com afirma ABIPLAST.

Quando pensamos em sustentabilidade é mandatório que o material plástico ao término de sua vida útil retorne à cadeia produtiva, pois assim recursos naturais e energia já utilizados não serão perdidos em aterros ou lixões bem como a extração de novos recursos e o emprego de mais energia serão evitados (ABIPLAST, 2016).

A temperatura de impressão e o uso ou não de mesa aquecida também são aspectos que diretamente estão relacionados quanto a impacto ambiental, pois necessitando de maior temperatura de impressão, consome-se mais energia, juntamente quando se faz necessário o uso de mesa aquecida e como ressalta Zylbersztajn 2014, “a busca por eficiência no consumo de energia deve ser

incansável, e um primeiro passo nessa direção seria a redução de desperdícios e ineficiência em toda a cadeia de valor”.

Conforme demonstrado Tabela 1, o PLA se mostra no quesito ecológico tendo alto desempenho, juntamente com PETG e seus derivados assim como TPE, TPU e TPC e o PC, porém este último foi avaliado com nível alto nas propriedades de temperatura de impressão e de temperatura de mesa aquecida, portanto ambientalmente falando, podemos defini-lo como não tão sustentável apesar de seu alto desempenho no que se refere a suas propriedades mecânicas.

O filamento de PETG (PET, PTT) está em uma posição intermediária, com nível alto quanto a temperatura de impressão e o não uso de mesa aquecida, já o TPE, TPU e TPC se faz necessário o uso de mesa aquecida mesmo que com uma temperatura inferior em relação ao PC, porém durante o processo de impressão a temperatura de extrusão é alta.

É importante ressaltar que mesmo que os filamentos de ABS e Nylon não sejam tão sustentáveis, devemos considerar que se tratando de peças que requerem resistência mecânica e maior durabilidade, ambos os filamentos se destacam, pois não é sustentável utilizar um material de propriedades com nível baixo ou médio pois terão que constantemente serem substituídos, e tal ação demanda energia e matéria prima, mesmo que recicláveis.

Como dito por Akatu 2014, “na pesquisa do Instituto Akatu “Rumo à Sociedade de Bem-Estar”, as pessoas revelaram preferir produtos duráveis, atualizáveis e consertáveis a produtos baratos e fáceis de substituir”.

Por esse ponto de vista, o PC que inicialmente se mostra o menos sustentável, pode ser o filamento ideal para determinado tipo de peça que se quer produzir, pois teria uma vida útil maior que todos os demais filamentos apresentados neste artigo.

Demais propriedades devem ser analisadas individualmente, levando-se em conta as particularidades e a finalidade de cada objeto a ser impresso, ponderando sempre as questões que tangem aspectos ambientais, analisando todo o ciclo de vida do produto.

6. Conclusão.

O PLA é o filamento mais sustentável, isto deve-se ao fato de não ser tóxico, por ser um termoplástico biodegradável oriundo de matéria prima de fontes renováveis, além de não ser necessário o uso de mesa aquecida durante a impressão, e sua extrusão não requer alta temperatura para atingir o ponto de fusão ideal. Mas devemos considerar que o mesmo é dentre os filamentos apresentados no artigo, o filamento mais frágil, portanto, terá uma vida útil baixa ou até mesmo o seu uso chega a ser impróprio para determinadas aplicações. Considerar os demais filamentos é salutar, desde que se faça uma avaliação criteriosa quanto ao uso final dos produtos a serem manufaturados, respeitando as especificações técnicas do produto e contrapondo sempre aspectos ambientais pra o uso dos mesmos.

7. Referências.

3D Printer Filament Types Guide of 2017. Disponível em: <<https://www.allthat3d.com/3d-printer-filament/>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

ABIPLAST.ORG. *A importância da Reciclagem de Plásticos para a Sustentabilidade*. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/noticias/a-importancia-da-reciclagem-de-plasticos-para-a-sustentabilidade/20160603155837_P_022>. Acesso em: 02 dez. 2017.

