



CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA E QUÍMICA DOS MATERIAIS DA CÁPSULA CAFÉ VISANDO PROJETOS DE DESIGN SUSTENTÁVEL

Felipe Carillo¹, Lucas Galo ¹, Nicholas Toretta Constantino ¹, Agda Regina de
Carvalho², Guilherme Wolf Lebrão², Viviane Tavares de Moraes^{2*}

1 – Graduando, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia

*2- Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Universitário do Instituto Mauá de
Tecnologia. Praça Mauá, n1 – São Caetano do Sul – SP, CEP 09580-900*

Autor viviane.moraes@maua.br

RESUMO

A identificação dos materiais que compõem as cápsulas de café é essencial para identificar as rotas de reciclagem, uma vez que as cápsulas se tornaram grandes vilões ambientais devido ao seu elevado consumo diário. Desta forma o objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização térmica e química para delimitar algumas condições de reciclagem. Para isso utilizou-se o desmantelamento manual, análise de FTIR, TGA e DSC, análises química e térmica. Os resultados indicam que 98% em peso dos materiais que compõem as cápsulas de café são feitas de polipropileno e apenas 2 % de poliéster. Desta forma pode-se concluir que é possível reciclar o PP das cápsulas de café, pois já existe processo de reciclagem do PP.

Palavras-chave: *Cápsulas de café; Resíduos poliméricos; Análise de caracterização; Reciclagem mecânica.*

INTRODUÇÃO

Cerca de 8300 milhões de toneladas métricas (Mt) de plásticos foram produzidos no mundo. Aproximadamente 6300 Mt de resíduos plásticos foram produzidos entre 1950 e 2015, em que 9% foi reciclado, 12% foi incinerado e 79% foi colocado em aterros ou descartados no meio ambiente ⁽¹⁾. Segundo ABIPLAST ⁽²⁾ em 2021, 23,4% dos resíduos plásticos pós-consumo foram reciclados no país. No período também se destaca um incremento de 14,3% na produção de plástico reciclado pós-consumo, chegando a mais de 1 milhão de toneladas.

Um produto que exemplifica muito bem o avanço técnico e moderno da utilização do plástico hoje em dia são as cápsulas de café. No Brasil, foram consumidas cerca de 1070 mil toneladas de café em 2017, onde 0,9% representam o

consumo de cápsulas de café, o que são aproximadamente 10 mil toneladas. ⁽¹⁾. No entanto, apesar das muitas vantagens práticas das cápsulas de café em dose única, esse tipo de embalagem também representa um dos principais problemas com relação ao seu impacto ambiental.

A maioria das cápsulas de café é composta por resinas poliméricas, alumínio ou uma mistura deles, o que aumenta a dificuldade de um descarte e manejo adequado no final da vida útil ⁽³⁾. Por exemplo, estima-se que aproximadamente 59 bilhões de cápsulas foram produzidas globalmente em 2018, e destas cerca de 56 bilhões provavelmente sejam descartadas tendo como destino aterros sanitários ⁽³⁾. Com o desenvolvimento da economia, o homem começou a enfrentar vários problemas, como exaustão de recursos, escassez de energia, destruição ecológica, poluição ambiental, aquecimento global e extinção de muitas espécies. O sistema de desenvolvimento linear passou a ser repensado, procurando estabelecer um novo sistema de desenvolvimento econômico com o fim de preservar a natureza ⁽⁴⁾. Desse modo, a aplicação da economia circular é uma forma para atingir o desenvolvimento econômico sustentável. Para atingir um modelo sustentável de produção, a economia circular é considerada um excelente vetor. Associa-se o crescimento econômico a um ciclo de desenvolvimento positivo, que preserva o capital e os fluxos renováveis ⁽⁴⁾. Além do impacto causado nos aterros, as cápsulas de dose individual proporcionam um enorme desperdício de recursos. Os plásticos utilizados derivados de petróleo, enquanto o alumínio é obtido da bauxita - matérias primas não renováveis que ao acabarem em aterros se tornam irre recuperáveis ⁽⁵⁾. Um consumidor brasileiro gera em média por ano um volume de resíduo de 383 kg, sendo, portanto, indispensável o descarte adequado e a separação dos diferentes materiais que compõem o RSU. Por vezes, a separação não é realizada pela dificuldade de identificação dos diferentes materiais ⁽⁵⁾. Em decorrência do grande consumo de cápsulas de café a quantidade de resíduos gerado são descartados em aterros, e resultam em uma grande preocupação para o meio ambiente, apesar de algumas ações das empresas para reciclagem dessas cápsulas, não é suficiente para propor um destino adequado a todo o material.

