

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DAS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE FILAMENTOS DE PLA PARA IMPRESSORAS 3D DE CÓDIGO ABERTO

Leonardo Santana, leonardosantana29@gmail.com¹
Carlos Henrique Ahrens, chahrens@emc.ufsc.br¹
Aurélio da Costa Sabino Netto, asabino@ifsc.edu.br²
Guilherme Mariz Barra de Oliveria, guiga@emc.ufsc.br¹
Cláudia Merlini, dra.claudiamerlini@yahoo.com.br¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Florianópolis - SC

²Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Florianópolis - SC

Resumo: A democratização dos processos de Manufatura Aditiva por extrusão, motivada pelo desenvolvimento das impressoras 3D de código aberto, permitiu o uso dessas tecnologias em ambientes domésticos e de negócios, além de ser desejável no cenário de pesquisas, garantindo maior flexibilidade e possibilidades de adaptações. Dentre os principais materiais utilizados neste conceito de máquinas estão os filamentos de poli(ácido láctico) (PLA), disponíveis em uma vasta gama de cores e fornecedores. Filamentos de PLA são muito populares, principalmente entre entusiastas da impressão 3D, uma vez que apresentam maior facilidade de impressão quando comparados a outros materiais disponíveis. Entretanto, pouco se conhece a respeito das propriedades destes materiais, abrindo uma lacuna no cenário das pesquisas acadêmicas, onde o conhecimento técnico sobre a matéria prima é de grande importância. Neste sentido, o presente artigo buscou avaliar diferentes filamentos de PLA com variação na coloração, e comercialmente ditos naturais. Para a caracterização dos filamentos foram realizados inicialmente três técnicas: calorimetria diferencial de varredura (DSC), análise termogravimétrica (TGA), e espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR); os dois primeiros para se obter as temperaturas de fusão, transição vítrea, e de degradação, e o terceiro para identificar os principais elementos da composição química dos materiais. Uma quarta análise foi realizada, entretanto com apenas dois filamentos — um pigmentado e um natural —, para medir a densidade dos materiais e possibilitar comparações com valores disponibilizados na literatura. Os resultados encontrados mostram que, em relação à temperatura de transição vítrea, materiais coloridos e naturais apresentaram valores muito próximos; comportamento semelhante também foi observado em relação à temperatura de degradação. A análise da temperatura de fusão revelou dois grupos distintos: filamentos de PLA semicristalinos com variações na temperatura de fusão, e filamentos amorfos. Quanto à composição química, não foram constatadas diferenças significativas, mesmo em amostras com e sem pigmentos. Por fim, na medição da densidade também foram encontrados valores similares entre as amostras analisadas, e próximos aos valores descritos na literatura.

Palavras-chave: Impressão 3D, PLA, composição química, temperatura, densidade.

1. INTRODUÇÃO

A expiração das patentes do processo de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) possibilitou a criação de iniciativas como os projetos *RepRap* e *Fab@home* para o desenvolvimento de equipamentos de impressão 3D de código aberto. O objetivo destes projetos foi democratizar a tecnologia, tornando-a acessível a um vasto público (Santoso *et al.*, 2013). Em outras palavras, segundo Stephens *et al.* (2013), o desenvolvimento de versões *desktop* de baixo custo tornou a tecnologia amplamente acessível para uso doméstico e em negócios.

Diferentemente dos modelos comerciais de máquinas FDM, equipamentos de código aberto tornam-se interessantes no cenário da pesquisa, uma vez que apresentam maior flexibilidade e capacidade de adaptação (Pallarolas, 2013). Entre os principais materiais de construção utilizados nessas máquinas, estão o PLA (poli(ácido láctico)) e o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) (Borah, 2014).

O PLA caracteriza-se por ser um biopolímero da família dos poliésteres alifáticos, do tipo poli(α – hidróxi-ácido), tipicamente produzido a partir do milho ou de outros materiais renováveis semelhantes. Consiste em um termoplástico,

semicristalino ou amorfo, biocompatível e biodegradável, não tóxico, com boa processabilidade térmica e propriedades reológicas (Lim *et al.*, 2008; Santos, 2011; Brito *et al.*, 2012; Kaczmarek e Kwiatkowska, 2012; Horvath, 2014). Os poliésteres alifáticos, os quais incluem o PLA — conforme já referido anteriormente —, são polímeros biodegradáveis sintéticos muito utilizados em aplicações biomédicas, tais como: cápsulas para liberação de drogas em organismos vivos, fixadores em cirurgias (suturas, clips, pinos para ossos), *scaffolds* para Engenharia de Tecidos — aplicados a tecidos osseos, cartilagens, válvulas cardíacas, intestino, entre outros (Franchetti e Marconato, 2006; Lamas, 2015).