EQUIPE AKATU. *Por uma longa vida útil dos produtos*. Disponível em: <<https://www.akatu.org.br/noticia/por-uma-longa-vida-util-dos-produtos/>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

BASSANI, Adriane; PESSAN, Luiz A. ; JÚNIOR, Elias Hage . *Propriedades Mecânicas de Blendas de Nylon-6/ Acrilonitrila-EPDM-Estireno (AES) Compatibilizadas com Copolímero Acrílico Reativo (MMA-MA)*. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/po/v12n2/11204.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2017.

BRITO*, G. F. et al. *Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes*. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Campina Grande – PB, p. 127-139, set. 2011. Disponível em: <<http://file:///C:/Users/Marcos/Downloads/222-1014-1-PB.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

DIEL, Jefferson Luís. *Policarbonato: Características e principais informações na sua utilização como material de construção*. 2000. 15 p. Dissertação (Graduação Engenharia Química)- ENGENHARIA QUÍMICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Rio Grande do SUL, 2000.

ENGENHEIRO DE MATERIAIS. *Elastômeros termoplásticos*. Disponível em: <<http://engenheirodemateriais.com.br/tag/tpu/>>. Acesso em: 01 dez. 2017.

FRANCISCO, Beatriz Martins. *Simulação no processo de injeção utilizando o software moldflow*. 2016. 40 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Polímeros)- FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SOROCABA, SOROCABA, 2016. Disponível em: <http://www.fatecsorocaba.edu.br/nucleos/naap/SIMULACAO-INJECAO-_SOFTWARE_MOLDFLOW-BEATRIZ-FRANCISCO.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2017.

LIMA, ÂNGELA MARIA FERREIRA. *Estudo da Cadeia Produtiva do Polietileno Tereftalato (pet) na Região Metropolitana de Salvador como Subsídio para Análise do Ciclo de Vida*. 2001. 94 p. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria - UFBA)- UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA , Sal, 2001.

MOUSTA. Disponível em: <<http://www.mousta.com.br/produto/filamento-pla>>. Acesso em 11 de nov. 2017.

NUNES, Gabriel. *Policarbonato – leve, inquebrável, bonito e sustentável*. Disponível em:<<http://www.tem sustentavel.com.br/policarbonato-leve-inquebravel-bonito/>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

PRUSA3d. Disponível em: <<https://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/53-original-prusa-i3-mk2s-3d-printer.html>>. Acesso em 11 de nov. 2017.

RINGER, Sean. *The Ultimate Filament Guide: 3D Printer Filament – 25 Best Types & Comparison Charts*. Disponível em: <<https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

RODA, Daniel Tietz. *Poliuretano (PU) e Poliuretano Termoplástico (TPU)*. Disponível em: <<http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/pu.asp>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

ROHRINGER, Sean. *25 Best 3D Printer Filament Types & Comparison Charts*. Disponível em: <<https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

RONCOLATO, Murilo. *FIM DAS PATENTES IMPULSIONARA MERCADO DA IMPRESSÃO 3D: Guia de Soluções*. Disponível em: < <http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI340645-17770,00-FIM+DE+PATENTES+IMPULSIONARA+MERCADO+DA+IMPRESSAO+D.html>>. Acesso em: 07 fev. 2018.

SALMORIA, Gean V. et al. *Prototipagem rápida por impressão 3d com resinas fotocuráveis: uma análise sobre as tecnologias disponíveis no mercado nacional*. 2007. 8 f. Artigo Engenharia Mecânica UFSC, Santa Catarina.

TECNOLOGIA FDM. Disponível em: <<http://www.stratasys.com/br/impressoras-3d/technologies/fdm-technology>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

TIPOS DE FILAMENTOS PARA IMPRESSORAS 3D: Guia de Soluções. Disponível em: <<https://3dfila.com.br/tipos-de-filamentos-para-impressoras-3d/>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

ULTIMAKER. *Ultimaker materials color availability*. Disponível em: <<https://ultimaker.com/en/products/materials/pla>>. Acesso em: 01 dez. 2017.

ZYLBERSZTAJN, David. *Conversando sobre Energia*. *Energia e Sustentabilidade*, Rio de Janeiro, v. 01, n. 03, p. 07-07, dez. 2014. Disponível em: <http://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/site_caderno_fgvcatavento_web_baixa.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2017.