Contudo, aborda-se neste trabalho um processo para caracterização da composição do resíduo de cápsulas de café do padrão plástico com o objetivo de identificar o seu material polimérico, avaliando a viabilidade de reciclagem das

mesmas e analisando a possibilidade de um coprocessamento para utilização em projetos de design sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais usados para este trabalho foram adquiridos no laboratório de metalografia no Instituto Mauá de Tecnologia. Foram coletados através de doação resíduos de cápsulas de café. Todas as amostras foram limpas em água deionizada. As amostras de cápsulas de são feitas de polímeros, foi também utilizada solução de hipoclorito de Sódio 1% v/v para higienização as cápsulas.

Antes da limpeza das cápsulas, elas passaram por um processo de desmantelamento manual, após esse processo as cápsulas foram pesadas, colocadas em um béquer de 1000 ml com água deionizada por 24 horas em temperatura ambiente. Foram retiradas da água deionizada e colocadas em um béquer de 1000 ml com água e solução com 1% v/v de hipoclorito de sódio, imerso por 1 hora. Em seguida colocados novamente em outro béquer de 1000ml com 1000ml de água deionizada por 1 hora. As partes das cápsulas foram separadas em 5 amostras e identificadas por letras. Foram levadas ao centro de Pesquisas - divisão de ensaios e análises do Instituto Mauá de Tecnologia, os corpos de prova passaram por análises em 3 processos diferentes.

A Figura 1 mostra o fluxograma resumido do processo de caracterização dos materiais contidos nas cápsulas de café.

