

ÁREA TEMÁTICA: Reciclagem

## IDENTIFICAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DE FLOCOS PLÁSTICOS PROVENIENTES DE TAMPAS DE GARRAFAS PÓS-CONSUMO PARA FACILITAR A SUA RECICLAGEM

*Bruna Elisa da Silva Mendonça (bru\_mendonca@yahoo.com.br), Ruth Marlene Campomanes  
Santana (ruth.santana@ufrgs.br)*

*Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre*

### RESUMO

Tampas são geralmente itens fabricados de um material plástico diferente do material de suas garrafas, portanto, somos obrigados a reciclar cada item separadamente. A identificação da composição desse material através de técnicas analíticas apropriadas se torna uma necessidade potencial uma vez que uma caracterização adequada pode potencializar a capacidade de inclusão do mesmo na cadeia circular. O objetivo do presente trabalho é identificar a composição de flocos provenientes de tampas de garrafas pós-consumo (TPC), quando segregadas por cor (A, B, V, R) ou não (M), através do uso de técnicas de laboratório como espectroscopia de infravermelho, calorimetria diferencial de varredura (DSC), teor de cinzas, e ensaios mecânicos. Resultados da análise térmica por DSC mostraram que as tampas são na sua maioria compostas de polipropileno (PP) e polietileno de alta densidade (PEAD). Os espectros de FTIR detectaram a presença de EVA, que pode ser atribuído ao *liner* de algumas tampas. A amostra dos flocos TPC<sub>A</sub> apresentou maior desempenho mecânico na tensão no escoamento, na ruptura e no módulo de flexão.

**Palavras-chave:** tampas; reciclagem de plástico; identificação.

## IDENTIFICATION OF THE COMPOSITION OF PLASTIC FLAKES FROM POST-CONSUMER BOTTLE COVERS TO FACILITATE YOUR RECYCLING

### ABSTRACT

Caps are usually made of a different type of plastic than their bottles, so we used to be asked to recycle them separately. The identification of the composition of this material through appropriate analytical techniques becomes a potential necessity since an adequate characterization can enhance the ability to include it in the circular chain. Therefore, the objective of the present work is to identify the composition of flakes from post-consumer bottle caps (TPC), when segregated by color (A, B, V, R) or not (M), through the use of laboratory such as infrared spectroscopy, differential scanning calorimetry (DSC), ash content, and mechanical tests. Results of the thermal analysis by DSC showed that the caps are mostly composed of polypropylene (PP) and high density polyethylene (HDPE). FTIR spectra detected the presence of EVA, which can be attributed to the liner of some covers. The sample of the TPC<sub>A</sub> flakes showed higher mechanical performance in Flow Stress, Breaking Stress and Flexion Module.

**Keywords:** Caps; polymer recycling; identification.

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo relatório “Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização” da ONG internacional WWF, publicado em 2019, há urgência de um acordo global para conter a poluição

[www.firs.institutoventuri.org.br](http://www.firs.institutoventuri.org.br)

por plásticos. Esse relatório traz dados do *What a Waste 2.0* que coloca o Brasil como quarto maior produtor de resíduo plástico no mundo com 11,3 milhões de toneladas, sendo que 91% é coletado, mas apenas 1,28% é reinserido na cadeia circular (BLUEVISION, 2019). A média global é de 9% o que indica que os números são alarmantes.

Diariamente nos deparamos com o uso de plástico reciclado em diversas aplicações como embalagens, tecidos, utensílios domésticos, materiais para indústria civil, etc, mas de fato ainda nos resta a dúvida de por que no Brasil, a coleta de plástico é eficiente, mas sua reutilização é tão baixa? Como podemos fazer para aumentar o índice de inserção desse produto tão rico na cadeia circular? Sem dúvida, a resposta para essas perguntas estabelece a necessidade de conhecermos detalhadamente o plástico pós-consumo e suas características intrínsecas para definir as aplicações apropriadas e também quais opções fornecem maior potencial de custo *versus* benefício (SHENT; PUGH; FORSSBERG, 1999).

O programa Tampinha Legal é um exemplo de iniciativa para coleta de tampas de garrafa pós-consumo que se tornou o maior programa socioambiental de caráter educativo de iniciativa da indústria de transformação do plástico da América Latina. Lançado em 2016, na segunda edição do Congresso Brasileiro do Plástico (CBP), propõe ações modificadoras de comportamento de massa através do fomento e incentivo da coleta de tampas de plástico aumentando os níveis de esclarecimento quanto ao destino adequado dos resíduos plásticos no Brasil. Desde seu início a Tampinha Legal já arrecadou em torno de 400 toneladas de tampas plásticas oriundas de todo país (TAMPINHA LEGAL, 2019).

O presente trabalho traz um estudo baseado na caracterização de tampas de garrafa pós-consumo doadas pelo programa Tampinha Legal, com objetivo de direcionar e reinserir adequadamente, esse tipo de resíduo na cadeia circular.

## 2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é identificar a composição de flocos proveniente do beneficiamento de tampas de garrafa pós-consumo pela caracterização de suas propriedades para que esse tipo de resíduo possa ser reinserido de forma adequada na cadeia circular.

## 3. METODOLOGIA

Todas as análises descritas nesse trabalho foram executadas no Centro de Tecnologia e Inovação da empresa Braskem S.A.

