



## Sustentabilidade e materiais: Viabilidade da produção de filamentos para impressão 3D através da utilização de polipropileno reciclado

### *Viability production of filaments for 3D printing using recycled polypropylene*

**Tauana Batistella, bacharel em Engenharia de Materiais, UNISINOS**

tausbatistella@hotmail.com

**André Canal Marques, Dr., Coordenador Design de Produto, UNISINOS**

andrecm@unisinos.br

#### Resumo

Devido ao alto consumo de materiais poliméricos, ao descarte inadequado e falta de opções após vida útil, a reciclagem se faz necessária. O foco desta pesquisa foi a reciclagem mecânica do polipropileno (PP) oriundo de potes de iogurte. Como alternativa para reutilizar e agregar valor pós consumo a este material, o objetivo foi avaliar o material reciclado para produção de filamentos para impressão 3D. Para isto foram realizadas diversas etapas, tendo nesse artigo o relato destas: análises físico-químicas índice de fluidez (MFI) e análise termogravimétrica (TGA); fabricação dos filamentos por extrusão; avaliação do controle de homogeneidade do filamento; impressão 3D de corpos de prova; ensaio de tração e microscopia ótica. Os resultados foram comparados com a matéria-prima PP comercial e um filamento comercial. Foi possível realizar todas as etapas desta pesquisa apresentando viabilidade de estudos em relação a reciclagem do polipropileno.

**Palavras-chave:** Polipropileno; reciclagem; filamentos; impressão 3D.

#### Abstract

*Due to the high consumption of polymeric materials, inadequate disposal, and lack of options after their useful life, recycling is necessary. The focus of this research was the mechanical recycling of polypropylene (PP) from yogurt containers. As an alternative to reusing and adding post-consumer value to this material, the objective was to evaluate the recycled material for the production of filaments for 3D printing. Several stages were carried out for this purpose, with this paper reporting on: physical-chemical analysis of melt flow index (MFI) and thermogravimetric analysis (TGA); filament manufacturing by extrusion; evaluation of filament homogeneity control; 3D printing of test specimens; tensile testing, and optical microscopy. The results were compared to the commercial PP raw material and a commercial filament. All stages of this research were successfully completed, demonstrating the feasibility of studies on the recycling of polypropylene.*

**Keywords:** Polypropylene; recycling; filaments; 3D printing.

#### 1. Introdução

Com o crescimento populacional, há também o crescimento do consumo de materiais plásticos, podendo aumentar a geração de lixo e problemas ambientais, assim como redução de recursos naturais. O plástico corresponde a cerca de 80% do resíduo encontrado em ambiente marinho, e suas principais fontes poluentes são os resíduos domésticos, industrial, portuário e agrícola (ISLAM; TANAKA, 2003). Segundo Guimarães, Lugon e Neto (2020), no ano de 2017 foram reciclados cerca de 17% de todo plástico produzido no mundo. O baixo número de reciclagem de materiais plásticos, está ligado ao descarte incorreto destes materiais, e ao fato que os processos de fusão e remoldagem na reciclagem podem diminuir as propriedades mecânicas do material. Desenvolver soluções para este problema se torna essencial, como aumentar o ciclo de vida de um material, retornando-o para o mercado consumidor através da reciclagem, fabricando um novo produto, assim, gerando, criando conscientização de consumo e descarte de materiais, contribuindo para a preservação do meio ambiente. Devido ao alta consumo e geração de resíduos plásticos, alternativas para o reprocessamento destes materiais se tornam atrativas.