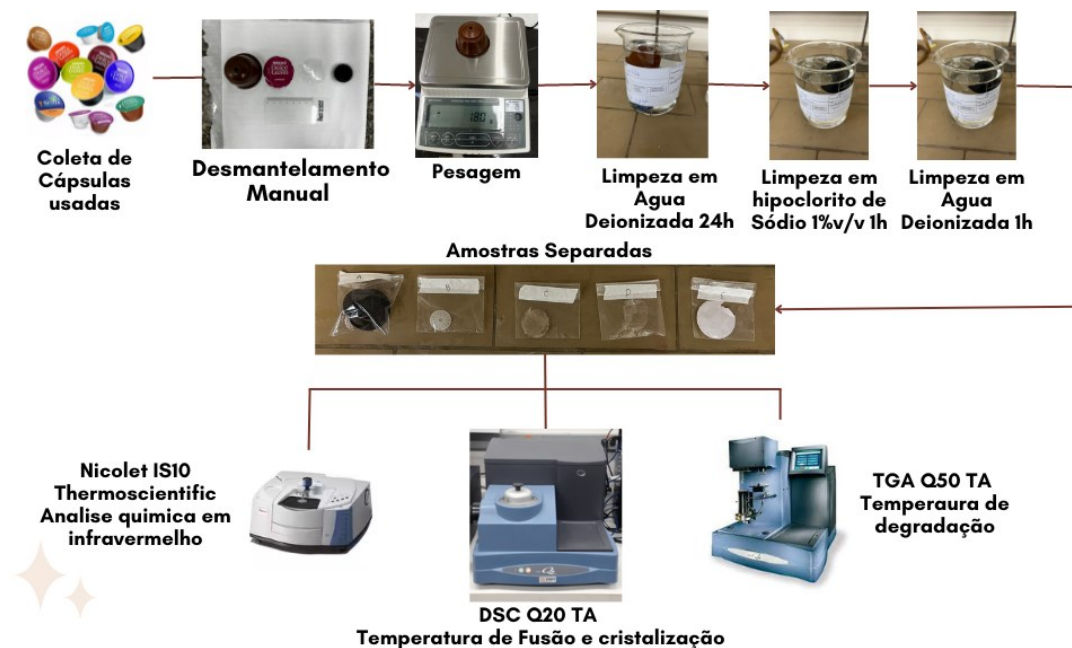


Figura 1. Fluxograma do processo de caracterização de cápsulas de café.

Primeiro foi realizada análise de espectrometria de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) em equipamento Nicolet IS10 Thermoscientific, método por ATR (reflectância atenuada refletiva), foram realizadas 32 varreduras nas amostras, na região de infravermelho médio (MIR) (400 cm^{-1}) á (4000 cm^{-1}), para identificação dos grupos funcionais dos polímeros que compõem as cápsulas.

Análises térmicas de DSC (Calorimetria Exploratório Diferencial) e TGA (termogravimetria) para identificar os pontos de fusão, de cristalização e degradação. Os parâmetros do ensaio foram rampa de (10°C/min) á 280°C em Isoterma de 5 min e rampa de (10°C/min) á 25°C em atmosfera inerte de nitrogênio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desmantelamento manual das cápsulas de café resultou na segregação dos componentes conforme apresentado na Figura 2.

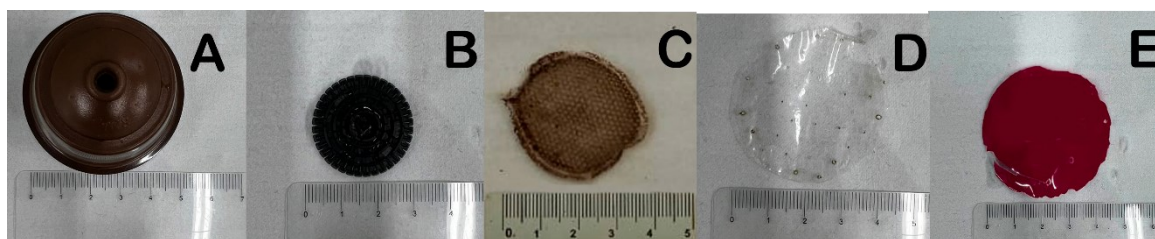


Figura 2. Componentes das cápsulas de café após processo de desmantelamento manual.

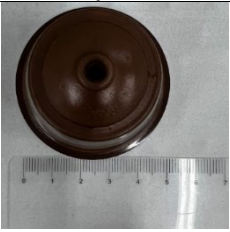
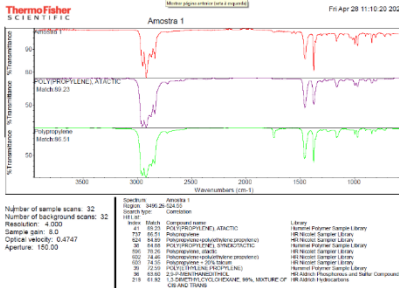
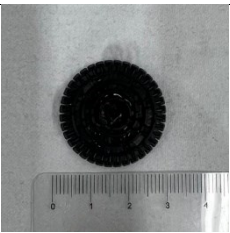
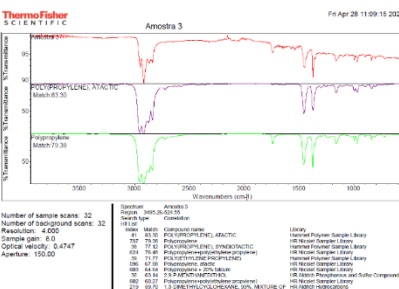
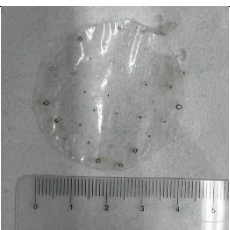
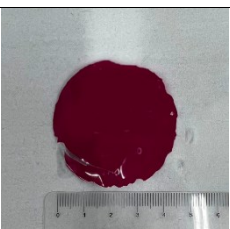
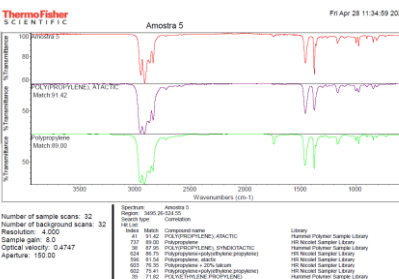
Cada componente da cápsula foi enviado para análise química e térmica.