No cenário da impressão 3D, os filamentos de PLA encontram-se disponíveis em uma grande variedade de cores e são muito populares entre os entusiastas da tecnologia, uma vez que apresentam maior facilidade para imprimir do que o ABS (Barnatt, 2014). Entretanto, devido à natureza dos projetos de código aberto, segundo Albuquerque (2014), não há uma autoridade que regularize, padronize e especifique as características técnicas que devem ter os filamentos que são fornecidos para o emprego nesta tecnologia. Por conta disso, dependendo do material, cor ou fornecedor dos filamentos, os parâmetros de processamento no processo de impressão podem ser distintos. Desta forma, cabe aos usuários encontrar o ajuste dos parâmetros, normalmente através do método da tentativa e erro.

Diante do cenário de poucas informações técnicas sobre os materiais de impressão 3D, da popularidade do PLA, e da crescente tendência do uso das plataformas abertas no contexto acadêmico, este artigo tem como objetivo analisar diferentes filamentos de poli(ácido lático), buscando oferecer aos usuários informações que auxiliem no processo de seleção dos filamentos, e parametrização dos mesmos para a impressão de modelos 3D. Além das motivações descritas, a caracterização dos materiais também se torna importante para justificar diferenças nas características das peças fabricadas com diferentes filamentos de PLA.

2. METODOLOGIA

Para o estudo foram selecionados quatro filamentos com 3 mm de diâmetro de PLA, Fig. 1, sendo dois coloridos, (Amarelo e Cinza), e dois materiais comercialmente ditos naturais (nomeados respectivamente de Nat. A e Nat. B). O objetivo foi verificar se existiam diferenças significativas, motivada pela presença ou não de pigmentação. Os filamentos analisados foram adquiridos de um mesmo fornecedor, a empresa Sethi3D (Brasil).



Figura 1 . Filamentos de PLA utilizados no estudo.

A caracterização dos filamentos de PLA foi realizada em três técnicas experimentais: calorimetria diferencial de varredura (DSC), análise termogravimétrica (TGA) e espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Uma quarta análise foi realizada com o objetivo de determinar a densidade dos materiais, no entanto, limitada a apenas uma amostra de filamento pigmentado e outra de natural. Os procedimentos realizados, bem como os equipamentos utilizados, e o fator resultante de cada análise, encontram-se sintetizados na Fig. 2. As análises de DSC e TGA foram realizadas com o intuito de identificar as características térmicas dos materiais, isto é, as temperaturas de fusão (T_f), de transição vítrea (T_g), e de degradação (T_d). O ensaio de DSC foi realizado a uma taxa de 10 °C/min, em cadinho de alumina, em uma faixa de temperatura de (10 a 230) °C. Na análise de TGA também foi utilizada uma taxa de aquecimento de 10 °C/min, em um intervalo de (30 a 700) °C, com atmosfera de nitrogênio. O experimento de FTIR, por sua vez, foi efetuado para determinar os principais elementos da composição química dos filamentos, sendo analisados espectros em número de ondas entre (4000 e 600) cm^{-1} . As informações obtidas na análise de FTIR foram posteriormente comparadas com resultados dos estudos de Chieng *et al.* (2014) e Bitencourt (2011), os quais também utilizaram esta técnica de caracterização no material PLA.

