



O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UM PUXADOR UTILIZANDO A MANUFATURA ADITIVA POR MEIO DO MATERIAL RECICLÁVEL

Luana Machado dos Santos (Centro Universitário UniAraguaia)
luana.santos.adm@hotmail.com

Jose de Freitas Borges Filho (Pontifícia Universidade Católica de Goiás)
josedefreitas.eng@gmail.com

Marcos Lajovic Carneiro (Pontifícia Universidade Católica de Goiás)
marcoslajovic@hotmail.com

Marta Pereira da Luz (Pontifícia Universidade Católica de Goiás)
martapluz@gmail.com

Este artigo tem como objetivo demonstrar a viabilidade da utilização de materiais recicláveis para o desenvolvimento de um puxador desenvolvido na impressão 3D. A pesquisa segue três etapas, inicialmente foi feita à fabricação de filamentos com o polímero ABS, apenas com uma extrusora, em seguida, fabricou-se o puxador, com o uso de filamento do polímero ABS proveniente de resíduos recicláveis, e na terceira etapa, foi feita uma análise do custo para fabricação do filamento. Verificou-se a viabilidade técnica no processo de fabricação dos filamentos como auxílio do puxador e analisou-se sua interferência no diâmetro do filamento. Foi possível obter um material com espessura similar aos fornecedores no mercado. A análise de custo da fabricação de filamento mostrou que a utilização do equipamento gera uma economia de aproximadamente 88% no custo da matéria prima, obtendo-se um filamento de ABS com 39,68% maior resistência a flexão e 4,6% maior dureza.

Palavras-chave: *Manufatura Aditiva, Puxador, ABS, PEAD, Reciclagem.*

1. Introdução

A Manufatura Aditiva (MA), identificada também como fabricação aditiva, manufatura aditiva por camadas, manufatura digital direta, manufatura de forma livre, dentre outros, pode ser realizada a partir de diversas tecnologias, conforme apresentado na norma *American Society for Testing and Materials* (ASTM) F2792 (2010), Gibson et al. (2010) e Volpato et al. (2017). A MA é caracterizada por um conjunto de inovações tecnológicas envolvendo *hardwares*, *softwares* e materiais, com o intuito de controlar com precisão os sistemas de produção (IVANOV et al., 2013; NG et al., 2015).

A produção industrial é impulsionada atualmente pela concorrência global e pela necessidade de uma produção adaptável às constantes mudanças de mercado. As indústrias estão investindo na MA visando a obtenção de diferenciais competitivos, mas que sejam também associados a uma contribuição ao meio ambiente, com os ganhos na diminuição de resíduos gerados durante a produção (CASAGRANDE, 2013; HAMOD, 2014; CHONG et al., 2017). Neste sentido a impressão 3D oferece importantes diferenciais, tais como: produção flexível, ágil, personalizada e com geração mínima de resíduos (HOFMANN e MARCO, 2017).

Desta forma, as indústrias estão atentas às mudanças de mercado, especialmente, a partir das inovações tecnológicas com o propósito de agregar valor ao processo produtivo e contribuir com as diretrizes sustentáveis.

Atualmente, uma das formas que as indústrias utilizam para reduzir o impacto ambiental na produção é através de polímeros recicláveis. Há uma redução significativa no impacto ambiental com a reciclagem do polímero Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS). Quando se trata de propriedades mecânicas e térmicas, este material reciclado tem se mostrado quase tão bom quanto o material virgem, podendo ser usado para muitas aplicações por diversas indústrias (CLARO e CLARO, 2014).

Esse artigo aborda o processo de reciclagem do ABS e do Polietileno de Alta Densidade (PEAD), juntamente com sua aplicação do ABS para a construção de um dos equipamentos utilizados no próprio processo de reciclagem. O equipamento conhecido como puxador é utilizado em conjunto com o sistema de extrusão para a fabricação de filamentos para impressão 3D. A pesquisa trata a viabilidade técnica da fabricação deste equipamento por meio da impressão 3D com a técnica *Fused Deposition Modeling* (FDM) com material reciclado. Desta forma, contribui-se com a redução de descartes de resíduos em aterros e depósitos públicos de lixo, favorecendo o meio ambiente. A utilização dos métodos apresentados nessa pesquisa também contribuem para a redução de custos na aquisição de matéria prima para impressão 3D.

Os resultados demonstram a viabilidade do processo com qualidade e eles são validados por meio de testes físicos empíricos.

Este artigo está estruturado em 5 seções. A seção 2 apresenta a importância da reciclagem e o funcionamento do processo de extrusão para fabricação de filamentos. A seção 3 expõe a metodologia do trabalho. A seção 4 apresenta os resultados do tema abordado, como, a produção do filamento, fabricação do puxador e a análise de custos. A seção 5 apresenta as considerações finais da pesquisa.

2. Referencial Teórico

O processo tecnológico envolvido nesta pesquisa é o FDM, que é um dos métodos mais comumente usados para fabricar protótipos por meio da extrusão de filamento. O método foi desenvolvido em 1988 e foi patenteado pela empresa *Stratasys*[®] em 1992 e, em seguida, comercializado.

