

RECICLAGEM DE TAMPINHAS PLÁSTICAS VISANDO PRODUÇÃO DE FILAMENTOS PARA IMPRESSÃO 3D

Noeli Sellin – noeli.sellin@univille.br

Universidade da Região de Joinville, Programa de Pós-graduação em Design e em Engenharia de Processos. Rua Paulo Malschitzki, 10, Zona Industrial Norte, CEP 89219 070 – Joinville – SC

Gustavo de Oliveira Schulz – gustavo.schulz@univille.br

Universidade da Região de Joinville, Departamento de Engenharia Química

Beatriz Fraile Miranda – beatrizmiranda@univille.br

Universidade da Região de Joinville, Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária

Anna Luiza Moraes de Sá Cavalcanti – anna.cavalcanti08@gmail.com

Universidade da Região de Joinville, Programa de Pós-graduação em Design

Danilo Corrêa Silva – danilo.correa@univille.br

Universidade da Região de Joinville, Programa de Pós-graduação em Design

Resumo: O sistema de produção e consumo atual tem gerado um volume de plásticos pós-consumo significativo, que são descartados no meio ambiente, ocasionando impactos ambientais severos. Diante disso, alternativas visando à reciclagem desses resíduos são essenciais para a preservação dos ecossistemas. A produção de filamentos para impressão 3D é uma opção alinhada à economia circular, pois resíduos poliméricos podem ser utilizados como matéria-prima. Neste contexto, neste trabalho, tampinhas de garrafas plásticas pós-consumo foram previamente separadas por tipo de resina e cores, limpas, secas, trituradas e então transformadas em filamentos pelo processo de extrusão. Os resíduos triturados e os filamentos produzidos foram caracterizados por análises térmicas, químicas e de fluidez para avaliação das suas propriedades. Testes em impressora 3D foram realizados com os filamentos. Os resultados indicam a possibilidade da reinserção dos resíduos avaliados na cadeia produtiva por meio do reprocessamento (extrusão) para produção de filamentos, promovendo alternativas sustentáveis no tratamento de resíduos poliméricos.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Reciclagem de polímeros, Impressão 3D



RECYCLING OF PLASTIC CAPS TO PRODUCE FILAMENTS FOR 3D PRINTING

Abstract: *The current production and consumption system has generated a significant volume of post-consumer plastics, which are discarded into the environment, causing severe environmental impacts. Therefore, alternatives aimed at recycling this waste are essential for the preservation of ecosystems. The production of filaments for 3D printing is an option aligned with the circular economy, as polymeric waste can be used as raw material. In this context, in this work, post-consumer plastic bottle caps were previously separated by type of resin and colors, cleaned, dried, crushed and then transformed into filaments through the extrusion process. The crushed waste and filaments produced were characterized by thermal, chemical and fluidity analyzes to evaluate their properties. 3D printer tests were carried out with the filaments. The results indicate the possibility of reinserting the evaluated waste into the production chain through reprocessing by extrusion to produce filaments, promoting sustainable alternatives in the treatment of polymeric waste.*

Keywords: *Sustainability, Polymer recycling, 3D printing*

1. INTRODUÇÃO

A extração de recursos e a emissão de substâncias no meio ambiente se configuram como as principais formas de impacto ambiental no sistema de produção e consumo, que é composto pelo descarte de uma quantidade insustentável de resíduos no meio ambiente (MAZINI & VEZZOLI, 2016). O volume de resíduos poliméricos aumentou consideravelmente no atual modelo produtivo, uma vez que, visa à máxima eficiência econômica. Esse modelo econômico (economia linear) é baseado nos processos de extração, transformação e descarte da matéria-prima (NERY & FREIRE, 2017). Os materiais poliméricos são amplamente utilizados, devido às suas propriedades mecânicas e físicas e seu baixo custo de produção. Apesar dos benefícios promovidos por esses materiais, muitos problemas também são ocasionados por eles. A ampla presença do material em produtos do nosso cotidiano, associada à má gestão dos resíduos, têm contribuído para uma poluição sem precedentes no meio ambiente, principalmente, porque quantidades substanciais de plásticos descartados em fim de vida estão se acumulando como detritos em aterros sanitários e em habitats naturais em todo o mundo.