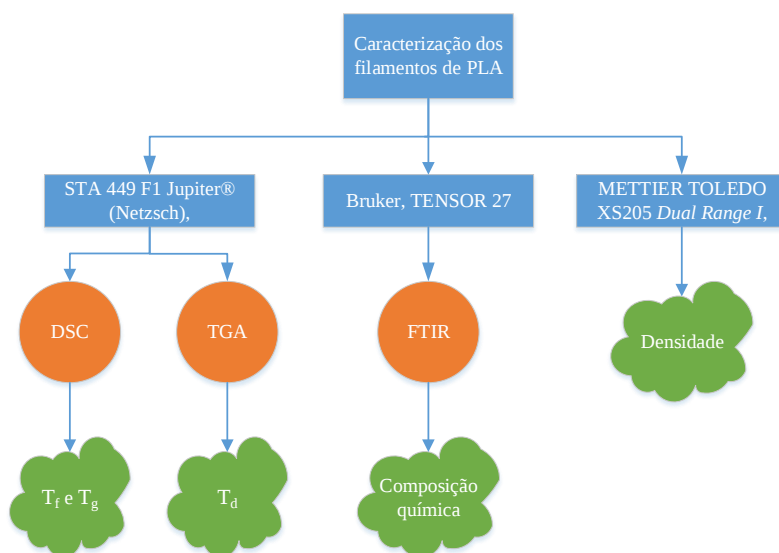


Figura 2. Procedimentos de caracterização, equipamentos de análise e fatores resultantes.

Por fim, a densidade dos filamentos foi determinada a partir da função automática do equipamento de medição, o qual utiliza como parâmetros de entrada: líquido no qual a amostra foi submergida (neste caso, água destilada) e a sua temperatura ($\sim 23^{\circ}\text{C}$), massa do material analisado antes da submersão, e massa do material enquanto completamente submerso no líquido. Para cada filamento de PLA analisado, foram realizadas cinco medições de densidade

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Fig. 3 são apresentadas as curvas obtidas no ensaio de DSC para os filamentos de PLA. Os valores para as temperaturas de fusão e transição vítrea encontram-se compilados na Tab. 1.

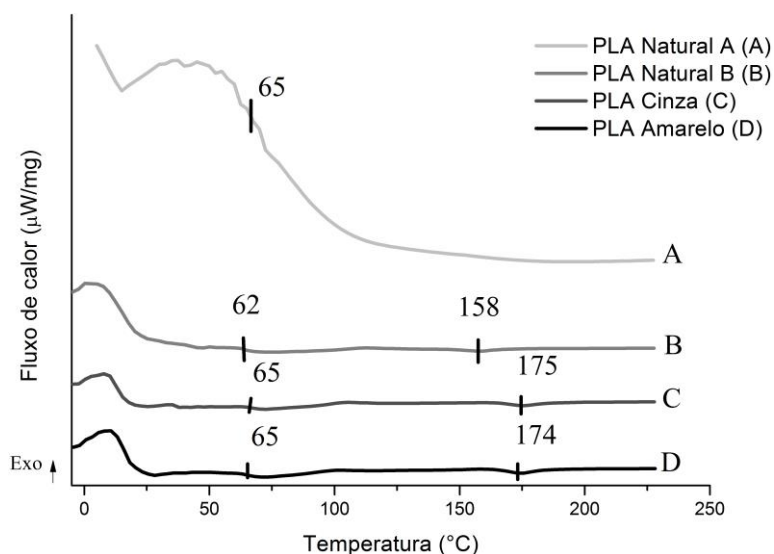


Figura 3. Curvas ensaio DSC.

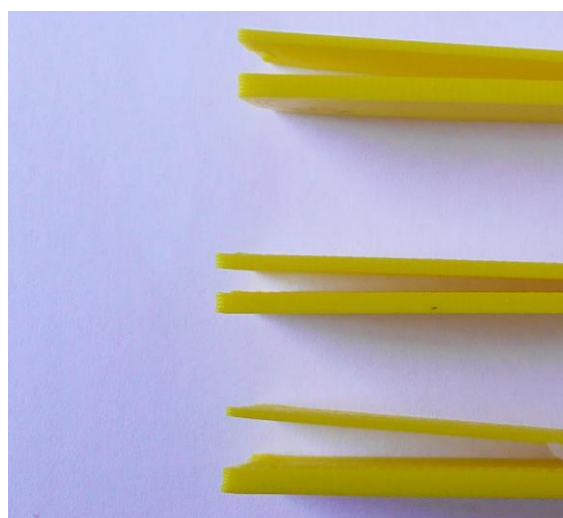
Tabela 1. Temperaturas de fusão (T_f) e transição vítrea (T_g)