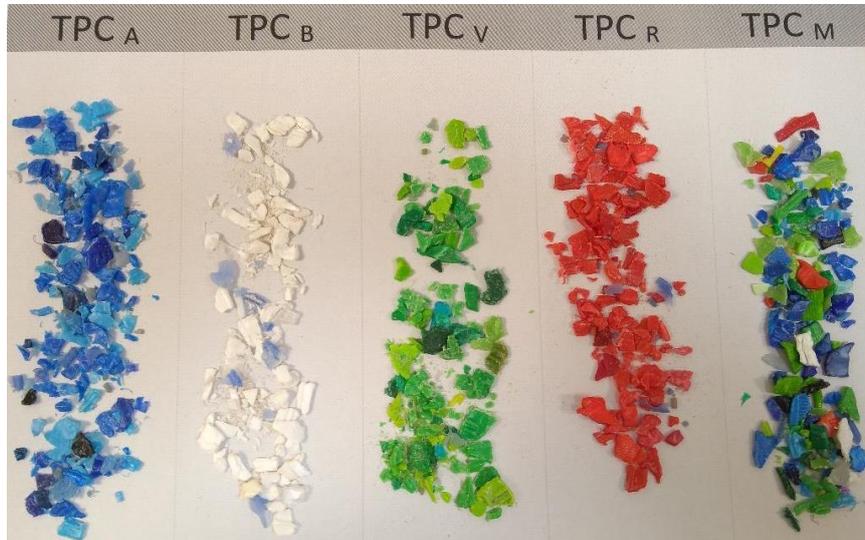
### 3.1. Materiais

As amostras foram doadas a partir do programa Tampinha Legal. Foram recebidos cinco conjuntos de amostras de flocos provenientes do beneficiamento de tampas de garrafa pós-consumo segregadas por cor e moídas em moinho de facas (Figura 1). As amostras foram identificadas com a sigla TPC<sub>x</sub>, que significa Tampa pós-consumo e a última letra é referente à classificação por cor da mesma conforme pode ser verificado na tabela 1:

**Tabela 1.** Simbologia das amostras avaliadas

Sigla	Referência
TPC <sub>A</sub>	Tampa pós-consumo azul
TPC <sub>B</sub>	Tampa pós-consumo branca
TPC <sub>V</sub>	Tampa pós-consumo verde
TPC <sub>R</sub>	Tampa pós-consumo vermelha
TPC <sub>M</sub>	Tampa pós-consumo mista

Figura 1. Amostras de flocos provenientes de beneficiamento de tampas pós-consumo segregadas por cor.

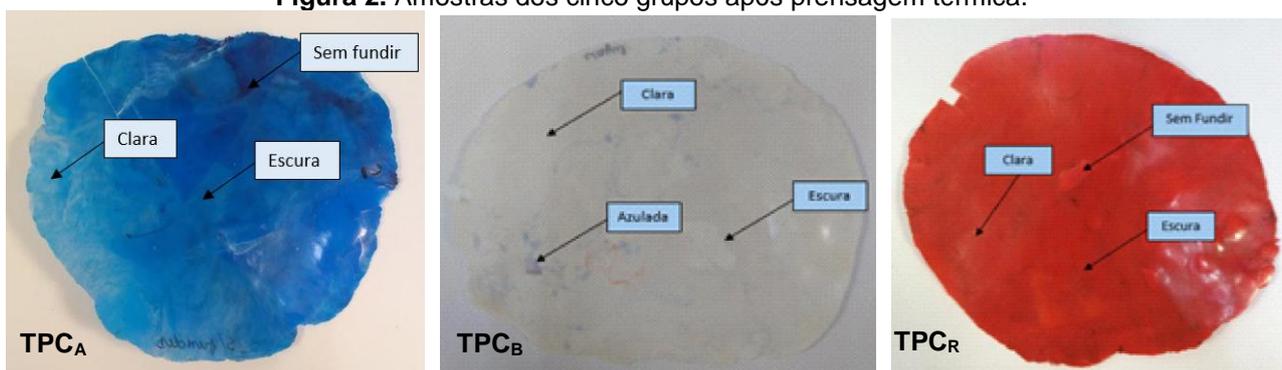


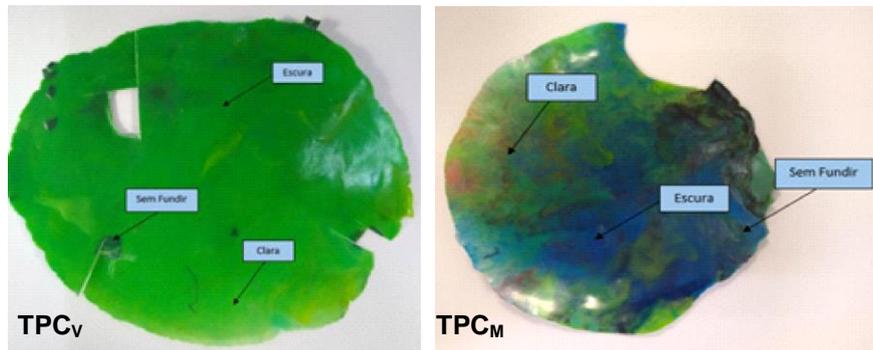
### 3.2 Preparação de corpos de prova

Para as análises de DSC e FTIR foram confeccionados filmes prensados de aproximadamente 300µm de espessura cada. Para isso, utilizou-se uma prensa hidráulica Marconi, modelo MA 098/A, e de molde, filmes opacos de poliéster com o intuito de melhorar a uniformidade e regularidade na espessura do filme, além de eliminar o brilho. A temperatura utilizada na prensa foi de 175 °C. O tempo de prensagem foi de aproximadamente 30 segundos para fundir o polímero com uma pressão mais baixa e depois mais 10 segundos com uma pressão de três toneladas. Os corpos de provas foram retirados da prensa e resfriados rapidamente com auxílio de ar sintético para uniformizar a cristalização