Os resultados da caracterização térmica dos componentes das cápsulas de café formam apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização das amostras

Amostr a	Temp. Fusão (°C)	Temp. Cristalização (°C)	Temp. Degradação (°C)	Porcentagem de Degradação (%)
A	164,98 +/- 2,1	128,82 +/- 1,9	452,78 +/- 1,8	99
B	163,61 +/- 2,0	122,66 +/- 2,1	455,65 +/- 1,8	100
C	161,04 +/- 2,1	116,34 +/- 2,0	453,35 +/- 1,9	100
D	162,01 +/- 2,1	113,33 +/- 1,8	436,25 +/- 1,7	100
E	164,52 +/- 2,2	118,57 +/- 2,2	459,00 +/- 1,9	95

Os resultados da espectrometria de infravermelha de cada componente foi apresentado na Figura 3. Os resultados foram comparados com a biblioteca de polímeros do próprio equipamento.

Amostra	Imagem do componente da cápsula	Resultado de FTIR
A		
B		
C		
D		
E		

Os resultados da análise química indicam que os componentes A, B, C e E são compostos de polipropileno atático, enquanto que o componente D um poliéster (podendo ser PET, PS, ou PLA).

O polipropileno atático é caracterizado por ser macio, flexível, inerte, autorizado pelo FDA para contato direto com alimentos, além de poder ser confeccionado na forma de peças sólidas ou tecido não tecido, como no caso do componente C, cuja função é ser o filtro de retenção do café expresso.

Este polímero apresenta grupos laterais dispostos aleatoriamente e desordenados na cadeia carbônica, o que também facilita a reciclagem, já que o reprocessamento de polímeros não garante o arranjo cristalino de polímeros.

A diminuição da diversidade de materiais que compõem as cápsulas facilita o seu beneficiamento permitindo encontrar meios de operacionalizar a reciclagem.

Considerando que o polipropileno atático possui densidade entre 0,895 g/cm³ a 0,909 g/cm³, com temperatura de fusão média de 163°C e que o poliéster do componente D (único componente com material diferente dos outros da cápsula) possui temperatura de fusão muito próxima (162°C) o processamento poderia ser avaliado a fim de produzir uma blenda polimérica. Considerando que os picos do FTIR indicam que possivelmente se trata de um filme de PLA (ácido poli láctico) a sua densidade varia de 1,24 a 1,27 g/cm³, possivelmente etapas de separação em meio denso após triturar as cápsulas seriam suficientes para a separação do PP, possibilitando a sua reciclagem.

A massa média dos componentes da cápsula foi apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Massa dos componentes da cápsula

Componente da cápsula	Massa (g)
A	2,29 +/- 0,04
B	0,86 +/- 0,02
C	0,10 +/- 0,02
D	0,06 +/- 0,01
E	0,21 +/- 0,01
Total	3,52 +/- 0,02

Considerando que os componentes A, B, C e E são de polipropileno (PP) e podem ser reciclados juntos, a massa correspondente a este material é de aproximadamente 98% da cápsula. Ainda se considerar uma estimativa de 10 mil toneladas de resíduos de cápsulas geradas anualmente e que 9,8 mil toneladas é de

PP, termoplástico, com processo de reciclagem mecânica consolidado, este estudo que avalia a caracterização dos materiais propondo viabilizar os processos de reciclagem de cápsulas para a fabricação de novos produtos na área de design é de extrema importância para a sustentabilidade e a economia circular.