PLA	T_f ($^{\circ}\text{C}$)	T_g ($^{\circ}\text{C}$)
Cinza	175	65
Amarelo	174	65
Natural A	-	65
Natural B	158	62

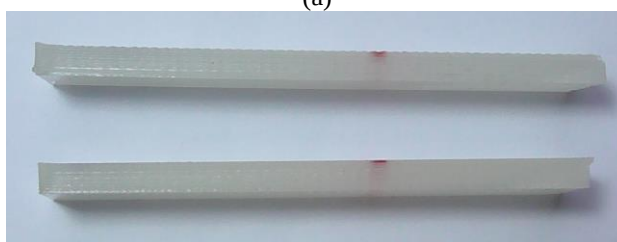
Os resultados encontrados no ensaio de DSC mostram um comportamento semelhante entre os filamentos em relação à temperatura de transição vítrea (T_g), em que três dos materiais avaliados apresentaram um mesmo valor de 65°C, sendo a exceção o PLA natural B que apresentou uma variação na T_g de 3°C a menos em relação aos demais.

A análise da temperatura de fusão (T_f) no DSC revelou uma importante constatação, que dividiu os materiais em dois grupos em relação à estrutura molecular, isto é, semicristalinos e amorfo. Conforme pode ser observado no gráfico da Fig. 3, os filamentos de PLA cinza, amarelo, e natural B apresentam uma temperatura de fusão definida, comportamento atribuído a polímeros semicristalinos. Os materiais coloridos apresentaram um valor muito próximo de T_f , enquanto no caso do PLA natural B a temperatura de fusão encontra-se em torno de 17°C abaixo dos filamentos pigmentados. Em relação ao PLA natural A, não foi possível identificar com clareza a temperatura de fusão, o que sugere que o material avaliado apresenta uma estrutura molecular do tipo amorfa¹. Adicionalmente, com base em testes de processamento realizados com o PLA natural A — disponíveis em Santana (2015) — a transição do estado rígido para pastoso foi alcançada em intervalos de temperatura entre 190 e 210°C.

Especificamente em relação aos grupos de filamentos com estruturas moleculares distintas, foram observadas nas peças obtidas pelo processo de impressão 3D, diferenças perceptíveis em relação às características gerais de adesão. O material amorfo (Natural A), em relação aos demais, apresentou um comportamento de adesão à plataforma de construção muito superior, além de uma melhor união entre as camadas. A Fig. 4, (a) e (b) mostra peças construídas com os PLAs amarelo e natural A, submetidas ao ensaio de flexão até a ruptura. As peças construídas com o PLA semicristalino apresentaram descolamento das camadas, enquanto as amostras com o material amorfo mantiveram a integridade no sentido de empenhamento das camadas.



(a)



(b)

Figura 4. Adesão entre as camadas, (a) PLA semicristalino, e (b) PLA amorfo.

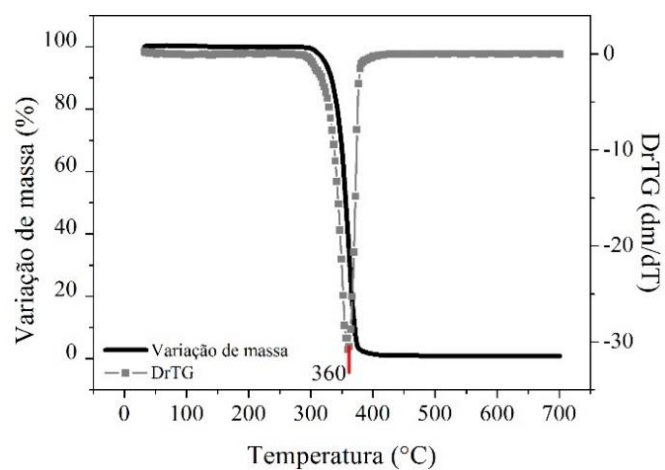
Após o breve comentário sobre a diferença nas características das peças fabricadas com diferentes filamentos de PLA sobre o aspecto da estrutura molecular, segue-se com a apresentação dos resultados obtidos com as análises térmicas. A Tab. 2 mostra os valores relacionados à temperatura de degradação (T_d), adquiridos na análise de TGA.