A partir deste cenário, de grandes quantidades de plásticos descartados, e a possibilidade de poluição ambiental gerada pelo descarte inadequado, como alternativa para a reduzir o volume destes materiais, a logística reversa apresenta uma forma de devolver estes materiais ao meio industrial, através da reciclagem e aplicação em um novo produto. Existem inúmeras pesquisas para desenvolver produtos plásticos reciclados, e uma delas é o uso de filamentos reciclados, para o uso em impressoras 3D de modelo FDM, que fabricam peças a partir de filamentos poliméricos, e estes podem ser substituídos por filamentos reciclados. Este trabalho teve como objetivo apresentar uma alternativa para o resíduo plástico, com ênfase na reciclagem do polipropileno, oriundo de itens reciclados em geral. O processo de caracterização química e física deste material é de extrema importância, pois assim pode-se identificar propriedades necessárias para a reutilização. Como alternativa para colocar este material reciclado, como aplicação em um produto, este trabalho apresenta a possibilidade de utilização de um filamento de polipropileno reciclado na produção de peças 3D através do uso da tecnologia de impressão 3D, especificamente para impressoras do modelo FDM.

#### 1. Revisão da literatura

Apresenta-se aqui os principais tópicos de revisão de literatura.

##### 1.1 Reciclagem de embalagens de PP

Segundo dados do WWF 2019, o Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico do mundo, gerando 11.355.220 milhões de toneladas por ano, mais de 10,3 milhões foram coletadas (91%), e apenas 145 mil toneladas foram efetivamente recicladas (1,28%). No ano de 2020, 72% da produção de plásticos reciclados no país foram de origem no resíduo pós-consumo, enquanto 28% foram de resíduo pós-industrial. Em 2018, o plástico pós-consumo representava 69% das resinas recicladas. No total, foram fabricadas 1,2 milhão de toneladas de resinas recicladas em 2020. Entre as 884 mil toneladas de resinas pós-consumo recicladas

no ano passado, 41,4% foram de PET, seguidas por PEAD (19%), PP (16,7%) e PEBD/PELBD (16,1%). Em 2019, os índices foram bem parecidos: 42% PET, 18,2% PEAD, 16,5% PEBD/PELBD e 15,8% PP (ABIPLAST, 2020).

A conscientização do consumidor sobre o curto ciclo de vida das embalagens de polímeros está crescendo constantemente. Consequentemente, o interesse na reutilização e reciclagem efetiva dessa fração de resíduos está crescendo. A Comissão Europeia estabeleceu como uma de suas principais metas ambientais reciclar 75% de todas as embalagens e 55% de todos os resíduos de embalagens plásticas até 2030 (EUROPEAN COMMISSION, 2018). Os fluxos de resíduos de polímeros de embalagens geralmente são fluxos mistos, ou seja, podem consistir em diferentes polímeros ou incluir outras impurezas. Por exemplo, um dos plásticos misturados mais onipresentes de bandejas de alimentos multicamadas é tipicamente uma mistura de polipropileno (PP) e poli (tereftalato de etileno) (PET) (KETS; DELVA; RAGAERT, 2019).

As aplicações do polipropileno reciclado, se encontram em várias áreas. Estudos como a utilização de PP reciclado para a produção de para-choques de carros, pelo método de injeção, são satisfatórios, quando utilizado 30% de material reciclado junto com o material virgem (FERNANDES, DOMINGUES, 2007). A utilização de PP reciclado de garrafas de água, foi usado para a elaboração de placas solares juntamente com um aditivo, moldadas por compressão. A utilização de um compósito de PP reciclado mais aditivo, demonstrou bons resultados em relação a absorção de calor nas placas (MASSULO; RODRIGUES; MAHLAMANN, 2016).

### 1.1 Impressão 3D

Segundo Gibson, Rose e Stucker (2009), a impressão 3D é um processo aditivo, com a criação de modelos partidos diretamente de um projeto desenvolvido em um software por meio de camadas. Fornece uma variedade de aplicações, utilizando diversas tecnologias para desenvolver modelos com polímeros, metais, cerâmicos, nas áreas de engenharia, medicina, arte, etc. Pode ser considerada uma tecnologia dinâmica para o design de peças, uma vez que possibilita a construção de modelos em variadas formas (HOPKINSON; HAGUE; DICKENS, 2006). Conforme Larson (2016) existem muitos tipos de impressoras 3D, porém, todas constroem camadas sólidas de materiais. As principais tecnologias utilizadas para impressão 3D, conforme Araújo (2021), são: Estereolitografia (SLA); Sinterização a Laser (SLS); Multijet; Laminação de folhas; Moldagem por Fusão e Deposição (FDM).