Etapas futuras de identificação das propriedades mecânicas do reprocessamento das cápsulas e ainda a incorporação do resíduo de borra de café como carga serão foco deste estudo a fim de se definir produtos de design para a valorização dos resíduos.

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos podemos concluir que:

As cápsulas de café analisadas possuem 2 materiais, um identificado como polipropileno e outro identificado como poliéster.

O PP atático corresponde aos componentes A, B, C e E das cápsulas com temperatura de fusão aproximada de 163°C e corresponde a 98% em peso da cápsula.

O poliéster corresponde somente ao componente D, cuja temperatura de fusão é de 162°C, faixa característica do PLA, que corresponde a 2% em peso da cápsula.

Ambos polímeros caracterizados são termoplásticos.

O PP pode ser reciclado por rotas convencionais de reciclagem mecânica e possibilitaria a reciclagem de 9,8 toneladas por ano de resíduos das cápsulas de café.

Agradecimentos

Ao Instituto Mauá de Tecnologia.
Fapesp Processo nº 2020/09163-3

REFERÊNCIAS

1. KLERING, Renata dos Reis. Estratégias de reciclagem mecânica de cápsulas de café pós-consumo para maior durabilidade. 2022. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Departamento de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: [file:///D:/Area%20de%20Trabalho/Downloads/001141059%20\(1\).pdf](file:///D:/Area%20de%20Trabalho/Downloads/001141059%20(1).pdf). Acesso em: 13 maio 2023.
2. ABRIPLAST (São Paulo). Abriplast. 4ª Pesquisa Anual de Índice de Reciclagem de Plástico no Brasil: uma iniciativa do plano de incentivo à cadeia do plástico

(PICPlast) e realizada pela MaxiQuim. Movimento Plástico Transforma, São Paulo, p. 1-2, 08 dez. 2022. Anual. Disponível em: https://www.abiplast.org.br/publicacoes/pesquisa_reciclagem_picplast/. Acesso em: 13 maio 2023.

3. PALOMBINI. L.; CIDADE. K. Lixo invisível: Contribuição do design para recuperação de materiais problemáticos. MIX Sustentável, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 17–26, 2022. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n1.17-26. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/5215>. Acesso em: 14 maio. 2023.
4. BIONDI, Domingos da Silva; NERES JUNIOR, Jorge. As diferenças e similaridades entre sustentabilidade e economia circular. São Paulo: Revista Estudos e Negócios Academics – Rena,, v. 3, n. 5, 30 jan. 2023. Semestral. Disponível em: <https://portalderevistas.esags.edu.br/index.php/revista/article/view/117>. Acesso em: 14 abr. 2023.
5. GUIMARÃES, Ana Paula Patias. Caracterização do resíduo de cápsulas da marca A para análise de viabilidade de reciclagem: Ana Paula Patias Guimarães. 2018. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/11359/Dissertacao_Ana%20Paula%20Patias%20Guimaraes.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 14 maio 2023.

THERMAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF COFFEE CAPSULE MATERIALS FOR SUSTAINABLE DESIGN PROJECTS

ABSTRACT

Identifying the materials that make up coffee capsules is essential to identify recycling routes, since capsules have become major environmental villains due to their high daily consumption. In this way, the objective of this work was to carry out the thermal and chemical characterization to define some recycling conditions. For this, manual dismantling, FTIR, TGA and DSC analysis, chemical and thermal analysis were used. The results indicate that 98% by weight of the materials that make up the coffee capsules are made of polypropylene and only 2% of polyester. In this way, it can be concluded that it is possible to recycle PP from coffee capsules, as there is already a PP recycling process.

Keywords: *Coffee capsules; Polymeric waste; Characterization analysis; mechanical recycling*