Os filmes foram avaliados em quatro regiões distintas que foram denominadas região clara (C), região escura (E), azulada (A) e região sem fundir (SF) conforme mostrado na Figura 2:

Figura 2. Amostras dos cinco grupos após prensagem térmica.





Para os ensaios mecânicos as amostras foram previamente injetadas e condicionadas conforme ASTM D-3641, e para fins de comparação adequada, também foi utilizado um polipropileno virgem com mesmo valor de IF das amostras analisadas.

### 3.3 Caracterização

#### 3.3.1. Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

As análises de Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), para a avaliação das informações químicas das amostras, foram realizadas no equipamento de marca Thermo Scientific, modelo Nicolet iS50 FTIR. Para a obtenção dos espectros foram utilizados 32 scans, 4 cm<sup>-1</sup> de resolução, intervalo de número de onda de 400-4700 cm<sup>-1</sup> e modo transmitância. A calibração do FTIR foi baseada na ASTM E-142.

#### 3.3.2. Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

As análises de DCS para determinação de temperatura de fusão e entalpia foram realizadas no equipamento do fabricante TA, modelo DSC Q2000 de acordo com a norma ASTM D3418. As amostras foram submetidas a um fluxo de nitrogênio de aproximadamente 50mL/min. A temperatura foi variada de -20 a 200°C com taxa de 10°C/min.

#### 3.3.3. Teor de cinzas

A determinação do conteúdo de cinzas presentes nas amostras analisadas foi realizada de acordo com a norma D 5630 (ASTM, 2006) utilizando um forno-mufla microondas Marca: CEM Modelo: Phoenix e balança semi-analítica.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.

No caso de materiais pós-consumo, a identificação do polímero a partir de misturas usadas para a obtenção desses bens deve depender de métodos combinados de medição propriedades químicas e físicas, que fazem, principalmente, a diferença entre as diferentes classes de polímeros (ME; M; P; S; R; D, 2018).

2.

### 4.1 Análise térmica por DSC

Na tabela 2 são apresentados os valores das temperaturas e entalpias de fusão dos componentes poliméricos. Na amostra TPC<sub>B</sub> não apresentou fração não fundida (SF) após a prensagem e sim uma fração azulada que não foi observada no restante das amostras. Quando se avalia o termograma com a sobreposição de todas as amostras somente na região clara fica evidente que a amostra TPC<sub>M</sub> é a que contém maior percentual de PP na mistura. Por sua vez, na sobreposição das regiões escuras a amostra TPC<sub>B</sub> é, claramente, a que apresenta menor percentual de PP pois apresenta muito  $\Delta H_{f2}$  baixo.

**Tabela 2.** Resultados de DSC das amostras dos cinco grupos após prensagem térmica.

Amostra	TPC <sub>A</sub>			TPC <sub>V</sub>			TPC <sub>M</sub>			TPC <sub>B</sub>			TPC <sub>R</sub>		
	C	E	SF	C	E	SF	C	E	SF	C	E	A	C	E	SF
Tf <sub>1</sub> (°C)	130	130	130	131	130	130	130	131	129	131	132	130	130	131	130
Tf <sub>2</sub> (°C)	164	164	165	165	162	166	163	162	165	162	163	162	162	84	163
ΔHf <sub>1</sub> (J/g)	125	68	18	205	120	14	26	136	55	123	154	70	156	163	151
ΔHf <sub>2</sub> (J/g)	22	41	73	1	29	73	59	18	46	20	8	30	11	37	12
%PP na mistura	37	68	100	2	48	100	98	30	77	33	13	50	18	62	20

Nas figuras 3 e 4 são apresentadas as curvas sobrepostas dos 5 grupos de amostras da região clara e escura dos filmes. Observando o termograma de todas as amostras foi possível evidenciar claramente, em todas elas, a presença de uma mistura de PE (Polietileno) e PP (Polipropileno) (CANEVAROLO, 2004).