O estudo aqui apresentado aborda dois tipos de polímeros, o ABS e o PEAD. O ABS oferece uma ótima resistência química e térmica, sendo um material rígido e resistente ao impacto, à altas e baixas temperaturas, de fácil manuseio e com um ótimo brilho. Além disso, ele é um material inflamável, solúvel em alguns solventes orgânicos e é um dos polímeros mais comercializados para utilização em impressoras 3D. O PEAD é resistente ao impacto e a altas temperaturas, tendo um baixo custo, boa resistência química, flexível e de fácil manuseio (SANTOS *et al.*, 2018).

Um processo importante a ser descrito sobre os polímeros é o da reciclagem, que traz vários benefícios para a sociedade de modo geral e para o meio ambiente, particularmente. Dentre os benefícios está a redução do número de resíduos eliminados em aterros (MANI *et al.*, 2014). Como exemplo dessa redução, tem-se a associação da MA ao processo FDM que utiliza como matéria prima os filamentos termoplásticos, que podem ser reciclados, produzindo novos filamentos para serem reutilizados. Para tanto, algumas etapas precisam ser executadas, como: coleta do resíduo plástico, separação, limpeza, secagem, trituração e extrusão (HAMOD, 2014). O processo de extrusão é considerado uma das tecnologias mais utilizadas na indústria de plásticos. É composto por um funil, que é responsável por armazenar o plástico triturado e transportá-lo até o canal de extrusão. Nesta posição, o material é empurrado por meio de um parafuso de tração, geralmente helicoidal, contra uma matriz que determina o diâmetro do produto (HAMOD, 2014; PEREIRA, 2014; RODRIGUES, 2017).

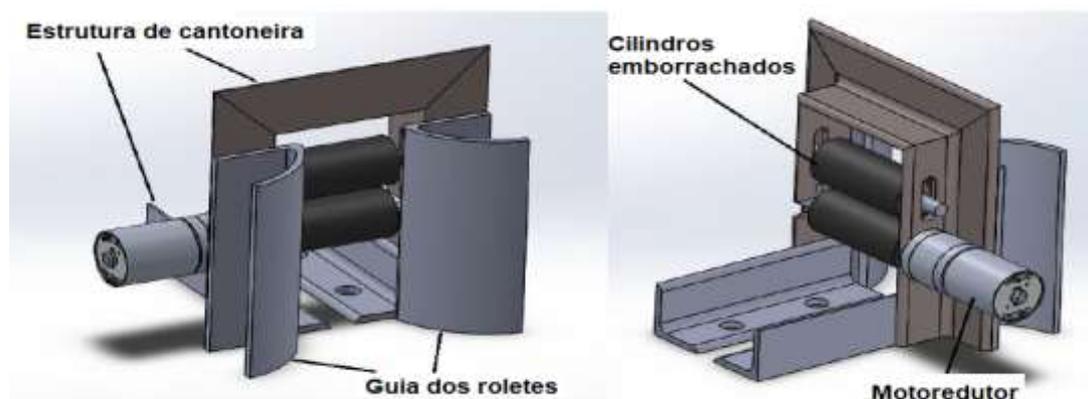
No momento da extrusão, em alguns casos, há necessidade da utilização de um puxador, que é um equipamento capaz de tracionar o filamento após passar pela matriz. Sua principal função é ajustar a espessura final do filamento, pois, o polímero ao passar pela extrusão pode manter pressões residuais após a matriz, aumentando seu diâmetro.

Este equipamento é composto por dois cilindros paralelos revestidos por uma superfície emborrachada, com o auxílio de um motor com a velocidade controlada de acordo com a saída de material na matriz da extrusora, para que possa puxar o filamento e atingir o diâmetro de 1.75 mm ou de 3.00 mm. A Figura 1 apresenta os componentes de um puxador (RODRIGUES, 2017).

O processo completo da extrusora juntamente com o puxador é apresentado na Figura 2. Este apresenta diversas aplicações importantes na manufatura de produtos obtidos a partir do processo de extrusão, os quais são utilizados nas indústrias para fabricação de tubos, folhas de plásticos, sacolas, mangueiras, chapas e também para filamentos para serem comercializados por usuários da impressora 3D (KANTOVISCKI, 2011; FLEMING et al., 2012; HAMOD, 2014).