Para gerenciar de forma sustentável os recursos, a população deve ser usada como um impulsionador no desenvolvimento de sistemas de reciclagem. Sem educação e conscientização, tanto dos consumidores como dos produtores, o desenvolvimento sustentável de qualquer sistema não é possível (ROSSIGNOLI, 2016; MWANZAA & MBOHWAB, 2017). Além disso, as organizações devem enfrentar a poluição do plástico ao longo de seu ciclo de vida. Diante disso, a reciclagem de plásticos pós-consumo surge alinhada aos princípios da economia circular e uma das formas de aproveitamento destes materiais seria como matéria-prima para a produção de filamentos para impressão 3D (ROSA, 2022; SANTOS, 2019; BREITENBACH & STOLASKI, 2018). A Manufatura Aditiva é um processo que opera diversas ferramentas, um dos modelos é a impressão 3D, cujos processos são utilizados na criação de protótipos e peças finais, por meio de programas de auxílio em projetos, como por exemplo, o Computer Aided Design (CAD), que desenvolvem objetos em 3D. Os objetos são criados a partir da sobreposição progressiva de um material em camadas, sendo os filamentos de materiais poliméricos os mais usados, tais como: polilático (PLA), acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), polietileno tereftalato modificado com glicol (PETG) e o Nylon (poliamida) (BESCO et al, 2017).



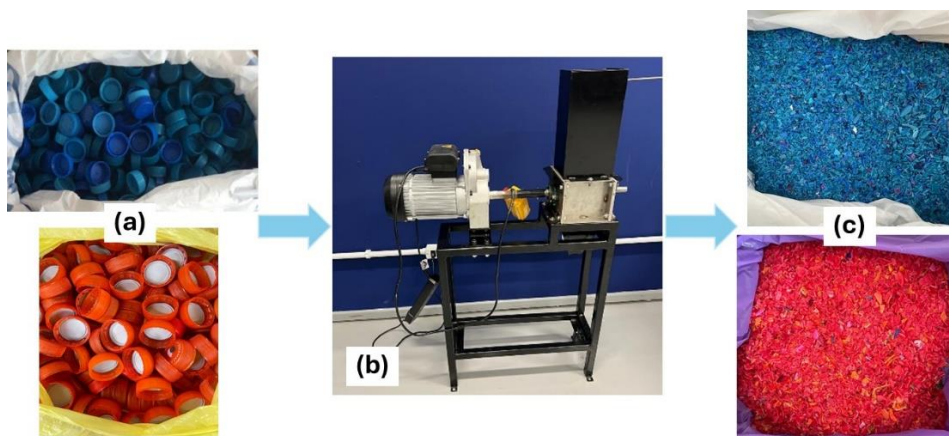
Segundo Breitenbach e Stolaski (2018), os filamentos são responsáveis pelo maior custo agregado no uso desta tecnologia. Desta forma, a utilização de polímeros recicláveis para produção de filamentos 3D podem contribuir para a redução dos custos e popularização da tecnologia, além de viabilizar a continuidade da vida útil desses materiais e a redução dos impactos ambientais associados ao descarte dos mesmos no meio ambiente. Diante disto, esse trabalho teve como objetivo avaliar a reciclagem de plásticos pós-consumo (tampinhas de garrafas e de recipientes plásticos) para uso na produção de filamentos para impressão 3D.

2. METODOLOGIA

2.1 Coleta e Preparação dos Resíduos Poliméricos

Os resíduos poliméricos utilizados no estudo foram tampinhas de garrafas e de recipientes de diferentes tipos e origens. A coleta dos resíduos foi realizada por estudantes de escolas municipais de Joinville/SC, que fizeram parte de um projeto denominado “Espaço Maker: Design e Educação para o Desenvolvimento Sustentável”. As tampinhas foram identificadas pelo código da reciclagem, quando presente e separadas com base no tipo de resina polimérica e pela cor. Pelo código da reciclagem, foram identificadas tampinhas de polipropileno (PP) e polietileno de alta densidade (PEAD) e foram selecionadas as tampinhas nas cores azul e vermelha. Após a separação, as tampinhas foram lavadas com água e detergente neutro para remover sujidades e deixadas secar em temperatura ambiente. Em seguida, foram trituradas em um moinho de facas pertencente ao Laboratório Maker e, posteriormente, secas em estufa à vácuo, marca Nova Ética, modelo MAT-0001, a 105 °C e por 1 hora. Na Figura 1 estão apresentadas fotos das tampinhas antes e após a trituração.