A impressão com a tecnologia de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM - *Fused Deposition Modeling*) vem crescendo e se tornando popular, com o mecanismo de funcionamento ocorrendo através da deposição de um filamento termoplástico em camadas, criando uma peça. O mercado deste tipo de impressão apresenta vários tipos de filamentos, como PP, PET, PC, PMMA, filamentos com fibras, e os mais comuns, PLA e ABS (ICHI, 2010; RAYNA; STRIUKOVA, 2016; YANG *et al.*, 2017). Existem alguns parâmetros importantes na impressão por FDM, estudos sugerem que o preenchimento geométrico tem alta influência na resistência mecânica, modo de falha, e aspecto visual dos objetos produzidos por FDM (LI *et al.*, 2002; CROCCOLO *et al.*, 2013).

## 2. Procedimentos Metodológicos

Para o desenvolver os filamentos de PP reciclado, os procedimentos foram divididos em etapas, as quais incluem a caracterização do material reciclado, fabricação dos filamentos por extrusão, avaliação do filamento produzido e potencial de impressão 3D. A matéria prima utilizada provém de itens reciclados em geral, como potes de produtos alimentícios identificados como PP. Este material foi separado, limpo e triturado em partículas menores.

### 2.1 Materiais

O material polimérico utilizado nesta pesquisa é o polipropileno reciclado, fornecido pelo Fablab Unisinos POA, já moído, na cor branca com algumas inclusões de pigmentos devido a obtenção desse material (potes de iogurte), figura 1. Como comparativo foi utilizado o filamento comercial de polipropileno para confecção de corpos de prova através da impressão 3D. Para melhor compreensão deste estudo, as amostras de polipropileno reciclado estão identificadas como PPR e as amostras de polipropileno comercial como PPC.



Figura 1: Exemplo de embalagens utilizadas. Fonte: elaborado pelos autores.

### 2.2 Caracterização físico-química do PP reciclado

#### Índice de fluidez (MFI)

Para a determinação do índice de fluidez do PP reciclado, o ensaio foi realizado segundo a norma ASTM D1238:2020, em um equipamento plastômetro DSM com temperatura de 230°C e massa de 2,16kg, pelo Instituto Senai de Inovação – Engenharia de Polímeros.

#### Termogravimetria (TGA)

O estudo foi realizado de acordo a norma a norma ASTM E 1131:2020 no ITT Oceaneon Unisinos Campus São Leopoldo. As curvas foram estabelecidas utilizando um TGA550 (TA Instruments) com atmosfera de nitrogênio de 40 mL/min e uma rampa de aquecimento de 10°C/min, e cerca de 10 mg de amostra.

### 2.3 Fabricação do PP via extrusão

O polipropileno reciclado foi processado em uma extrusora modelo Felfil EVO desktop, no laboratório de prototipagem FabLab da Unisinos Campus POA, Figura 2. Os parâmetros para a extrusão estão apresentados na Tabela 1. Foi produzido dois metros de filamento para cada corpo de prova utilizado nos ensaios. Para a produção do filamento via extrusão não foi

utilizado um sistema de bobinas para homogeneizar e controlar a espessura do filamento. Utilizou-se a gravidade e ação humana para cortar e enrolar o filamento.



Figura 2: Extrusora utilizada para produção dos filamentos. Fonte: Autores.

Tabela 1: Parâmetros de extrusão.

Temperatura	200 °C
Processamento do motor	0,5 A
Velocidade	7 RPM

Fonte: Autores.