**Figura 3.** Curvas de DSC sobrepostas da região clara das amostras dos cinco grupos avaliados.

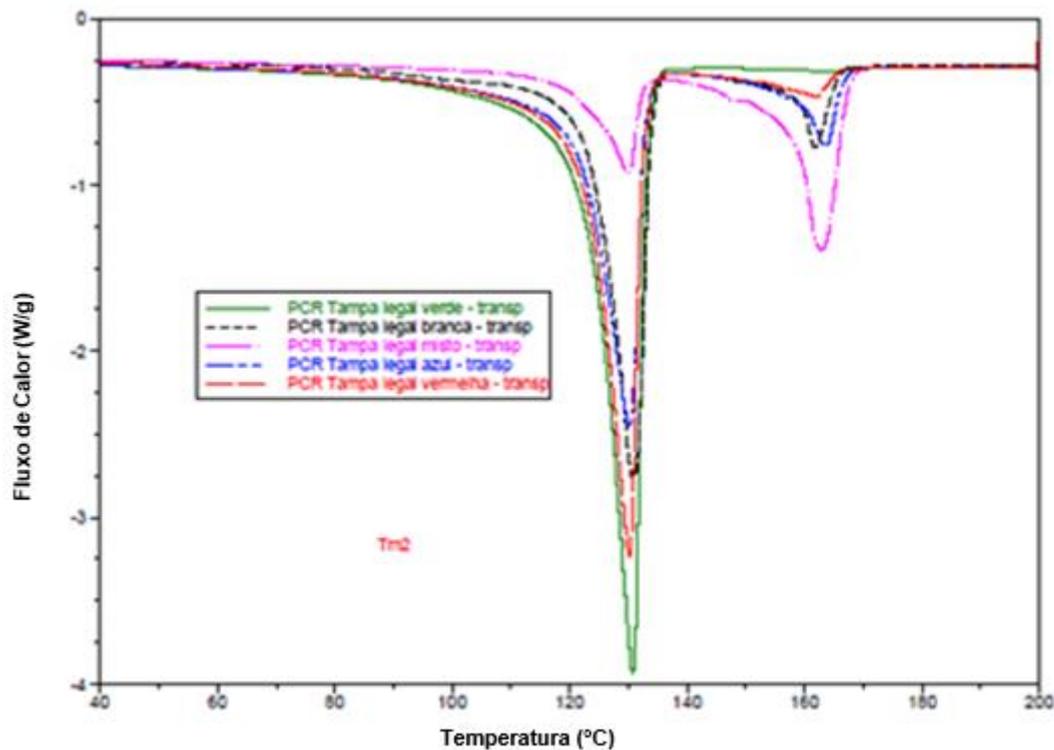
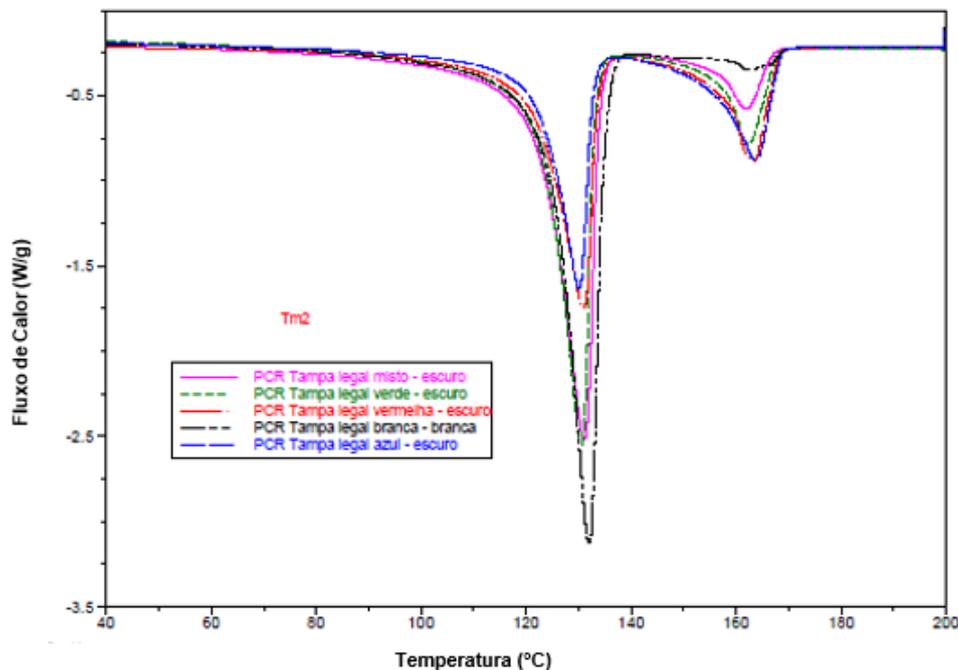


Figura 4. Curvas de DSC sobrepostas da região das amostras dos cinco grupos avaliados.



## 4.2 FTIR

Nas figuras 5 a 9 são mostrados os espectros de infravermelho das amostras dos cinco grupos respectivos. Em cada grupo foram analisadas as regiões claras, escuras e a região SF, através dos espectros sobrepostos. Para todas as amostras o espectro foi analisado seguindo as mesmas regiões analisadas no DSC, e apresentaram bandas características de polietileno, polipropileno e bandas de baixa intensidade em  $1740$ ,  $1240$  e  $1020\text{ cm}^{-1}$  características de EVA, mais intensa na parte escura da amostra.

O espectro obtido da região clara apresentou bandas características de EVA, bandas características de compostos aromáticos, podendo indicar a presença de SEBS, SBS e outros, e bandas em  $997$ ,  $970$  e  $840\text{ cm}^{-1}$  características de propeno. Devido à presença de EVA não é possível confirmar se a parte possui ou não polietileno.