¹ Polímeros amorfos não apresentam um arranjo cristalino como o existente em polímeros semicristalinos, os quais apresentam uma porção amorfa e uma cristalina. Os polímeros semicristalinos apresentam além da T_g , a temperatura de fusão (T_f) e a temperatura de cristalização (T_c), enquanto os amorfos apresentam apenas temperatura de transição vítrea (T_g) (Marinucci, 2011). A temperatura de fusão (T_f) corresponde ao valor da faixa de temperatura no qual desaparecem as regiões cristalinas com a fusão dos cristalitos durante o aquecimento. Neste ponto tem-se a energia necessária para a transição de um estado borrachoso para um estado viscoso. Tal transição ocorre somente na fase cristalina, portanto, só tem sentido se aplicada para polímeros semicristalinos (Canevarolo, 2002). Em síntese, polímeros não apresentam um ponto de fusão específico, isto é, o material se desloca de um estágio vítreo para um estágio borrachoso até amolecer o suficiente para fluir quando uma força é aplicada (Giles *et al.*, 2005).

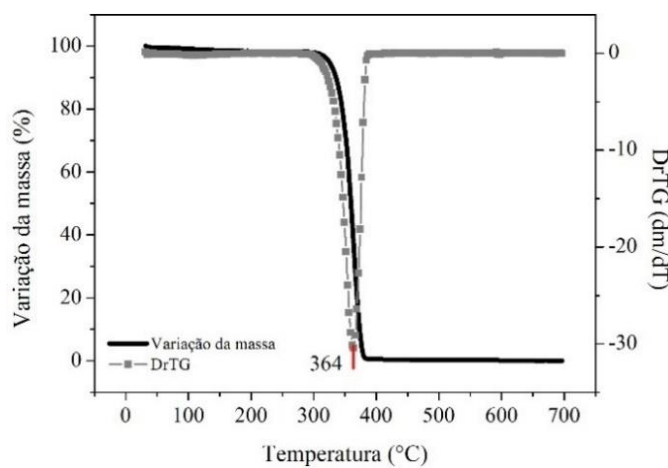
Tabela 2. Temperatura de degradação (T_d) dos filamentos avaliados.

PLA	T_d (°C)
Cinza	360
Amarelo	360
Natural A	364
Natural B	362

Como pode ser observado, os filamentos de PLA naturais degradam a temperaturas em torno de 2 a 4 graus acima dos materiais pigmentados, que por sua vez apresentaram valores de T_d semelhantes entre si (360 °C). De maneira geral as curvas de TGA obtidas, tanto para os materiais com como para os sem pigmentos, apresentam um comportamento muito próximo. Esta constatação pode ser estendida também ao analisar os materiais sobre a ótica da estrutura molecular (semicristalina ou amorfa). A Fig. 5, (a) e (b), representa respectivamente as curvas TGA, para um PLA semicristalino colorido (Amarelo), e um amorfo natural (Natural A).



(a)



(b)

Figura 5. Curvas TGA dos filamentos de PLA (a) amarelo, e (b) natural A.

Dando seguimento às respostas obtidas no processo de caracterização dos filamentos, são expostas as curvas FTIR com as composições químicas dos filamentos de PLA Amarelo e Natural A, Fig. 6 (a) e (b), respectivamente.