#### 2.4 Avaliação do controle de homogeneidade do filamento

Para determinar a homogeneidade do filamento foram feitas medições do diâmetro de dois metros de filamento a cada 10cm. As medidas foram feitas com um paquímetro digital, marca Mitutoyo, com resolução de +/- 0,01 mm. A avaliação visual foi realizada através da cor, textura, surgimento de bolhas e maleabilidade do filamento, a fim de garantir qualidade do filamento através da observação física.

#### 2.5 Impressão 3D de corpos de prova

A partir dos filamentos produzidos e previamente selecionados foram efetuados testes com diferentes parâmetros de configuração nas impressoras 3D baseadas no método FDM, Sethi3D AiP, localizada na Unisinos Campus São Leopoldo. Essa impressora permite um acesso fácil ao sistema de extrusão do filamento, o que se tornou interessante devido as características obtidas do filamento, possibilitando uma melhor maleabilidade para a produção para os corpos de prova. Foram impressos 4 corpos de prova do filamento reciclado e do filamento comercial para comparação. Com isto foi avaliado a qualidade de impressão do filamento reciclado, tanto em termos da viabilidade de impressão quanto da qualidade do modelo impresso. A Tabela 2 apresenta os parâmetros utilizados para impressão dos corpos de prova e a Figura 3 o modelo dos corpos de prova impressos para o ensaio de tração.

Tabela 2: Parâmetros de impressão.

Altura da camada	0,25 mm
Densidade do preenchimento	100 %
Padrão de preenchimento	Linhas
Temperatura de impressão	240 °C
Temperatura da mesa de impressão	60 °C
Velocidade de impressão	40 mm/s

Fonte: Autores.

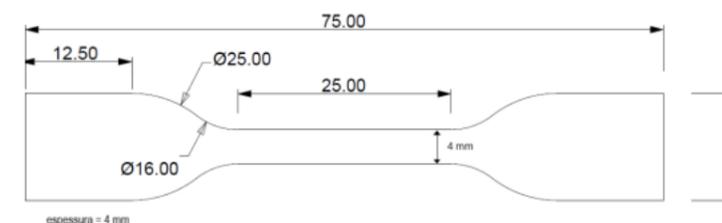


Figura 3 - Desenho do corpo de prova. Fonte: JARDIM (2020).

#### 2.6 Ensaio de tração

Foi utilizado o equipamento marca MTS modelo 370 Load Frame, na temperatura de 25 °C com velocidade constante de 30mm min<sup>-1</sup> para os corpos de prova de PP reciclado, e 50 mm min<sup>-1</sup> para os corpos de prova de PP comercial, utilizando uma carga de 1.000 N.

#### 2.7 Microscopia ótica

Os corpos de prova impressos foram analisados visualmente para avaliação da homogeneidade da impressão e análise das fraturas dos corpos de prova, quantidade de vazios nas peças, fatores que influenciaram no ensaio de tração. As análises foram realizadas utilizando uma câmera digital acoplada a máquina de medição tridimensional marca Starret, modelo Galileo AV 300+, localizada no Laboratório de Metrologia da UNISINOS Campus São Leopoldo.

### 3. Análises dos Resultados

#### 3.1 Caracterização físico-química do PP reciclado

##### Índice de fluidez (MFI)

O objetivo da análise do índice de fluidez foi compreender o processamento de extrusão do filamento reciclado e a degradação dele. Quanto maior o índice de fluidez, menor será sua viscosidade, e assim, melhor o escoamento do material, melhorando o processo de extrusão. A Tabela 3 apresenta os índices de fluidez do PP Reciclado, PP Comercial Homopolímero apresentado no catálogo de poleolefinas da Braskem (2021) e o filamento de PP Comercial.

Tabela 3: Índice de fluidez do PP de acordo a norma ASTM D1238:2020.

	I.F (g/10 min)
PP reciclado	12,40
PP comercial	2,10
Filamento de PP comercial	1,30

Fonte: elaborado pelos autores.