Na amostra  $\text{TPC}_M$  foi encontrado uma banda em  $875\text{ cm}^{-1}$  característica de carbonato de cálcio. A mesma banda foi encontrada nas amostras  $\text{TPC}_B$  e  $\text{TPC}_R$  porém somente nessas últimas com uma deformação espectral típica de  $\text{TiO}_2$ . Estes resultados indicam que as tampas contem pigmentos brancos inorgânicos além dos orgânicos (azul, vermelho e verde).

Figura 5. Espectros FTIR sobrepostos da amostra TPC<sub>A</sub>

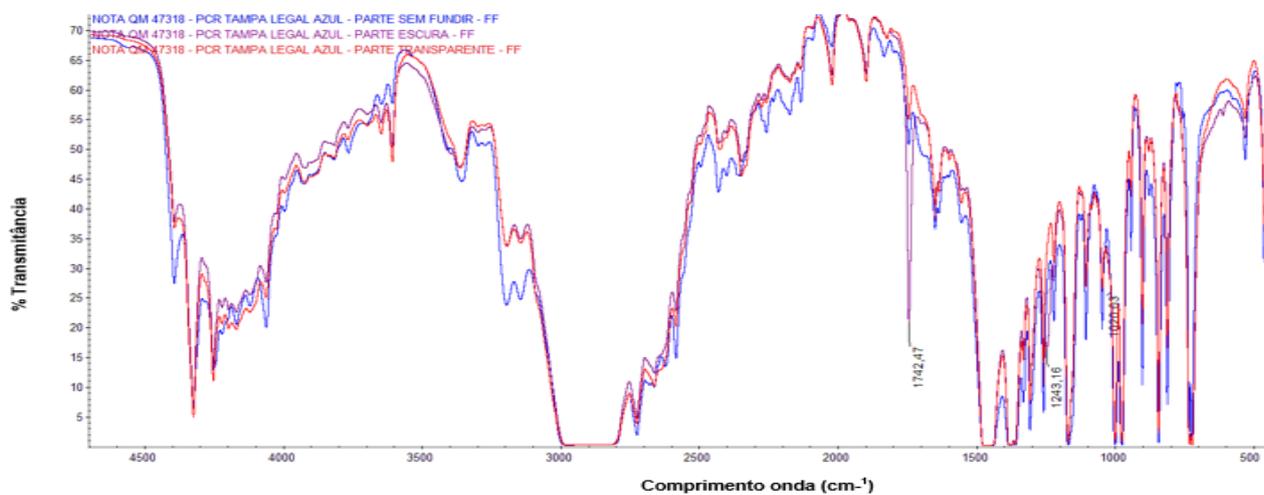


Figura 6. Espectros FTIR sobrepostos da amostra TPC<sub>v</sub>

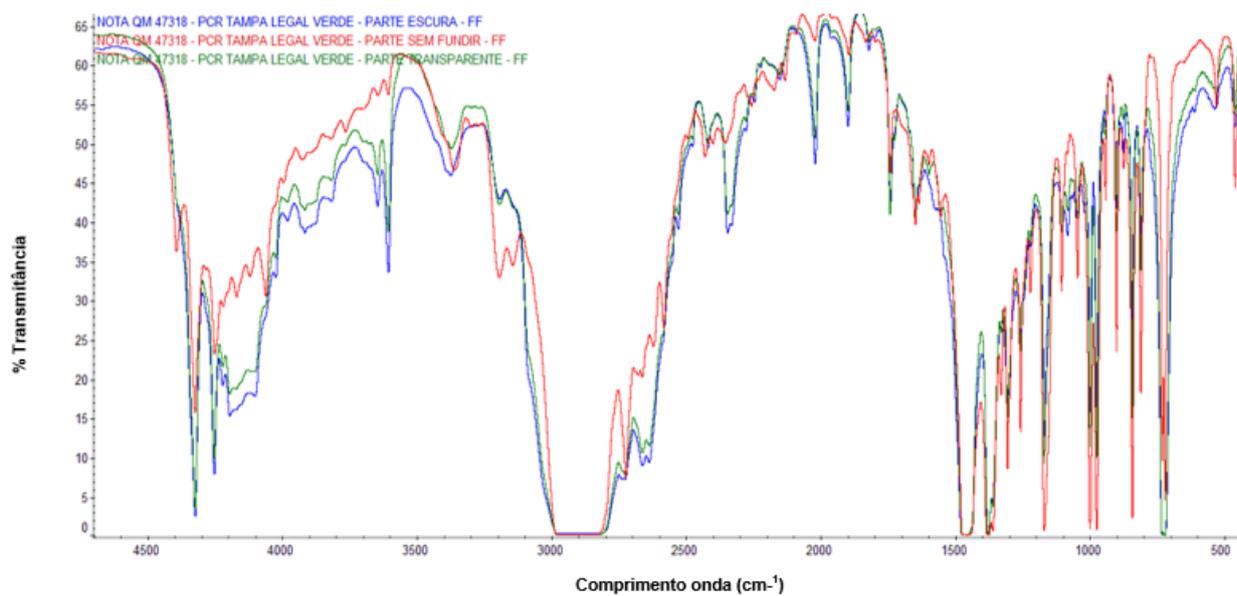


Figura 7. Espectros FTIR sobrepostos da amostra TPC<sub>M</sub>

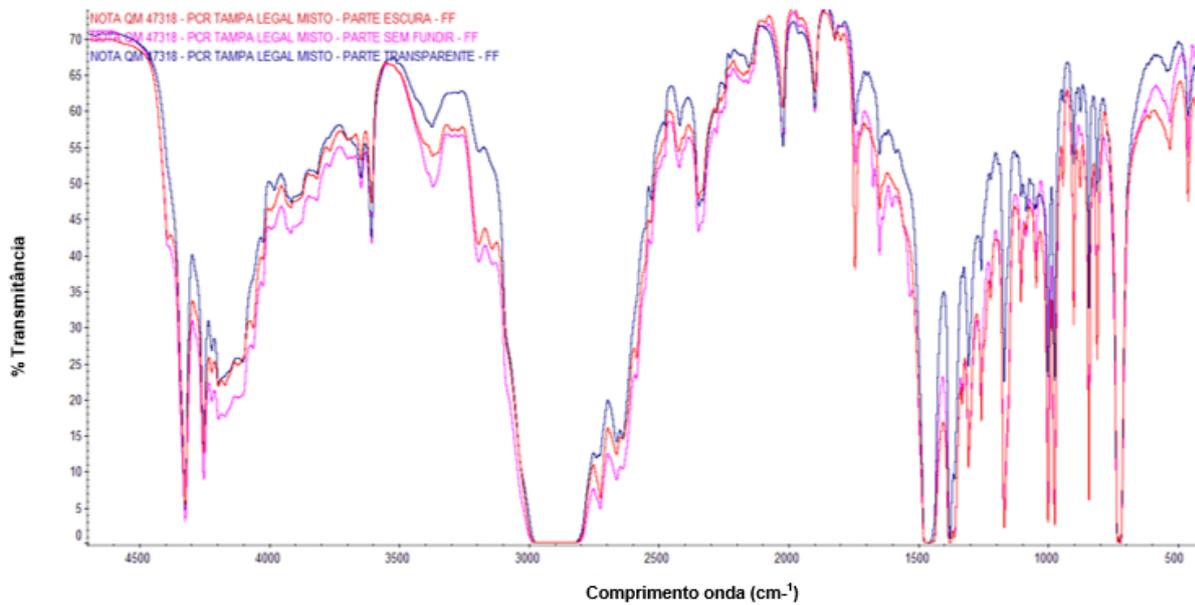


Figura 8. Espectros FTIR sobrepostos da amostra TPC<sub>B</sub>

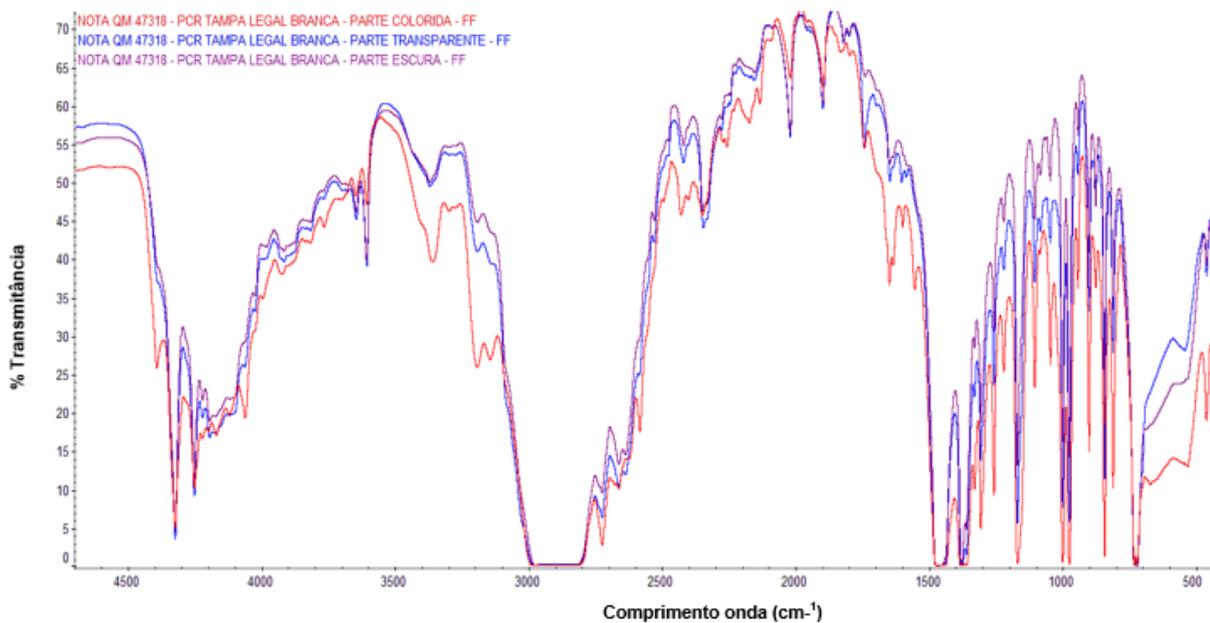
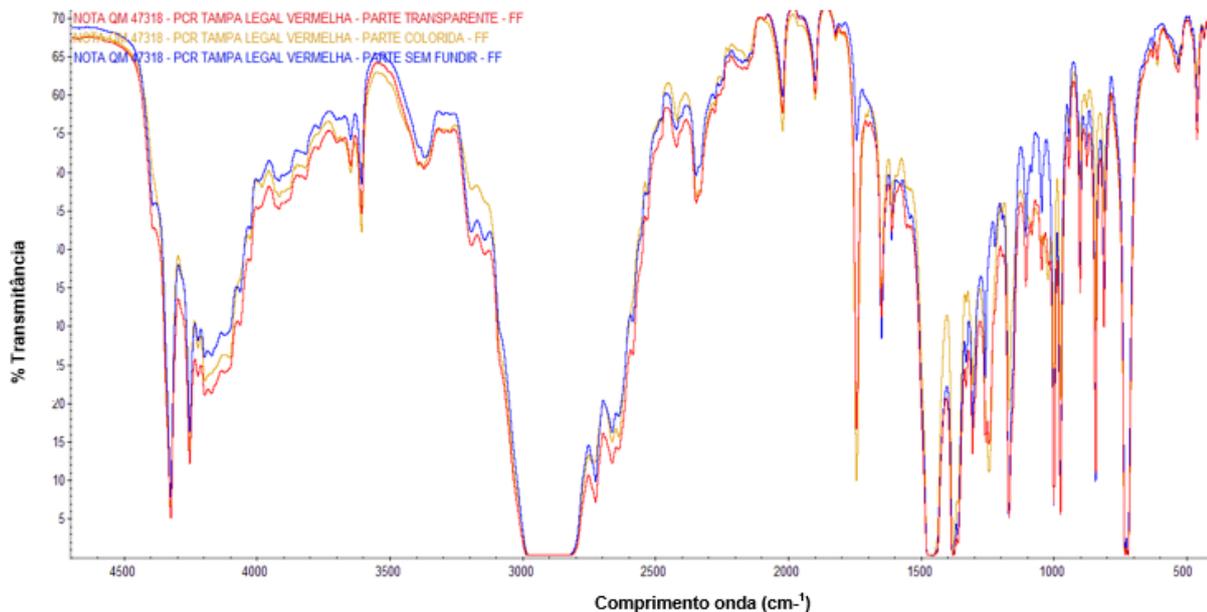