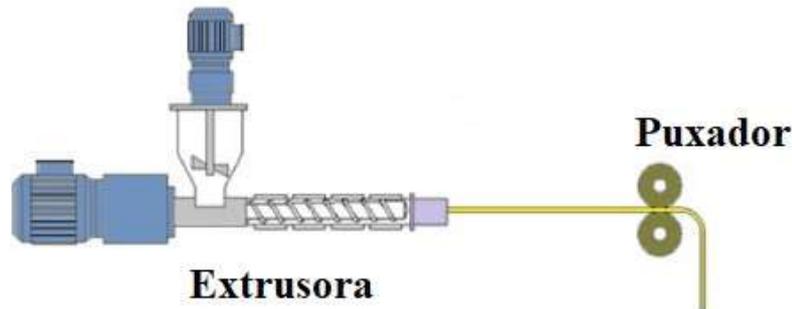
Há outros aspectos importantes, a exemplo da comercialização de filamentos, que se tornou um nicho de mercado promissor, notadamente, após a popularização das impressoras 3D, por ser considerada de baixo custo. A matéria prima é utilizada para a fabricação de qualquer tipo de peça, sendo capaz de oferecer produtos personalizados em pequenas quantidades e com ótima qualidade (BERMAN, 2012; GEBLER et al., 2014; NOVOA e ALMEIDA, 2016).

Figura 1: Esquema do componente do puxador



Fonte: Adaptado de Rodrigues (2017)

Figura 2: Esquema do processo de uma extrusora com o puxador

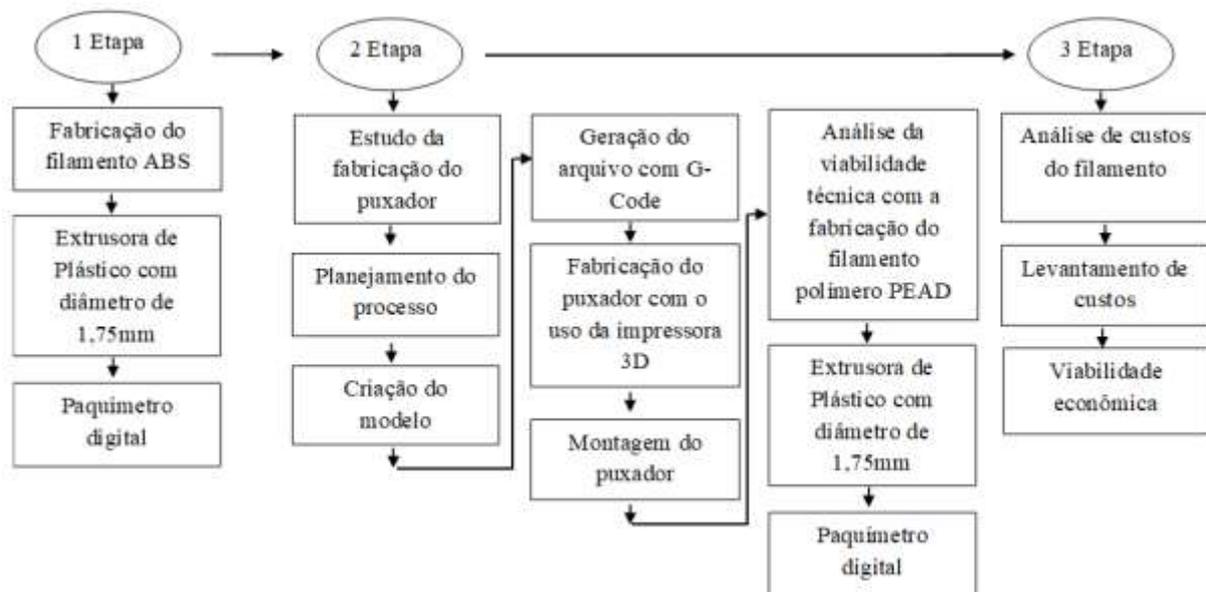


Fonte: Adaptado de Fleming et al. (2012)

3. Materiais e Métodos

A pesquisa foi conduzida de maneira experimental (MIGUEL, 2012) seguindo três etapas conforme a Figura 3. Inicialmente foi feita a fabricação do filamento ABS, e em seguida, fabricou-se o puxador que seria utilizado como um auxílio para extrusora, e por último foi feita a análise se custos para fabricação de filamento.

Figura 3 – Desenho da pesquisa



Fonte: Autores, 2021

3.1. Fabricação do Filamento

Para fabricação do filamento do polímero ABS foram utilizadas 400 g de grânulos de polímeros ABS (Figura 4). Nesta fase utiliza-se a máquina Extrusora Filmaq 3D STD, com o bico de saída

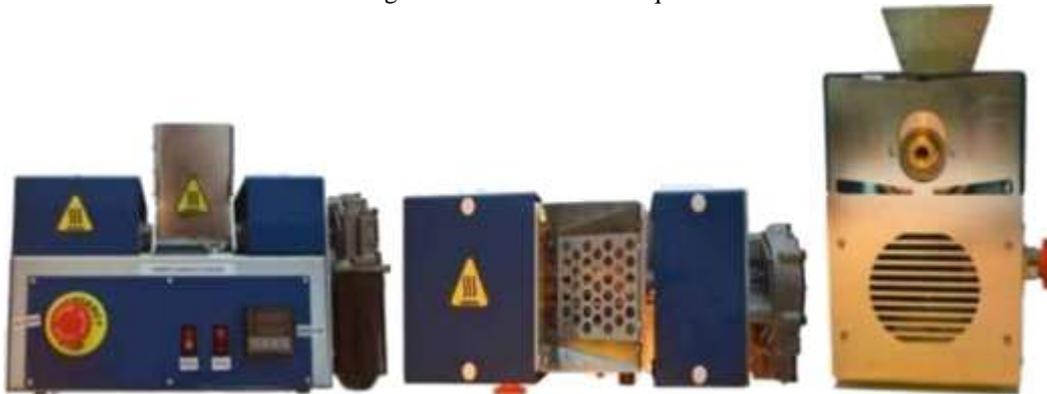
de 1.75 mm, que foi aquecida até a temperatura de 220°C para fabricação do filamento (Figura 5). Conforme a saída do filamento, realizou-se a medição de sua espessura com um paquímetro digital.