Figura 1 – Fotos (a) das tampinhas, (b) do moinho e (c) das tampinhas trituradas



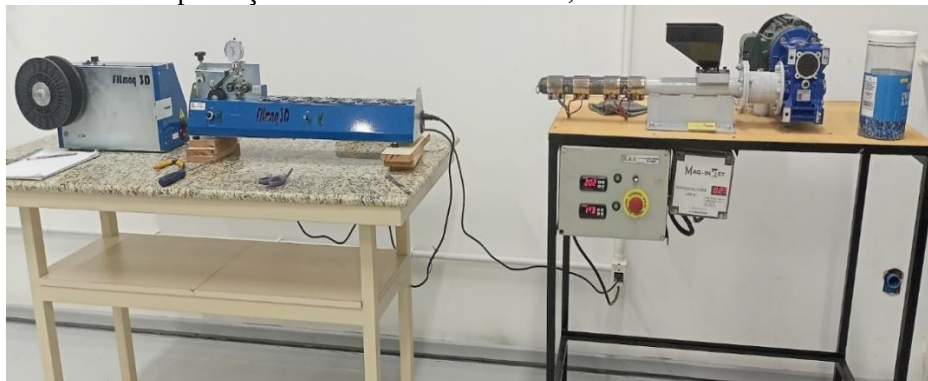
2.2 Produção dos Filamentos

Os filamentos foram produzidos pelo processo de extrusão utilizando uma extrusora da marca Maq-Injet, modelo Lab 01, equipada com uma matriz com diâmetro de 1,75 mm na saída. A temperatura da extrusora foi ajustada em diferentes zonas ao longo do barril, variando de 185 °C na zona de alimentação até 195 °C na zona de extrusão final, conforme estudo de Herianto et al. (2020).



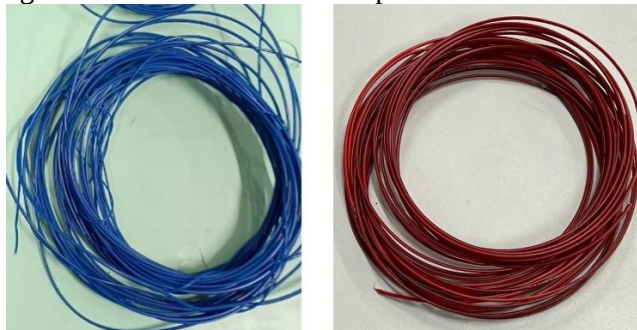
Durante a extrusão, os polímeros triturados foram alimentados continuamente no funil da extrusora, que operou com uma velocidade de rotação do parafuso entre 30 e 40 rpm. O material fundido foi empurrado através da matriz, formando o filamento contínuo, o qual foi direcionado para a máquina tracionadora Filmaq3D, passando por um sistema de ventilação para resfriamento e de bobinamento. As velocidades da tracionadora e da bobinadeira foram ajustadas manualmente para controlar a tensão e o diâmetro do filamento. O sistema completo de produção do filamento está ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Sistema de produção do filamento: extrusora, resfriadora/tracionadora e enroladora



O diâmetro do filamento foi monitorado por meio de um medidor de espessura acoplado à tracionadora, permitindo ajustes imediatos para manter sua uniformidade. Os filamentos produzidos apresentaram diâmetro variando de 1,45 a 1,75 mm. Na Figura 3 estão apresentadas fotos dos filamentos.

Figura 3 – Fotos dos filamentos produzidos na extrusora



2.3 Caracterização dos Resíduos Poliméricos e dos Filamentos

Amostras de resíduos triturados e dos filamentos produzidos foram caracterizadas pelas análises descritas a seguir para avaliação das propriedades químicas, térmicas e de fluidez.

Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Para avaliar as alterações nos grupos químicos das amostras antes após extrusão, foi utilizado um espectrofotômetro PerkinElmer Spectrum, modelo Frontier FT-IR, equipado com acessório DATR com cristal de diamante/ZnSe para Reflexão Atenuada Total (ATR). Foram realizadas 32 varreduras, com resolução de 4 cm⁻¹ e faixa de varredura de 4000 a 650 cm⁻¹.

Análise Termogravimétrica (TGA)

Esta análise foi empregada para avaliar o comportamento térmico das amostras, a perda de massa e as temperaturas de decomposição térmica. Foi utilizado um analisador térmico TGA Q50, da TA Instruments, faixa de aquecimento de 20 °C até 800 °C, taxa de 10 °C/min, em cadinhos de platina e sob um fluxo contínuo de gás nitrogênio de 60 mL/min.

Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)

Esta técnica foi empregada para avaliação das propriedades e eventos térmicos das amostras. Foi utilizado um equipamento DSC Q20 da TA Instruments, equipado com um sistema de resfriamento do tipo LNCA (nitrogênio líquido). As análises foram efetuadas considerando um ciclo térmico com aquecimento inicial de 20 °C a 250 °C a 20 °C/min, seguido por uma etapa isotérmica de 3 min a 250 °C, resfriamento até 20 °C a 10 °C/min, e um segundo aquecimento até 250 °C a 10 °C/min.

Índice de Fluidez (IF)

O Índice de Fluidez das amostras foi determinado em um Plastrômetro da Maqtest. Foram utilizadas 6 g de cada amostra, pistão de 2,160 kg e temperatura de 230 °C, conforme procedimentos da norma ASTM D1238 (2000) para materiais de PP e PEAD. O intervalo de corte das amostras foi entre 8 e 10 s.

2.4 Impressão 3D

A Impressora 3D FDM CR-5 Pro H da Creality (Figura 4) foi utilizada para a realização da impressão 3D utilizando os filamentos produzidos a partir dos resíduos poliméricos (tampinhas de PP e de misturas de PEAD e PP). O diâmetro do bico da impressora é de 0,4 mm, a temperatura da mesa adotada foi de 70 °C e a temperatura de extrusão de 240 °C. O modelo de teste foi criado no AutoCAD e configurado no PrusaSlicer para impressão.

Figura 4 – Impressora 3D FDM CR-5 Pro H da Creality



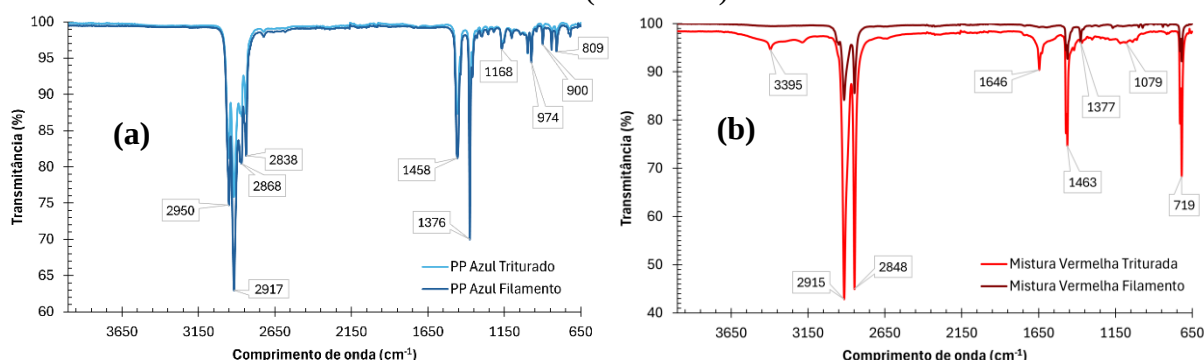
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação dos Grupos Químicos

Na Figura 5 estão apresentados os espectros FTIR-ATR das amostras azuis e vermelhas antes (trituradas) e após a extrusão (filamentos).



Figura 5 - Espectros FTIR-ATR das amostras (a) azuis e (b) vermelhas, antes (trituradas) e após a extrusão (filamentos).