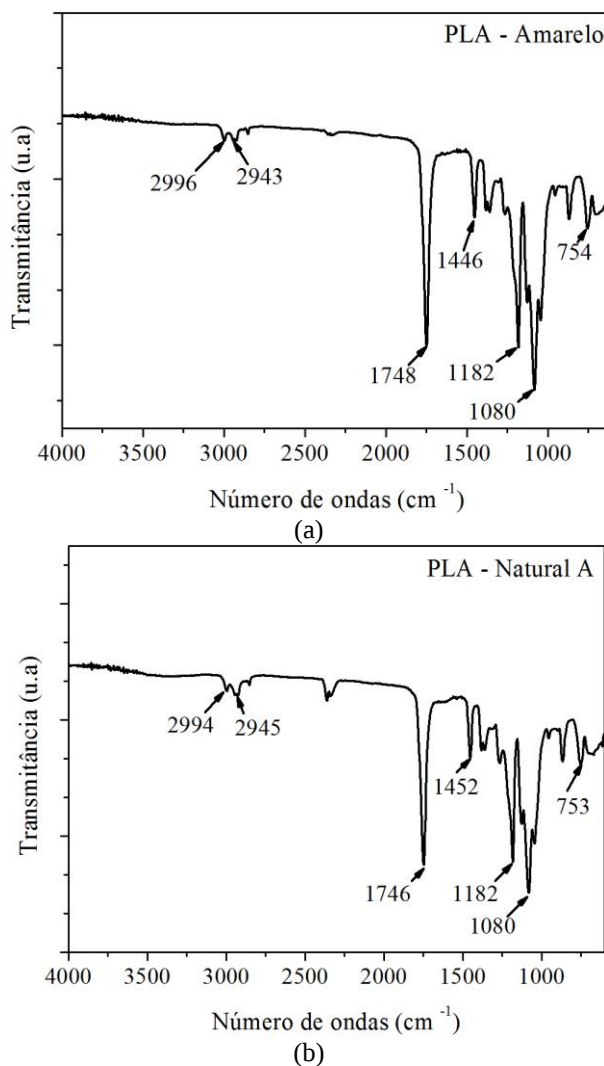


Figura 6. Curvas FTIR para os filamentos (a) amarelo, (b) Natural A.

Para auxiliar a interpretação dos dados decorrentes do ensaio de espectroscopia por infravermelho, conforme já explicitado anteriormente, foram utilizados como referência os estudos sobre a composição do PLA realizados por Chieng *et al.* (2014) e Bitencourt (2011). A Tab.3 sintetiza os principais elementos da estrutura química relacionados aos espectros resultantes da análise, com base nos estudos dos referidos autores.

Tabela 3. Relação entre o número de ondas (cm^{-1}) e o grupo funcional (Adaptado de Chieng *et al.*, 2014; Bitencourt, 2011).

Número de ondas (cm^{-1})	Grupo funcional
	Descrição / Fórmula
3000 - 2850	Estiramento -CH
1750 - 1745	Estiramento C=O
1500 - 1400	Dobramento C-H
1100 - 1000	Estiramento -C-O
1080 - 1085	Estiramento -C-O
1181	Estiramento simétrico C-O-O
800 - 754	Estiramento C-H

A última análise realizada consistiu na medição da densidade, cujos os valores médios para os materiais avaliados são apresentados no gráfico da Fig. 7. Conforme já explicitado, foram selecionados apenas dois filamentos para a análise, um colorido (Amarelo) e um natural (Natural A), com o intuito de se obter a densidade dos materiais diferentes em relação a estrutura molecular, uma vez que esta foi uma característica relevante identificada nas análises anteriores.

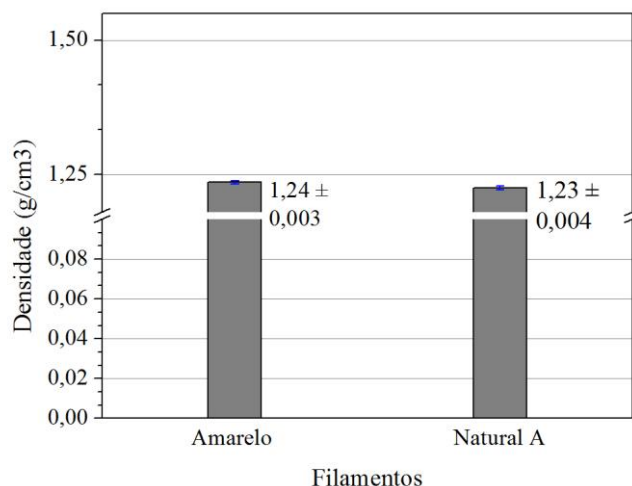


Figura 7. Densidade média dos filamentos de PLA amarelo e Natural A.

De acordo com os resultados apresentados na Fig. 7, os PLAs analisados dispõem de densidades muito próximas entre si, e em torno dos valores disponibilizados na literatura — aproximadamente 1,25 g/cm³, segundo Henton *et al.* (2005).

4. CONCLUSÃO

Os resultados do estudo mostram importantes aspectos sobre as propriedades dos materiais avaliados, fornecendo informações que contribuem para o desenvolvimento dos conhecimentos sobre os filamentos aplicados ao contexto das impressoras 3D de código aberto, e de maneira geral, a bibliografia sobre poli(ácido láctico).