Figura 4 – Grânulos do polímero ABS



Fonte: Autores, 2021

Figura 5 - Extrusora Filmaq 3D

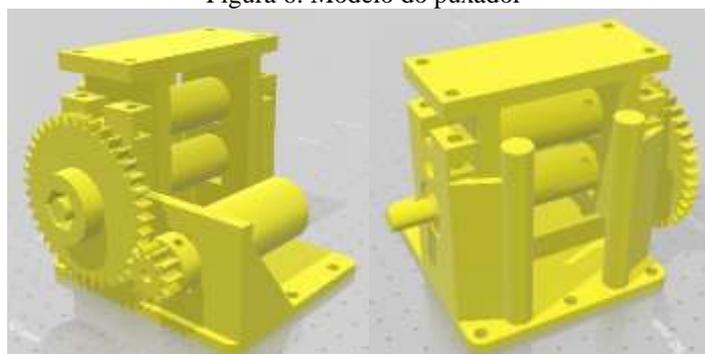


Fonte: Autores, 2021

3.2. Fabricação do Puxador

O desenvolvimento do equipamento puxador como um complemento para extrusora foi baseado no modelo disponível no site <https://www.thingiverse.com/>, que disponibiliza gratuitamente o *download* do arquivo com modelos de peças para impressão. A busca pelo projeto *OpenSource* foi feita com a palavra-chave *Filament Puller*, e selecionou-se o arquivo de peças apresentado na Figura 6.

Figura 6: Modelo do puxador



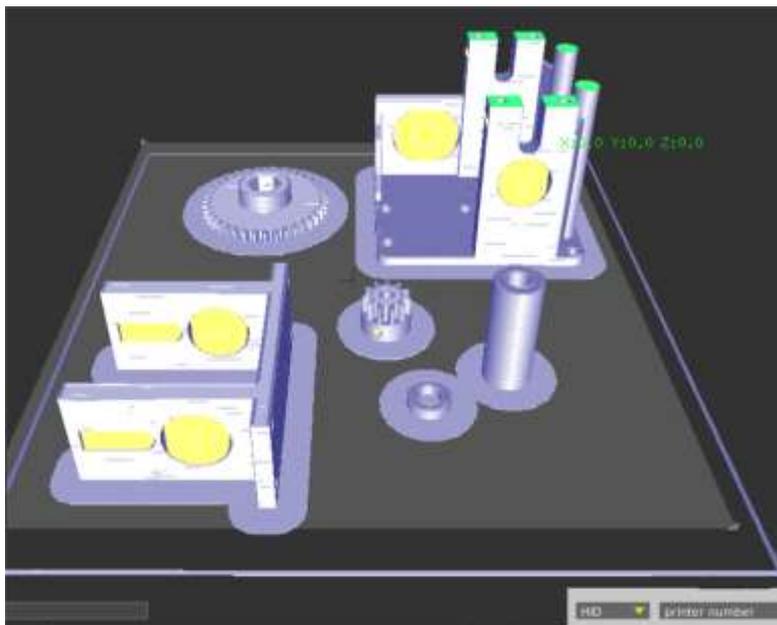
(a) Fundo

(b) Frente

Fonte: Thingiverse, 2021

Nesta fase é transferido o arquivo para o *software* Voxelizer, utilizado para impressoras 3D ZMorph, a fim de realizar a programação da impressão da peça, definindo-se a espessura da camada, a velocidade da impressão, tipo de material e a inserção de suportes. A simulação das peças impressas indica que o uso de 49 metros e 55 cm de filamento, e um gasto de 13 horas e 24 minutos para realizar a impressão da peça, seguindo os detalhes da representação gráfica arquivo G-Code, apresentados na Figura 7.

Figura 7: Representação gráfica do G-Code da peça impressa



Fonte: Autores, 2021

Para este trabalho de fabricação do puxador foi utilizada uma impressora multifuncional Zmorph (Figura 8) com filamento de ABS.

Figura 8 - Impressora Zmorph.



Fonte: Zmorph, 2021.

Foram estabelecidos os seguintes parâmetros: 40% de preenchimento, espessura da camada de 0,2 mm, velocidade de impressão de 70 mm/s, estratégia de preenchimento *honeycomb* (colmeia de abelha), diâmetro do filamento de 1.75 mm e 4 linhas de contorno.