Hinsken *et al.* (1991) demonstrou um aumento considerável no índice para o PP após um ciclo de extrusão de 260°C, o qual passou de 3,1 para 13,8 g/10min devido à quebra de cadeias moleculares que ocasionou diminuição de massa molar. Neste trabalho, um comportamento similar para o índice de fluidez foi encontrado, ou seja, sugerindo a ocorrência de degradação do material.

### Termogravimetria (TGA)

A amostra de PP reciclado foi analisada para avaliação de perda de massa, degradação térmica, e determinar possíveis efeitos da história térmica do material. Este ensaio foi realizado a fim de conhecer o perfil de degradação do material reciclado, ou seja, avaliar a estabilidade térmica do material por perda de massa em relação a temperatura, determinando assim as temperaturas máximas para os processamentos que o material reciclado poderá ser submetido. A curva TGA do PP reciclado apresentou um estágio de degradação com uma temperatura inicial (Ti) de 350°C e temperatura final (Tf) de 447,41°C. O PP reciclado apresentou de material combustível 98,86% e de resíduos 1,17%.

De acordo com HOLGUIN (2015), o PP virgem começa decomposição aos 450°C. O PP reciclado apresenta início de decomposição a partir dos 350°C e esta diferença pode ser devido à história térmica do PP reciclado, no seu processamento pode ter ocorrido algum rompimento de ligações. O resíduo gerado na decomposição do PP reciclado sugere a presença de cargas, aditivos e / ou impurezas presentes no material reciclado, como também apresentado na análise de densidade.

### 3.2 Avaliação do controle de homogeneidade do filamento

A Tabela 4 apresenta os dados estatísticos em relação a variação do diâmetro do filamento. Essa variação do diâmetro evidencia a dificuldade do processo de extrusão ser realizado sem o bobinamento, fato que para a impressão 3D torna-se um fator de complicação para seu processo de funcionamento ser correto.

Tabela 4: Dados das medições.

	Diâmetro Máximo (cm)	Diâmetro Mínimo (cm)	Diâmetro Mediano (cm)	Desvio Padrão
PP Reciclado	2,00	1,27	1,44	1,05

Fonte: Autores.

### 3.3 Impressão 3D de corpos de prova

A Figura 5 apresenta os corpos de prova impressos com os filamentos utilizados, tanto o reciclado (figura 5A) e o comercial (figura 5B). Foi realizada a impressão dos corpos de prova com o filamento de PP reciclado, porém foi necessário cautela ao introduzir os filamentos na impressora, pois não apresentaram homogeneidade de diâmetro.



Figura 4: Corpos de prova e filamento de PP reciclado e PP comercial. Fonte: Autores.

Observa-se mudanças físicas no filamento e corpo de prova do PP reciclado (Figura 5A), como mudança de cor, textura e deformidades quando comparado ao filamento do PP comercial apresentado na Figura 5B. Durante a impressão observou-se falta de homogeneidade do filamento reciclado e dificuldade do PP aderir na mesa de impressão, porém não impossibilitando a impressão dos corpos de prova. Essa adesão na mesa foi uma das principais características observadas, tanto no PP reciclado como no comercial, pois houve dificuldade ao aderir na mesa e na formação das camadas de impressão. Fornecedores de filamentos de PP e guias para a impressão de PP destacam a utilização de colas específicas para a adesão na mesa de impressão quando se utiliza filamento de PP, da qual não se teve acesso. A qualidade do filamento, impressão e os parâmetros utilizados podem ser analisados com o ensaio de tração dos corpos de prova impressos.

### 3.4 Ensaio de tração

Com o ensaio de tração foi possível analisar o comportamento dos filamentos de PP reciclado impressos, em relação a tensão de escoamento, tensão de ruptura, módulo de elasticidade e deformação. Os resultados do PP reciclado foram comparados com os resultados obtidos nos ensaios de tração de corpos de prova impressos com filamento de PP comercial da Braskem. As variações observadas nos ensaios de tração do PP reciclado (sigla PPR) e do PP comercial (sigla PPC) e os resultados obtidos estão apresentados nas Tabela 5. Essas variações indicam a ocorrência de mudanças nas características mecânicas.