A análise da composição química dos materiais corrobora com a literatura, uma vez que revelou que os filamentos avaliados são semelhantes entre si, e com os materiais avaliados por Chieng *et al.* (2014) e Bitencourt (2011), embora estes tenham sido aplicados a outro contexto que não especificamente à impressão tridimensional. O mesmo comportamento foi verificado em relação à medição da densidade.

Em relação ao aspecto térmico, os resultados foram significativos, primeiramente no sentido de identificar dois grupos de PLAs, semicristalinos e amorfos, o que de fato é importante para a etapa de parametrização no processo de impressão 3D sobretudo no que está relacionado às temperaturas de extrusão. Os materiais coloridos não sofreram a influência dos pigmentos em suas temperaturas de fusão e transição vítrea, e, portanto, considera-se que podem ser processados sobre condições semelhantes. No caso dos PLAs naturais, o denominado neste artigo Natural B, apesar de muitas semelhanças aos coloridos, termicamente apresenta diferenças que devem ser consideradas no ajuste dos parâmetros de fabricação. Sobre o Natural A, salienta-se a questão da estrutura molecular amorfa, principalmente em relação ao efeito nas características de adesão das camadas das peças resultantes do processo de impressão 3D.

Por fim, o trabalho alerta aos usuários a necessidade de acesso a informações sobre as propriedades dos materiais, e evidencia a necessidade por parte dos fornecedores em disponibilizar folhas de dados padronizadas, com as características técnicas dos filamentos, e sugestões de configuração de parâmetros de processo em função das propriedades dos materiais.

5. AGRADECIMENTOS

À CAPES por financiar o projeto de mestrado do qual os dados deste artigo fazem parte, ao Instituto Federal de Santa Catarina, em especial o Núcleo de Estudos em Manufatura Aditiva, à Universidade Federal de Santa Catarina, principalmente ao Laboratório de Materiais (LabMat) e ao Núcleo de Inovação em Moldagem e Manufatura Aditiva (NIMMA), e a Doutora Claudia Merlini pela dedicação e ajuda no processo de caracterização dos filamentos.

6. REFERÊNCIAS

- Albuquerque, A. J., 2014, “Optimización y Caracterización de Piezas de PLA Fabricadas Mediante Técnicas Aditivas”, TCC (Graduação) - Curso de Ingeniería En Tecnologías Industriales, Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.
- Barnatt, C., 2014, “3D Printing”, Second Edition, Inglaterra: Explainingthefuture.com, 306 p.
- Bitencourt, S. S., 2011, “Desenvolvimento de Biocompósitos de Poli(L-Ácido Láctico) com Serragem de Madeira”, Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), Joinville.