Verifica-se nos espectros das amostras azuis, Figura 5(a), bandas de absorção características das ligações C-H do polipropileno (PP), incluindo o estiramento dos grupos CH, CH₂ e CH₃ entre 2838 e 2950 cm⁻¹. As deformações angulares dos grupos CH₃ aparecem em 1376 e 1458 cm⁻¹, enquanto o estiramento das ligações C-C é identificado em 1168 cm⁻¹. A deformação angular dos grupos C-H é visível na banda em 900 cm⁻¹. Essas bandas são características do PP, conforme relatado por Carvalho et al. (2017), indicando que as tampinhas de cor azul são todas produzidas de resina de PP.

Da Figura 5(b), referente às amostras de cor vermelha, também é possível identificar grupos químicos associados ao PP, como as bandas de estiramento das ligações C-H de grupos CH₂ e CH₃ entre 2915 e 2848 cm⁻¹ e as deformações angulares de grupos CH₃ em 1377 cm⁻¹ e 1463 cm⁻¹. Também, verifica-se, a presença de uma banda em 719 cm⁻¹, típica das deformações angulares fora do plano das ligações C-H em polietileno de alta densidade (PEAD), confirmando que as amostras vermelhas são uma mistura de PP e PEAD. A maioria das tampinhas vermelhas tinha o código da reciclagem de PEAD, mas algumas não. Mesmo assim, optou-se por fazer os testes com a mistura para verificar o comportamento na produção dos filamentos.

De acordo com Torres et al. (2012), o espectro do PEAD é caracterizado por bandas de absorção específicas das ligações C-H do tipo sp³, incluindo o estiramento entre 2950 e 2850 cm⁻¹, deformações angulares entre 1350 e 1450 cm⁻¹ e torção ou *rocking* em torno de 700 cm⁻¹. No espectro dos resíduos de cor vermelha, a banda em 719 cm⁻¹ reforça a presença de PEAD, enquanto as bandas nas regiões de 2915 cm⁻¹ e 2848 cm⁻¹ são características tanto do PEAD quanto do PP. As bandas em 1646 cm⁻¹ e 1079 cm⁻¹, associadas a ligações C=O e C-O-C, respectivamente, sugere a presença de material usado como vedante em algumas tampinhas, como o acetato de polivinila (PVA), que pode ter permanecido em algumas tampinhas.

Adicionalmente, a banda em 3395 cm⁻¹ sugere a presença de grupos hidroxila (OH), indicando possível umidade residual na amostra (mistura de PEAD e PP), um fenômeno observado também por Torres et al. (2012).

3.2. Avaliação das propriedades térmicas e fluidez das amostras

Na Figura 6 estão apresentadas as curvas de TGA/DTG das amostras trituradas e dos filamentos nas cores azul e vermelho e na Tabela 1 as informações obtidas das respectivas curvas.



Figura 6 – Curvas de TGA/DTG das amostras

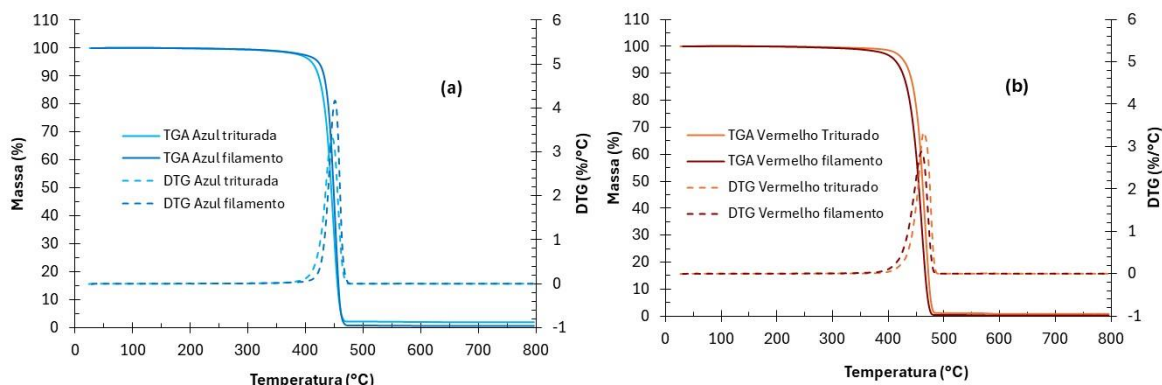


Tabela 1 – Valores obtidos por TGA/DTG das amostras

Amostra	Temperatura inicial de decomposição (°C)	Temperatura máxima de decomposição (°C)	Perda de massa (%)
Azul triturada	430	448	97,4
Azul filamento	437	451	98,7
Vermelho triturada	446	464	98,1
Vermelho filamento	438	460	98,4