Tabela 5: Resultados do ensaio de tração PP Reciclado e de PP Comercial.

Corpo de prova	Tensão de escoamento (MPa)		Tensão de ruptura (MPa)		Módulo de elasticidade (MPa)		Deformação	
	PPR	PPC	PPR	PPC	PPR	PPC	PPR	PPC
1	9,69	22,95	10,71	-	95,73	13,04	0,10	1,76
2	16,70	23,13	17,65	17,38	96,43	7,12	0,17	3,24
3	12,51	26,83	14,52	18,40	111,55	71,73	0,11	0,37
4	16,54	25,76	16,54	19,44	47,86	94,03	0,34	0,27
Média	14,52	24,45	15,53	18,40	96,08	42,38	0,12	0,06
Desvio Padrão	3,39	1,93	3,05	1,03	27,68	43,08	4,16	85,97

Fonte: Autores.

Os corpos de prova impressos com polipropileno, tanto reciclado como o comercial apresentaram variações, como defeitos nas peças. Foi observado desprendimento de camadas na impressão, empenamento de peças pelas variações de temperaturas e variações de dimensões. Estes defeitos influenciaram no comportamento mecânico e resultados dos ensaios de tração. Observou-se diferença entre os valores do PP reciclado e do PP comercial. A tensão de escoamento sofre uma variação de aproximadamente 68% e a tensão de ruptura aproximadamente 18% quando comparadas com o PP comercial.

De acordo com Canevarolo et al. (2009) em seu estudo da degradação do polipropileno durante a extrusão, apresenta a degradação do PP por cisão de cadeias em temperaturas acima de 200°C. Sendo assim, o aumento da rigidez do PP reciclado pode ser justificada pela degradação dele. A variação na tensão de escoamento tem relação com a presença de vazios nos corpos de prova, que ocorreram durante a impressão são analisados na de microscopia realizada neste trabalho.

### 3.5 Microscopia ótica

A avaliação microscópica e visual foi realizada com o objetivo de observar as alterações físicas que ocorreram no material e na impressão dos corpos de prova, como presença de falhas, inclusões, degradação e fratura dos CPs. A Figura 6 apresenta as fraturas sofridas pelos corpos de prova identificados como PPR 4 e PPR 1.



Figura 5: Corpos de prova PPR 4 e PPR1 rompidos. Fonte: Autores.

A Figura 7 apresenta as imagens dos corpos de prova impressos com o filamento de PP reciclado. Na imagem A nota-se alguns pontos escuros, característico de degradação térmica no momento da deposição do filamento. É possível observar a presença de falhas na impressão, que ocasionaram imperfeições na sobreposição das camadas, como na imagem B e D.

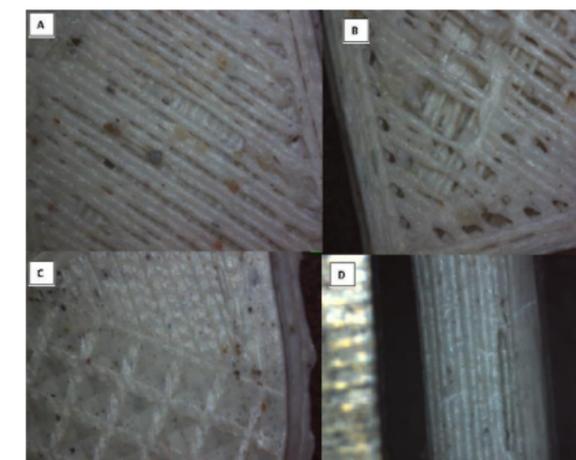


Figura 6: Corpos de prova de PP reciclado. Fonte: Autores.