Para realizar a montagem do equipamento foi necessário utilizar um motor de corrente contínua com 90 RPM e 12V, 6 porcas de 4 mm, 3 arruelas de 3 mm, 2 eixos com parafusos de 9 cm de comprimento e 4 mm de diâmetro, 1 rolo de espuma com 4 cm de comprimento. A Tabela 1 apresenta o levantamento do preços dos componentes a serem utilizados.

Tabela 1 – Custo dos itens para fabricação do puxador

| Peça | Custo unitário | Quantidade | Total |
|--|----------------|------------|---------------|
| Motor 90 RPM | 120,00 | 1 | 120,00 |
| Rolo de espuma | 7,00 | 1 | 7,00 |
| Barra roscada 9cm comprimento e 4mm diâmetro | 4,20 | 2 | 8,40 |
| Porca 4mm | 3,90 | 6 | 23,40 |
| Arruela 4mm | 2,90 | 3 | 8,70 |
| Fonte 12 V | 40,00 | 1 | 40,00 |
| Controlador PWM | 80,00 | 1 | 80,00 |
| Total | | | 287,50 |

Fonte: Autores, 2021

Após a montagem do puxador, foi realizado a fabricação do filamento PEAD (Figura 9) para verificar a viabilidade técnica da utilização de um equipamento feito por meio de uma impressora 3D.

Figura 9 – Grânulos do polímero PEAD



Fonte: Autores, 2021

3.3. Análise de custos do filamento

Atendendo um dos objetivos deste estudo, verificou a viabilidade da reutilização de material reciclados para fabricação de filamentos para impressora 3D, com objetivo da redução de resíduos descartados no meio ambiente.

Com isso, foi realizado uma cotação para verificar os principais fornecedores do equipamento de extrusão para fabricação de filamentos para impressora 3D, conforme é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Características dos principais equipamentos de extrusão.

| Modelo | Temperatura Máxima | Dimensão do equipamento (cm) | Preço |
|---|--------------------|------------------------------|---------------|
|  Filabot | 450°C | 46x18x23 | R\$ 10.144,94 |
|  DNA | 250°C | 41x12x21 | R\$ 1.933,35 |
|  Filastruder | 250°C | 46x10x15 | R\$ 1.217,84 |
|  FilaFab | 250°C | 49x16x24 | R\$ 4.694,67 |
|  Filmaq3D | 400°C | 50x30x35 | R\$2.900,00 |

Fonte: Autores, 2021

Ao analisar os preços dos equipamentos notou-se que os equipamentos Filabot, DNA, Filastruder e Filafab teriam custos com impostos e um alto valor do frete, pois não são fornecidas no Brasil. Com isso, o equipamento escolhido para esta análise foi o Filmaq3D, pois no seu valor já está embutido o valor do imposto cobrado por ser uma fornecedora localizada em Curitiba – PR – Brasil.

Para analisar o potencial da economia do processo de fabricação de filamentos com material reciclado, realizou-se a o levantamento de preços para os polímeros ABS e PEAD reciclados em grânulos, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores dos polímeros em grânulos.

| Material | Valor (kg) |
|------------------|------------|
| ABS (reciclado) | R\$ 6,40 |
| PEAD (reciclado) | R\$ 3,50 |

Fonte: Autores, 2021

A ficha técnica disponibilizada pelo equipamento de fabricação de filamento apresenta uma taxa de extrusão de 0,350 kg/h. Desse modo, considerando o custo de energia elétrica de R\$ 0,70/kWh e para uma produção de 1,0 kg de filamentos será utilizado uma média de 2h30min. Para calcular o valor do custo de energia elétrica para fabricação de filamentos, será utilizado a seguinte equação:

$$CEF = CE \times C \quad (1)$$

Onde o CEF representa o custo de energia para fabricação de filamentos, CE o custo de energia por hora, e o C representa a quantidade de horas consumidas. Será analisado também o valor *payback* simples para saber quantos quilos de filamentos são necessários para se obter o retorno do investimento, expresso pela equação (2).

$$Payback = \frac{I}{A} \quad (2)$$

Onde o I é o valor do investimento inicial, e o A representa o valor gasto evitado para a fabricação de 1 quilo de filamento. Estes resultados serão apresentados na seção 3.

4. Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos conforme descritos na seção anterior, em relação à fabricação do filamento e do equipamento utilizando a impressora 3D, subsidiando assim, o alcance dos objetivos propostos.

4.1. Fabricação do Filamento

Primeiramente foi realizada a fabricação do filamento com o polímero ABS reciclado, utilizando a temperatura de 220°C. Com esta temperatura foi produzido um filamento com diâmetro entre 1.72 mm e 1.71 mm, como apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Medição do diâmetro do filamento ABS



Fonte: Autores (2021)

Após a fabricação do filamento, verificou-se sua resistência mecânica. O estudo de Santos (2019) apresenta propriedades mecânicas do material, permitindo a realização de uma comparação entre o material virgem e o reciclado, conforme a Tabela 3. Observa-se que o polímero virgem possui resistência à tração 14,38% superior, o material reciclado apresenta resistência a flexão 39,68% maior e dureza 4,6% maior que o material virgem.