Verifica-se das curvas de TGA/DTG (Figura 6), que todas as amostras apresentaram um único estágio de decomposição térmica, apresentando baixos teores de resíduos, de 1,3 a 2,6%, ao final da análise em 800 °C. De acordo com estudos da literatura, o PP apresenta temperatura de início de decomposição em torno de 360 °C e de término em torno de 500 °C (BAYER e RIEGEL, 2009), enquanto que para o polietileno de alta densidade (PEAD) são em torno de 420 °C e 500 °C, respectivamente (FIRMINO et al., 2017). Na Tabela 1, observa-se para as amostras azuis (PP) um leve aumento das temperaturas inicial e máxima de decomposição térmica após o processo de reciclagem por extrusão (produção dos filamentos), enquanto nas amostras vermelhas (mistura de PEAD e PP), houve diminuição. Com relação ao percentual de perda de massa, não houve variação significativa para ambas as amostras após a extrusão. Mesmo com essas variações, os resultados de TGA/DTG indicam que não houve degradação térmica das amostras após a extrusão (dos filamentos), corroborando com os resultados de FTIR-ATR.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados de temperatura de fusão (T_f), temperatura de cristalização (T_c), graus de cristalinidade (x_c) obtidos das curvas de DSC e de Índice de Fluidez (IF) das amostras trituradas e recicladas por extrusão (filamentos).

Tabela 2 – DSC e Índice de Fluidez das amostras

Amostras	T_f (°C)	T_c (°C)	ΔH_f (J/g)	x_c (%)	IF (g/10min)
Azul triturada	164	130	86,4	52	17,91 ± 5,30
Azul filamento	163	125	79,2	48	21,64 ± 0,56
Vermelho triturada	164	121	85,1	51	8,58 ± 0,39
Vermelho filamento	130-164	117	115,6	40	5,65 ± 0,08



Para a determinação do grau de cristalinidade, realizou-se a divisão da entalpia de fusão (ΔH_f) das amostras pela entalpia de fusão do material 100% cristalino, adotando 291 J/g para o PEAD (FIRMINO et al, 2017) e 165 J/g para o PP (SPADETTI et al, 2017), respectivamente. O PP possui temperatura de fusão em torno de 165 °C e o PEAD em torno de 135 °C (MANRICH et al, 2007).

Observa-se da Tabela 2, que a amostra azul triturada (antes da extrusão) apresentou temperatura de fusão de 164 °C, característica de PP, corroborando com os resultados de FTIR-ATR. Após a extrusão das amostras azuis (produção do filamento), não houve alterações significativas na temperatura de fusão, enquanto a temperatura de cristalização e o grau de cristalização apresentaram leve diminuição (7,7%), porém, não ocasionaram variação significativa no índice de fluidez dessas amostras.

A amostra vermelha triturada apresentou um único pico de fusão em 164 °C, característico de PP, enquanto o filamento vermelho (após extrusão) apresentou dois picos de fusão, um em 130 °C e outro em 164 °C, característicos de PEAD e PP, respectivamente, sendo a intensidade do pico em 130 °C bem maior do que em 165 °C, indicando maior percentual de PEAD na amostra. Assim como para as amostras azuis, não houve variação significativa nas temperaturas de fusão e de cristalização das amostras vermelhas após extrusão. O grau de cristalização das amostras vermelhas diminuiu após a extrusão, em 21,6%, influenciando no índice de fluidez, que diminuiu 34%.

Os resultados de DSC evidenciam que as amostras de mistura de PEAD (maior parte) e PP foram mais suscetíveis a um novo ciclo de processamento, o que pode ter ocorrido, devido à temperatura usada na extrusora na produção dos filamentos, embora não tenha sido observada degradação termoxidativa por FTIR-ATR.