A imagem B apresenta alguns pontos coloridos, identificando a presença de pigmentos do material reciclado. O filamento apresentou mudança na sua cor quando comparado ao filamento de PP comercial. Essa mudança de cor sugere que houve degradação do material em suas etapas de reciclagem. A imagem C mostra que não foi completa a impressão da camada. Essas observações podem justificar as propriedades mecânicas apresentadas nos ensaios de tração, como a tensão de escoamento e a deformação do material reciclado. No limite de escoamento inicia a deformação plástica do material, devido a degradação do material como apresentado anteriormente, e o preenchimento incompleto das camadas gerando vazios, diminui a tensão de escoamento e deformação do material reciclado quando comparado ao comercial.

A Figura 8 apresenta os corpos de prova de PP reciclado após o ensaio de tração. A impressão com PP comercial apresentou dificuldades na impressão, como a adesão das camadas na mesa, apresentou menos falhas quando comparado ao reciclado.



Figura 7 - Corpos de prova de PP reciclado após ensaio de tração. Fonte: Autores.



#### 4. Considerações Finais

Analisando os resultados obtidos neste trabalho, a reciclagem mecânica do polipropileno foi possível, embora o material tenha sofrido variações térmicas e mecânicas durante o seu reprocessamento, indicando uma probabilidade de ocorrência de degradação do material. Na avaliação do processo de extrusão, embora o material reciclado tenha apresentado um bom escoamento, a homogeneidade dos filamentos sofreu variações. Isto pode ter ocorrido pelo fato de não ter sido utilizado um sistema puxador, como um carretel para homogeneizar o diâmetro do filamento.

Foi possível realizar a impressão dos corpos de prova com filamento de PP reciclado. Os parâmetros de impressão necessitam de melhores ajustes, pois os corpos de prova apresentaram imperfeições que influenciaram nas propriedades mecânicas observadas no ensaio de tração e nas análises microscópicas. As propriedades mecânicas do material sofreram alterações, sendo que foi observado durante o ensaio de tração uma diminuição significativa na rigidez do material reciclado quando comparado com o comercial. Isto pode ter ocorrido não apenas pelas degradações do material reciclado, mas pela qualidade da impressão dos corpos de prova.

As técnicas aplicadas neste trabalho foram possíveis para a caracterização do polipropileno reciclado, apresentando uma possibilidade de reutilização deste material para a produção de filamentos para a impressão 3D. Devido as características de reciclagem mecânica e a possibilidade de contaminações, presença de aditivos e pigmentos nos materiais reciclados, se faz necessário mais estudos em relação as propriedades físico-químicas. Os parâmetros de impressão influenciam na qualidade do material impresso, necessitando também de um estudo mais aprofundado. O assunto abordado no trabalho é muito amplo, possibilitando pesquisas futuras mais direcionadas as diversas e utilizações do propriedades do polipropileno reciclado.

#### Referências

- ABIPLAST- Agência Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico, 2017 Profile. Acesso em: <http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/03/Perfil2017.pdf>.
- ARAÚJO, V. **Manufatura aditiva e suas aplicações na indústria**: uma revisão de literatura. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) –Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Ceará. Russas, p. 94. 2021.
- CANEVAROLO, S. **Ciência dos polímeros**. Editora Artliber, 2010.
- CROCCOLO, D.; AGOSTINIS, M. DE; OLMI, G. Experimental characterization and analytical modelling of the mechanical behaviour of fused deposition processed parts made of ABSM30. **Computational Materials Science**, v. 79, p. 506–518, 2013. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.commatsci.2013.06.041>>.

EUROPEAN COMMISSION. **Circular Economy: New Rules Will Make EU the Global Front-Runner in Waste Management and Recycling**. 2018. Acesso em: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_18\\_3846](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_18_3846)

FERNANDES, L., DOMINGUES, A. Caracterização mecânica do polipropileno reciclado para a indústria automotiva. **Revista Scielo**. 2007. Acesso em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282007000200005>

GIBSON, I; ROSEN, D; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies**. New York: Springer, 2009.