Figura 9. Espectros FTIR sobrepostos da amostra TPC<sub>R</sub>



Os espectros de FTIR detectaram a presença de EVA, que pode ser atribuído ao *liner* de algumas tampas (NOGUEIRA, Luciano M. *et al*, 2007)

#### 4.3 Teor de Cinzas

Os resultados de teor de cinzas (Tabela 3) mostram que a amostra TPC<sub>B</sub> apresenta um resultado duas vezes e meia maior que as demais, o que já era esperado em virtude de que amostras brancas necessitem de mais carga para atingir a cor desejada durante a sua produção. Este resultado confirma os resultados detectados por FTIR.

Tabela 3. Resultados de Cinzas das amostras dos cinco grupos avaliados.

Amostra	Resultado (ppm)
TPC <sub>A</sub>	4964 ± 5
TPC <sub>V</sub>	3441 ± 4
TPC <sub>M</sub>	4852 ± 5
TPC <sub>B</sub>	10132 ± 11
TPC <sub>R</sub>	3020 ± 3

#### 4.4

#### 4.5 Propriedades mecânicas

Na tabela 4 são apresentados os resultados das propriedades mecânicas dos ensaios de tração, tração na solda e flexão.

Em relação aos resultados dos ensaios mecânicos encontrou-se valor mais alto de resistência mecânica no PP virgem para todos os parâmetros avaliados.

Para a tensão no escoamento, tensão na ruptura e módulo de flexão fica evidente que quando comparadas ao PP virgem, todas amostras apresentaram desempenho inferior porém semelhantes entre si e na média de 23,5MPa, 16,8MPa e 727MPa respectivamente, sendo a amostra TPC<sub>A</sub> a que teve um valor levemente superior. Em alongamento no escoamento todas as amostras apresentaram resultados equivalentes ao PP virgem. Para o alongamento na ruptura o PP virgem

teve desempenho superior o inverso do apresentado pela amostra TPC<sub>R</sub>. Avaliando a propriedade de tração na solda o pior desempenho foi evidenciado pela amostra TPC<sub>B</sub>.

O melhor desempenho mecânico no material virgem em relação as misturas de material reciclado confirmaram o que já era esperado de acordo com dados de literatura, que informa reduções de cerca de 30% na propriedades mecânicas quando se excuta comparativos semelhantes (BLOM; TEH; RUDIN, 1998).

Por fim, a segregação do material por cor pareceu trazer influencia somente nos resultados da TPC<sub>V</sub> no parâmetro de alongamento na ruptura e força máxima de tração na solda o que pode ser atribuído a característica microestrutural do PE que apresenta cadeias mais longas o que justifica o aumento em tais propriedades (COUTINHO *et al.*, 2003).