A reciclagem de PP e PEAD é bastante comum pelas indústrias. Estudos demonstram que PP apresenta boa estabilidade térmica, química e mecânica até cinco ciclos de reprocessamento por extrusão e empregando proporções em massa de 20, 30 e 40 % de misturado ao mesmo polímero virgem (AMARAL et al., 2019). O PEAD apresenta boa estabilidade térmica em ciclos de processamento, porém menor que o PP (COSTA et al., 2016), dependendo dos tipos de resinas avaliadas.

3.3. Impressão 3D e Avaliação dos Filamentos

Durante os testes de impressão 3D com os filamentos obtidos da reciclagem das tampinhas azuis e vermelhas (Figura 3), observou-se que, apesar de os filamentos serem extrudados corretamente e com fluidez adequada, houve uma significativa dificuldade na adesão das primeiras camadas à superfície da mesa de impressão. Este problema foi identificado como a principal limitação para a continuidade dos testes de impressão, devido ao descolamento das peças durante o processo.

Batistella e Marques (2023) também observaram em seus estudos problemas com a falta de adesão de filamento de PP reciclado e recomendam a utilização de colas específicas para a adesão na mesa de impressão quando se utiliza filamento de PP. A empresa Braskem (2020), que comercializa filamentos de PP virgem para a impressão também sugere a utilização de superfícies específicas na mesa de impressão, como películas de polipropileno ou o uso de colas especialmente formuladas para esse tipo de polímero. Segundo a empresa, tais soluções ajudam a criar um ambiente mais propício para a fixação das camadas iniciais, evitando empenamento e descolamento das primeiras camadas de impressão da peça. As poliolefinas, como PP e PEAD apresentam baixa energia de superfície (SELLIN & CAMPOS, 2003), por isso apresentam dificuldade de adesão nas mesas de impressoras 3D, diferente dos polímeros usuais como ABS, PLA e PETG usados como filamentos.

A análise dos resultados indica que a aquisição de películas específicas para PP e PEAD é uma etapa necessária para melhorar o desempenho da adesão das primeiras camadas e impressão da



peça. Alternativamente, a aplicação de adesivos líquidos apropriados para poliolefinas também poderia ser uma abordagem eficaz para aumentar a adesão, conforme recomendado pela Braskem. No entanto, no presente estudo não foi possível adquirir tais adesivos.

De forma complementar, a calibração cuidadosa da temperatura da mesa de impressão e a modulação de parâmetros como a velocidade de impressão e a altura da primeira camada são ajustes adicionais que podem ser explorados para otimizar os resultados em testes de impressão futuros com os filamentos produzidos dos polímeros reciclados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou a viabilidade da reciclagem de resíduos poliméricos pós-consumo para a produção de filamentos de impressão 3D, alinhada aos princípios da economia circular. Os resultados das análises químicas (FTIR-ATR), térmicas (TGA e DSC) e índice de fluidez indicaram que os polímeros reciclados, tanto polipropileno (PP) quanto polietileno de alta densidade (PEAD) mantêm características adequadas para o reprocessamento, com variações controláveis nas propriedades após a extrusão, principalmente, com relação às amostras à base de PEAD. A falta de adesão dos filamentos de PP e misturas de PEAD e PP na mesa de impressão impediu a impressão da peça por completo, devido ao deslocamento do material já nas primeiras camadas. Ajustes na preparação da superfície de impressão e na formulação de adesivos podem mitigar tais problemas. A reciclagem de resíduos poliméricos e sua utilização como filamentos para impressão 3D oferece uma alternativa sustentável para a gestão de resíduos plásticos. No entanto, estudos adicionais são necessários para otimizar os parâmetros de impressão e ampliar as aplicações desses filamentos reciclados no mercado, promovendo maior inserção dos polímeros pós-consumo na cadeia produtiva.

O estudo contribui para as metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), principalmente para o ODS 12 – Consumo e produção responsáveis e para as metas 12.4 “alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente” e 12.5 “reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso” (NAÇÕES UNIDAS, 2024).