Tabela 3 – Medição de propriedades mecânicas do polímero ABS

| | Densidade (g) | Tração (Mpa) | Flexão (Mpa) | Dureza (Gpa) |
|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| ABS virgem | 1,0603 | 33,4833 | 2,2137 | 140,6274 |
| ABS reciclado | 0,8962 | 29,2727 | 3,0923 | 147,0998 |

Fonte: Adaptado de Santos (2019)

4.2. Fabricação do Puxador

Nesta segunda etapa, foi realizada a impressão do equipamento puxador e, em seguida, foi realizada a montagem conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Processo de fabricação do puxador: (a) Peças Impressas; (b) Montagem.



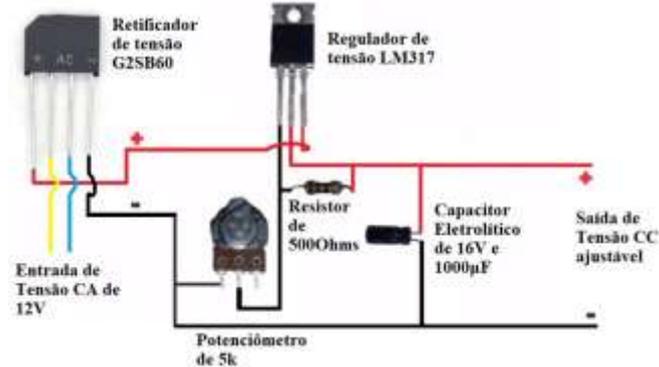
(a)

(b)

Fonte: Autores, 2021

A fim de equiparar a velocidade do puxador com a da extrusora de filamento, estimou-se que com a redução de 3 volts, o motor passaria a rodar a 60 RPM, sendo assim foi realizado um projeto elétrico de alimentação para o motor do puxador utilizando o *software Multisim 12.0*, como apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Projeto Elétrico de alimentação do motor do puxador



Fonte: Autores, 2021

Após a montagem do puxador, foi verificado a viabilidade do equipamento, pois em determinados polímeros, como por exemplo, o PEAD que há necessidade da utilização de um equipamento para tracionar o filamento para atingir a espessura desejada.

Segundo os trabalhos de Chong et al. (2017) e Bastian (2012) a temperatura adequada para extrusão para o PEAD é de 210°C. Porém, afim de se analisar melhor o comportamento do material, foram realizados teste de 210°C até 260°C (temperatura máxima da extrusora), com incrementos de 10 em 10 graus.

Com o auxílio do puxador foi possível verificar a viabilidade técnica do equipamento, o qual foi possível chegar à dimensão esperada, determinando a temperatura ideal e a distanciamento da extrusora com o puxador, para que o material possa resfriar, evitando deformação pelo puxador, conforme representado pela Figura 13.

Figura 13 - Processo de montado do puxador com a extrusora.



Fonte: Autores, 2021

Sendo assim, diversos seguimentos de filamento foram produzidos variando-se a temperatura, com a utilização do puxador com uma distância de 1 metro entre a extrusora e o puxador. Conforme foi sendo fabricado o filamento foi feita a medição com o auxílio de um paquímetro digital. Ao fazer a troca de temperatura, aguardou-se em média 5 minutos para que a extrusora estabilizasse na temperatura desejada. Com isso, foi realizada a medição em cinco diferentes pontos no filamento para cada temperatura, conforme apresentados no Quadro 2.

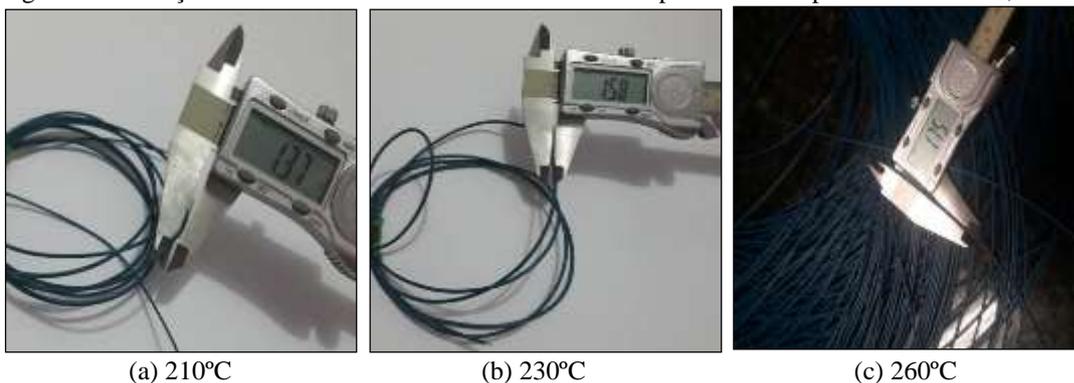
Quadro 2: Média de espessura do filamento