GUIMARÃES, R; LUGON, J.; NETO, A. **Revisão sistemática de transporte de microplástico do continente para o oceano**. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego. 2020. Acesso em: DOI: 10.19180/2177-4560.v12020p18-39.

HINSKEN, H., *et al.* Degradation of polyolefins during melt processing. **Polymer Degradation and Stability**, v. 34, 1–3, 279-293, 1991.

HOPKINSON, N; HAGUE, R; DICKENS, P. **Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age**. John Wiley & Sons, 2006.

ICHI, A. **Análise da viabilidade da aplicação da tecnologia CAD/CAM por prototipagem rápida na confecção de estrutura metálica da prótese parcial removível comparando-a ao método convencional**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, 2010.

ISLAM, Md. S.; TANAKA, M. **Impacts of Pollution on Coastal and Marine Ecosystems Including Coastal and Marine Fisheries and Approach for Management: A Review and Synthesis**. 2004. Acesso em: DOI: 10.1016/j.marpolbul.2003.12.004

JARDIM, A. **Efeito do padrão de preenchimento e impressão 3D nos resultados de resistência à tração do polímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS)**. Trabalho de conclusão de curso. UNISINOS 2020.

KETS, K.V; DELVA, L; RAGAERT, K. **Structural stabilizing effect of SEBSgMAH on a PP-PET blend for multiple mechanical recycling**. 2019.

LARSON, J. **3D Printing Designs: Fun and Functional Projects**. 2016.

LI, L., *et al.* Composite Modeling and Analysis for Fabrication of FDM Prototypes with Locally Controlled Properties. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 4, n. 2, p. 129–141, 2002.

MASSULO, L.; RODRIGUEZ, A.; MAHLMANN, C. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos baseados em polipropileno reciclado visando o uso como placas absorvedoras de energia solar**. 2016.

RAYNA, T.; STRIUKOVA, L. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. **Technological Forecasting and Social Change**. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.023>

WWF - World Wide Fund For Nature. **Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização**, 2019.



YANG, C. *et al.* Influence of thermal processing conditions in 3D printing on the crystallinity and mechanical properties of PEEK material. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 248, n. January, 2017. Elsevier.

## **Influência da cal na absorção por capilaridade em adobes produzidos com sedimento de RMF**

### *Influence of lime on capillarity absorption of adobes produced with IOT sediment*

**Jhade Iane Cunha Vimieiro.**

[jhade@ufmg.br](mailto:jhade@ufmg.br)

**Larissa Moreira Matias.**

[arq.larissamatias@gmail.com](mailto:arq.larissamatias@gmail.com)

**Gabriella Eduarda Freitas Batista.**

[gabieduarda22@hotmail.com](mailto:gabieduarda22@hotmail.com)

**Dayane Felix Andrade.**

[dayanefelixa@gmail.com](mailto:dayanefelixa@gmail.com)

**Sofia Araújo Lima Bessa.**

[salbessa@hotmail.com](mailto:salbessa@hotmail.com)

#### **Resumo**

A absorção por capilaridade é uma das fragilidades em construções em adobe. Para melhora da impermeabilização do adobe, adicionar estabilizantes como rejeito e cal hidratada, é pertinente. Este estudo tem como objetivo produzir adobes com diferentes teores de substituição em massa do solo por sedimento de RMF e analisar a influência da adição de 2% de cal, em massa, na absorção de água por capilaridade (AC) dos adobes. O SRMF foi utilizado nos teores de 50, 60 e 70%. O valor do coeficiente de AC variou entre 1,22 e 2,38 g/cm<sup>2</sup> (sem adição de cal), enquanto o valor para os adobes com adição de cal variou entre 2,08 e 4,81 g/cm<sup>2</sup>. Nas misturas sem adição de cal a AC aumentou à medida que aumenta o teor de SRMF. Já nas misturas com adição de cal, ocorreu o inverso. Os valores da absorção de água por capilaridade podem ser relacionados à densidade.

**Palavras-chave:** sedimento de rejeito de minério de ferro; estabilização; método de ensaio.