- Borah, S., 2014, “3D Printer Filament Length Monitor”, International Journal of Science, Technology and Society, Vol.2, No. 5, pp. 129-132.
- Brito, G. F., Agrawal, P., Araújo, E. M., Melo, T. J. de, 2012, “Tenacificação do Poli (Ácido Lático) pela Adição do Terpolímero (Etileno/Acrilato de Metila/Metacrilato de Glicidila)”, Polímeros: Ciência e Tecnologia, Vol. 22, No. 2, pp. 164-169.
- Canevarolo, S. V. Jr., 2002, “Ciência dos Polímeros – Um Texto Básico Para Tecnólogos e Engenheiros”, Ed. Artliber, São Paulo, 280 p.
- Chiang, B. W., Ibrahim, N. A., Then, Y. Y., Loo, Y. Y., 2014, “Epoxidized Vegetable Oils Plasticized Poly(lactic acid) Biocomposites: Mechanical, Thermal and Morphology Properties”, Molecules, Vol. 19, No. 10, pp. 16024-16038.
- Franchetti, S. M. M. and Marconato, J. C., 2006, “Polímeros Biodegradáveis- Uma Solução Parcial Para Diminuir a Quantidade dos Resíduos Plásticos”, Química Nova, Vol. 29, No. 4, pp. 811-816.
- Giles, H., Wagner, J., Mount III, E., 2005, “Extrusion : the definitive processing guide and handbook”, William Andrew Inc, Norwich, 542 p.
- Henton, D. E., Gruber, P., Lunt, J., and Randall, J. , 2005, “Polylactic acid technology”, In: Mohanty A.K., Misra, M., and Drzal, L.T., Natural fibers, biopolymers, and biocomposites, pp. 527-577.
- Horvath, J., 2014, “Mastering 3D printing”, Apress, 207 p.
- Kaczmarek, H. and Vukovic-Kwiatkowska, I., 2012, “Preparation and Characterization of Interpenetrating Networks Based on Polyacrylates and Poly (lactic acid)”, eXPRESS Polymer Letters, Vol. 6, No.1, pp. 78-94.
- Lamas, M. L., 2015, “Bio *Scaffolds* Poliméricos Para Construção de Estruturas Celulares”, Dissertação (Mestrado) – Engenharia Biomédica, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Lim, L.-T., Auras, R., Rubino ,M, 2008, “Processing Technologies for Poly(lactic acid)”, Progress in Polymer Science, Vol. 33, No. 8, pp. 820-852.
- Marinucci, G., 2011, “Materiais Compósitos Poliméricos – Fundamentos e Tecnologia”, Ed. Artliber, São Paulo, 333 p.
- Pallarolas, E. A. F. F., 2013, “Revisão Técnica de Processos de Manufatura Aditiva e Estudo de Configurações Para Estruturas de Impressoras Tridimensionais”, Monografia, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Santos, D. V. dos, 2011, “Estudo das Propriedades Mecânicas de Compósitos a Base de Poli(l-ácido láctico) e Nano-Hidroxiapatita Obtidos por Extrusão”, Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Santoso, S. M., Horne, B. D., Wicker, S. B., 2013, “Destroying by Creating: Exploring the Creative Destruction of 3D Printing Through Intellectual Property”.
- Santana, L., 2015, “Avaliação de uma Impressora 3D Baseada em Código Aberto na Fabricação de Peças em PLA”, Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Stephens, B., Azimi, P., El Orch, Z., Ramos, T., 2013, “Ultrafine Particle Emissions From Desktop 3D Printers”, Atmospheric Environment, Vol. 79, pp. 334-339.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

EVALUATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION AND THE THERMAL CHARACTERISTIC OF PLA FILAMENTS FOR OPEN SOURCE 3D PRINTERS

Leonardo Santana, leonardosantana29@gmail.com¹
Carlos Henrique Ahrens, chahrens@emc.ufsc.br¹
Aurélio da Costa Sabino Netto, asabino@ifsc.edu.br²
Guilherme Mariz Barra de Oliveria, guiga@emc.ufsc.br¹
Cláudia Merlini, dra.claudiamerlini@yahoo.com.br¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Florianópolis - SC

²Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Florianópolis - SC

Abstract. *The democratization of the extruded-based Addictive Manufacturing processes, motivated by the development of open source 3D printers, allowed these technologies to be applied to domestic and business environments, besides being desired in the academic context because of its flexibility and wider possibilities of adaptations. Among the materials that are being used for printing with these machines are the Polylactic Acid (PLA), available in a myriad of colors and suppliers. PLA filaments are very popular, specially within 3D printing enthusiasts, since they are much simpler to handle than other available materials. Nevertheless, little is known about this material's properties, which makes this subject interesting for academic researches, a field where technical knowledge about feedstock materials is of great relevance. This paper evaluates PLA filaments with different colors, including the ones commercially defined as natural. For the filaments' characterization three experiments were conducted: Differential Scanning Calorimetry (DSC), Thermogravimetric Analysis (TGA), and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR); the two initial tests aimed to obtain the melt, glass transition and degradation temperatures and the last test was made to identify the main elements of the chemical composition of the used materials. A fourth analysis was carried, using only two of the filaments — a pigmented one and a natural one —, in order to measure its density and allow comparisons with literature based values. Results show that pigmented and natural filaments have very close glass transition temperatures; the degradation temperature of the filaments was also very close. The melt temperature analysis revealed two distinct groups of materials: semi-crystalline with melt temperature variation and amorphous filaments. The chemical composition investigation did not show significant differences between filaments, even between the pigmented and the natural ones. Finally, the density measurement show similar values between all samples, all according to bibliographical references.*

Keywords: 3D printing, PLA, chemical composition, temperature, density.