| Temperatura | Dimensão do filamento (mm) | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| | Teste 1 | Teste 2 | Teste 3 | Teste 4 | Teste 5 | Média | Maior | Menor |
| 210°C | 1.36 | 1.32 | 1.33 | 1.33 | 1.37 | 1.34 | 1.37 | 1.32 |
| 220°C | 1.44 | 1.48 | 1.48 | 1.49 | 1.37 | 1.46 | 1.49 | 1.41 |
| 230°C | 1.58 | 1.59 | 1.56 | 1.57 | 1.62 | 1.59 | 1.62 | 1.56 |
| 240°C | 1.65 | 1.68 | 1.66 | 1.68 | 1.69 | 1.67 | 1.69 | 1.65 |
| 250°C | 1.63 | 1.66 | 1.71 | 1.69 | 1.67 | 1.67 | 1.71 | 1.63 |
| 260°C | 1.71 | 1.73 | 1.75 | 1.74 | 1.76 | 1.74 | 1.76 | 1.71 |

Fonte: Autores, 2021

Com isso, a temperatura que mais se aproximou da dimensão de 1.75 mm com uma pequena oscilação variando de 1.71 a 1.75mm foi à temperatura de 260°C e o filamento ficou resistente e na medida certa, conforme a Figura 14.

Figura 14: Medição do diâmetro do filamento do PEAD com puxador a temperatura de 210°C, 230°C e 260°C



Fonte: Autores, 2021

4.2. Análise de Custo da fabricação do filamento

Após a fabricação do filamento, realizou a análise de custo para 1 kg de filamento ABS, PEAD e também para os materiais PLA e PP, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 41 - Custo do valor de Energia com o valor do grânulo.

| Material | Equação | Valor (kg) |
|------------------|-------------------------|------------|
| ABS (reciclado) | $RS\ 1,75 + RS\ 6,40 =$ | RS 8,15 |
| PLA (reciclado) | $RS\ 1,75 + RS\ 7,20 =$ | RS 8,95 |
| PEAD (reciclado) | $RS\ 1,75 + RS\ 3,50 =$ | RS 6,13 |
| PP (reciclado) | $RS\ 1,75 + RS\ 3,20 =$ | RS 5,60 |

Fonte: Autores, 2021.

Considerando o preço médio da bobina de 1 kg de filamento do ABS é de R\$ 95,00, e para o PLA R\$ 130,00, percebe que a produção do filamento atinge uma economia de aproximadamente 88%.

Avaliando o investimento pelo método *payback* simples (PBS) (Tabela 5) para fabricação do filamento, significa que após a fabricação de aproximadamente 33,39 kg de ABS ou 24,70 kg de PLA, o equipamento será quitado, gerando lucros à partir desta produção.

Tabela 5 – *Payback* simples.

| Material | Equação | Valor do Payback | Quantidade de filamentos (kg) |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| ABS (reciclado) | $RS\ 95,00 - RS\ 8,15 = 86,85$ | $PBS = 2900 / 86,85 =$ | 33,39 |
| PLA (reciclado) | $RS\ 130,00 - 8,95 = 121,05$ | $PBS = 2900 / 121,05 =$ | 23,96 |

Fonte: Autores, 2021

Isso mostra que além da redução de resíduos descartados no meio ambiente, observa-se que o custo do filamento fabricado a partir do material reciclado é inferior ao custo daquele produzido e comercializado como material virgem.

5. CONSIDERAÇÕES

Este artigo objetivou analisar a viabilidade da fabricação de filamentos a partir de resíduos reciclados e o desenvolvimento de um equipamento utilizado a impressão 3D por meio do processo FDM para construção de um puxador para auxiliar a extrusora para fabricação de filamento.

Quanto à fabricação do filamento de resíduos de ABS percebeu-se que foi viável em relação à qualidade do filamento e dimensões estabelecidas de 1.75 mm, sendo possível realizar a impressão de peças com esse material. Percebeu-se também que este material possui resistência mecânica satisfatória, apresentando no ensaio de tração um limite de resistência de 33,48 Mpa e de flexão uma resistência de 3,09 Mpa.

Outro resultado encontrado é a fabricação do puxador como um complemento para uma extrusora, fabricado por meio de um material reciclado, o qual verificou a viabilidade técnica. Atendendo o objetivo proposto pelo equipamento, vale ressaltar que este tipo de equipamento é possível de ser encontrado por valores em torno de R\$ 8.500,00 à R\$ 45.000,00 conforme uma análise de mercado, e por isso, optou-se pela fabricação de um puxador devido seu custo ser baixo, em torno de R\$ 300,00.

Percebeu-se que com a utilização do puxador, além dele trancionar, ele também interfere no diâmetro do filamento, pois quando o material passa pelo processo de extrusão, ele retem uma pressão residual e, conseqüentemente, aumenta de diâmetro após a sua saída. Com isso ao colocar a matriz da extrusora com uma distância de aproximadamente 1 metro do puxador, para que o material ao sair da matriz da extrusora tenha o período de resfriamento para passar pelo puxador que também é o responsável pela obtenção do diâmetro do filamento.