**Tabela 4.** Resultados ensaios mecânicos das amostras dos cinco grupos avaliados.

Amostra	Tração				Tração na solda	Flexão
	$\sigma$ Escoamento (MPa)	$\sigma$ Ruptura (MPa)	Along. escoamento (%)	Along. ruptura (%)	Força max (N)	Módulo Secante 1% (MPa)
TPC <sub>A</sub>	24,4 ± 0,1	17,4 ± 0,2	12,4 ± 0,2	239 ± 24,7		810 ± 10
TPC <sub>B</sub>	23,9 ± 0,2	16,7 ± 0,5	12,5 ± 0,1	239 ± 30,6	367 ± 33	712 ± 8
TPC <sub>V</sub>	22,9 ± 0,1	16,4 ± 0,3	12,3 ± 0,2	269 ± 23,7	714 ± 17	688 ± 15
TPC <sub>R</sub>	23,7 ± 0,2	16,9 ± 0,6	12,5 ± 0,1	183 ± 22,1	551 ± 26	711 ± 37
TPC <sub>M</sub>	23,6 ± 0,1	16,5 ± 0,4	11,8 ± 0,2	229 ± 50,7	431 ± 37	717 ± 11
PP	32,4 ± 0,2	21,1 ± 0,3	11,6 ± 0,1	330 ± 59,4	849 ± 77	1112 ± 14

## 5. CONCLUSÃO

Amostras de tampas de garrafas pós-consumo foram avaliadas quanto a sua composição quando segregadas por cor ou não, utilizando técnicas de laboratório como caracterização espectroscópica, propriedades térmicas, teor de cinzas, e propriedades mecânicas.

Foi possível observar uma mistura de PP e PE em todas as amostras sendo que quando a amostra foi segregada na cor verde (TPC<sub>V</sub>) a presença do PE ficou mais evidente na mistura.

A segregação por cor pareceu exercer pouca ou nenhuma influência sobre as propriedades mecânicas quando comparadas ao mesmo tipo de material virgem, exceto para a amostra TPC<sub>V</sub>.

Tensão no Escoamento, Tensão na Ruptura e Módulo de Flexão apresentaram um valor levemente superior para amostra TPC<sub>A</sub>. No entanto, se faz necessário estudar esses parâmetros de forma mais aprofundada, uma vez as amostras apresentam uma mistura de PP e PE e o material virgem que se utilizou no comparativo trata-se de um PP puro.

Finalmente, o presente estudo também mostrou que a segregação por cor de tampas de garrafa pós-consumo proporciona uma adequada caracterização do material, elevando suas propriedades o que influencia diretamente no potencial de reinserção na cadeia circular do produto. O produto reciclado apresenta grandes possibilidades de aplicação no mercado de tampas, móveis de jardim, utilidades domésticas que sejam moldadas pelo processo de injeção ou extrusão.

## 3. REFERÊNCIAS

BLUEVISION. Braskem (org.). **Brasil tem bom índice de coleta de lixo plástico, mas recicla pouco**: Inteligencia. 2019. Disponível em: <https://bluevisionbraskem.com/inteligencia/brasil-tem-bom-indice-de-coleta-de-lixo-plastico-mas-recicla-pouco/>. Acesso em: 24 fev. 2020

BLOM, H. P.; TEH, J. W.; RUDIN, A.. PP/PE blends. IV. Characterization and compatibilization of blends of postconsumer resin with virgin PP and HDPE. **Journal Of Applied Polymer Science**,

[S.L.], v. 70, n. 11, p. 2081-2095, 12 dez. 1998. Wiley. [http://dx.doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4628\(19981212\)70:113.0.co;2-4](http://dx.doi.org/10.1002/(sici)1097-4628(19981212)70:113.0.co;2-4). Disponível em:

[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19981212\)70:11%3C2081::AID-APP2%3E3.0.CO;2-4](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/(SICI)1097-4628(19981212)70:11%3C2081::AID-APP2%3E3.0.CO;2-4). Acesso em: 25 jul. 2020.

CANEVAROLO, Sebastião (ed.). **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2004.

COUTINHO, Fernanda M. B. *et al.* Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 01-13, jan. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282003000100005>. Disponível em:

[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14282003000100005&lng=pt&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000100005&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 23 jul. 2020.

ME, Grigore; M, Ladaniuc; P, Simona-Florentina; S, Doncea; R, Stoica; D, Dimonie. Recycling of Post-Consumer Goods Considering New Approaches on Polymer Identification. **Polymer Science**, [S.L.], v. 04, n. 01, p. 1-8, jan. 2018. OMICS Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.4172/2471-9935.100029>. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/326511372\\_Recycling\\_of\\_Post-Consumer\\_Goods\\_Considering\\_New\\_](https://www.researchgate.net/publication/326511372_Recycling_of_Post-Consumer_Goods_Considering_New_). Acesso em: 25 jul. 2020.

NOGUEIRA, Luciano M. *et al.* Avaliação da aplicabilidade de técnicas MIC/FT-IR/DSC para a caracterização de filmes multicamadas. **Polímeros**, São Carlos, v. 17, n. 2, p. 158-165, June 2007. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14282007000200015&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282007000200015&lng=en&nrm=iso)>. access on 25 July 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282007000200015>.

SERRANTI, S; Bonifazi, G. Post-Consumer Polyolefins (PP-PE) Recognition by Combined Spectroscopic Sensing Techniques. **The Open Waste Management Journal**. V.3, 35-45, 2010.

SHENT, Huiting; PUGH, R.j.; FORSSBERG, E.. A review of plastics waste recycling and the flotation of plastics. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 25, n. 2, p.85-109, fev. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0921-3449\(98\)00017-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0921-3449(98)00017-2).

TAMPINHA LEGAL (Rs). **Relatorios: Geral**. 2019. Disponível em: <https://tampinhalegal.com.br/web/>. Acesso em: 24 fev. 2020.