Agradecimentos: FAPESC, CNPq, FAP/Univille

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. B. S.; RIBEIRO, M. V. O. B.; MASSARANDUBA, P. V. P.; ALMEIDA, S. S.; JORGE, W. Z. **Estudo do reaproveitamento de resíduos de polipropileno na indústria de baldes**. 2019. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia de Materiais, Centro Universitário SENAI – Cimatec.
- BATISTELLA, T.; MARQUES, A. C. **Sustentabilidade e materiais: Viabilidade da produção de filamentos para impressão 3D através da utilização de polipropileno reciclado**. In: XI ENSUS– ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO, UFSC, Florianópolis, SC, jun 2023.
- BAYER, D. R.; RIEGEL, I. C. **Estudo e caracterização de perfis fabricados a partir de polipropileno reciclado e casca de arroz**. In: 10º. CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, Foz do Iguaçu, PR, out. 2009.
- BESKO, M.; BILYK, C.; SIEBEN, P. G. Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. **Gestão, Tecnologia e Inovação**, v. 1, n. 3, 2017.



BRASKEM S.A. **Filamento de polipropileno: guia de impressão**. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/portal/Principal/arquivos/impressao-3d-produtos/PT%20-%20Braskem%20Polypropylene%20Filament%20-%20Printing%20Guide%20Final%20-%20Sept2020_Rev02.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2024.

BREITENBACH, E. R.; STOLASKI, L. Dispositivo para geração de filamento para impressão 3D a partir de materiais reciclados, **Acta Ambiental Catarinense**, v. 15, n. 1/2, 2018.

CARVALHO, G. M. X.; MANSUR, H. S.; VASCONCELOS, W. L.; ORÉFICE, R. L. Obtenção de compósitos de resíduos de ardósia e polipropileno, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 2, p. 98-103, 2007.

COSTA; H. M.; RAMOS, V. D.; ANDRADE, M. C.; NUNES, P. S. R. Q. Análise térmica e propriedades mecânicas de resíduos de polietileno de alta densidade (PEAD), **Polímeros**, 26 (número especial), 75-81, 2016.

FIRMINO, H. C. T.; CHAGAS, T. F.; MELO, P. M. A. Caracterização de compósitos particulados de polietileno de alta densidade/pó de concha de molusco, **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 22, n. 2, 2017.

HERIANTO, S.; ATSANI, I. S.; MASTRISISWADI, H. Recycled Polypropylene Filament for 3D Printer: Extrusion Process Parameter Optimization. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Yogyakarta, v. 722, p. 012022, 2020.

MANRICH, S.; ROSALINI, A.C.; FRATTINI, C. **Identificação de plásticos: uma ferramenta para reciclagem**. 2ª. ed. São Carlos: EDUFSCAR, 2007.

MANZINI, C.; VEZOLLI, C. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2016.

MWANZAA, B.G; MBOHWAB, C. Drivers to Sustainable Plastic Solid Waste Recycling: A Review. **Procedia Manufacturing**, v. 8, 649-656, 2017.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>>. Acesso em set. 2024.

NERY, S.M.; FREIRE, A.S. **A Economia Circular e o cenário no Brasil e na Europa**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 372017, Joinville. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_248_434_33222.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2024.

ROSA, M. E. R. C. **Desenvolvimento de produto educativo para crianças com transtorno do espectro autista a partir da reciclagem de resíduos poliméricos gerados por impressão 3D**. Campina Grande, RN, 105p, 2022. Tese (Doutorado), Universidade de Campina Grande.

SANTOS, L. M. **Viabilidade da técnica da aplicação de polímeros termoplásticos reciclados pela impressão 3D**. Goiânia, GO, 113-120p, 2019. Dissertação (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

SELLIN, N.; CAMPOS, J. S. C. Surface composition analysis of PP films treated by corona discharge, **Materials Research**, v. 6, p. 163-166, 2003.

SPADETTI, C.; SILVA FILHO, E. A.; SENA, G. L. ; MELO, C. V. P. Propriedades térmicas e mecânicas dos compósitos de Polipropileno pós-consumo reforçados com fibras de celulose Thermal and mechanical properties of post-consumer polypropylene composites reinforced with cellulose fibers, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 27, p.84-90, 2017.

TORRES, A. A. U.; D'ALMEIDA, J. R. M.; HABAS J. P. Avaliação do efeito de um óleo parafínico sobre o comportamento físico-químico de tubulações de polietileno de alta densidade, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. especial, p. 331-338, 2010.