Em relação a análise de custo da fabricação de filamento, a avaliação do *payback* simples mostrou ser bastante vantajosa, gerando uma economia de aproximadamente cerca de 88% no custo da matéria prima, e obtendo-se o retorno do investimento com uma produção de aproximadamente 30kg de filamentos.

Como sugestão pra trabalhos futuros, indica-se o desenvolvimento de uma bobinadeira para finalizar todo o processo de fabricação dos rolos de material.

REFERÊNCIAS

ASTM F 2792. AMERICAM SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM F2792: Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies**. United States, 2010.

BASTIAN, A. *A device to recycle thermoplastics for applications in 3D printing*. 2012. Disponível: < <http://andreasbastian.com/Ember-1> > Acesso em: 29 de março de 2021.

BERMAN, B. 3D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*. V. 55, p.155-162, 2010.

CASAGRANDE, M. V. S. Projeto de um cabeçote de extrusão de uma máquina de prototipagem rápida FDM. **Projeto de graduação–UFRJ/Escola Politécnica**, 2013.

CHONG, S., PAN, G. T., KHALID, M., et al., “*Physical characterization and pre-assessment of recycled high-density polyethylene as 3D printing material*”. *Journal of Polymers and the Environment*, v. 25, n. 2, p. 136-145, 2017.

CLARO, P. B. O., CLARO, D. P. Sustentabilidade estratégica: existe retorno no longo prazo? **R.Adm.**, São Paulo, v.49, n.2, p.291-306, abr./maio/jun. 2014.

ENEL, Energia Distribuidora de Goiás. Taxas e Tarifas. Disponível em: <https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/TaxasETarifas.aspx>, acessado em 15 de maio de 2021.

FLEMING, R. R., PARDINI, L. C.; ALVES, N. P.; BRITO JUNIOR, C. A. R.; SALES, R.C.M; MARQUES, V.G. Avaliação de blendas de PAN/Polímeros biodegradáveis por calorimetria. **Revista Matéria**, v. 17, n.1, p.909 – 918, 2012.

GBLER, M; UITERKAMP, AJM; VISSER, C. *A global sustainability perspective on 3D printing Technologies*. **Energy Policy**, 2014.

GIBSON, I., ROSEN, D.W., STUCKER, B. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. Springer, 2010.

HAMOD, Haruna. **Suitability of Recycled HDPE for 3D printing filament**. 2014. Degree Thesis – Degree Program: Plastics Technology, Arcada University of Applied Science, Finlandia, 2014.

HOFMANN, E., RÜSCH, M. “Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics”. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23-34, 2017.

IVANOV, D, DOLGUI, A., SOKOLOV, B., *et al.*, “A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0”. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 2, p. 386-402, 2016.

KANTOVISCKI, Adriano. **Materiais Poliméricos: Módulo 2 – Processos de Transformação de Polímeros**. 2011. Disponível em: <http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/automotiva/downloadsAutomot/d6matPolimMod2.pdf>. Acesso em: 24 maio 2021.

MANI, M; LYONS, KW; GUPTA, SK. *Sustainability Characterization for Additive Manufacturing*. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, v.119, 2014.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Elsevier, 2012.

NOVOA, D. M. C, d’ALMEIDA, J.R.M., Avaliação físico – química do PEAD processado pelo método de impressão 3D por modelagem por fusão e deposição – FDM. 22^oCBECiMat - Congresso Brasileiro e Ciência dos Materiais. Natal, 2016.

NG, M., FLEMING, T., ROBINSON, M., *et al.*, “Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013”. **Lancet**. v. 30, . n. 384, p. 766-81, 2014 doi: 10.1016/S0140-6736(14)60460-8.

PEREIRA, Frederico David Alencar de Senal. **Desenvolvimento de um cabeçote para extrusão de filamento fundido aplicado a manufatura aditiva**. 2014. Dissertação de Mestrado, Campinas, 2014.

RODRIGUES, Luís Felipe Birmann. **Análise do aproveitamento de polímeros recicláveis para obtenção de filamentos para impressora 3D**. Panambi, 2017.

SANTOS, L. M.; ROCHA, D. S. G. M.; CARNEIRO, M. L.; LUZ, M. P. Tipos de polímeros utilizados como matéria prima no método de manufatura aditiva por FDM: uma abordagem conceitual. **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A engenharia de produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil**. Maceió, p. 2, 2018.

SANTOS, L. M. **Viabilidade técnica da aplicação de polímeros termoplásticos reciclados para impressão 3D**. 2019. Dissertação de Mestrado do Programa de Engenharia de Produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2019.

THINGIVERSE. *Filament Extruder Puller*. wingmaster, 2015. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:677144/#remixes>> Acessado em: 26 de março de 2021.

VOLPATO, N., MUNHOZ, A. L., J., COSTA, C. A., *et al.*, **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. Primeira Edição. São Paulo: Blucher, 2017. 400 p.