

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA TÊXTIL
ENGENHARIA TÊXTIL**

PRISCILLA SAYURI NAKAZAWA

**CARACTERIZAÇÃO DAS CÁPSULAS DE CAFÉ
PÓS-CONSUMO COM VISTA À SUA EVENTUAL
RECICLAGEM PELA INDÚSTRIA TÊXTIL**

APUCARANA

2017

PRISCILLA SAYURI NAKAZAWA

**CARACTERIZAÇÃO DAS CÁPSULAS DE CAFÉ
PÓS-CONSUMO COM VISTA À SUA EVENTUAL
RECICLAGEM PELA INDÚSTRIA TÊXTIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Maria Ferrari Lima

**APUCARANA
2017**



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Apucarana



COENT – Coordenação do curso superior em Engenharia Têxtil

TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso:

Caracterização das cápsulas de café pós-consumo com vista à sua eventual reciclagem pela indústria têxtil

por

PRISCILLA SAYURI NAKAZAWA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado ao primeiro dia do mês de dezembro do ano de dois mil e dezessete, às dez horas, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Têxtil do curso de Engenharia Têxtil da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinado. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

PROFESSOR(A) VALQUIRIA APARECIDA DOS SANTOS RIBEIRO – ORIENTADORA

PROFESSOR (A) LEANDRO VICENTE GONÇALVES – EXAMINADOR(A)

PROFESSOR(A) FERNANDA RODRIGUES DE CAMARGO – EXAMINADOR(A)

*A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família que sempre me apoiou e me encorajou a investir nos estudos.

À Professora Valquíria por ter aceitado me orientar neste trabalho, pela proposta do tema da pesquisa e por contribuir com todo o seu conhecimento.

Aos Professores Samira, Joziel e Bruno, por me apoiarem, principalmente na realização de experimentos.

À banca examinadora, por darem sugestões ao presente trabalho.

Aos meus amigos pelo companheirismo durante toda essa caminhada.

Aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná que foram fundamentais para minha formação.

À Deus por eu estar aqui hoje concretizando mais essa realização.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para realização desse trabalho.

RESUMO

NAKAZAWA, Priscilla Sayuri. **Caracterização das cápsulas de café pós-consumo com vista à sua eventual reciclagem pela indústria têxtil**. 2017. 38 páginas. Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Têxtil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2017.

As máquinas de café expresso em cápsula tornaram o preparo do café muito mais rápido e prático. No entanto, com semelhante rapidez são gerados resíduos provenientes do descarte das cápsulas e esses que deveriam ser reutilizados ou reciclados, em detrimento da disposição em aterros sanitários, na realidade não o são. Diante disso, o uso de cápsulas de café pela indústria têxtil pode ser uma potencial via de reciclagem, dando uma adequada destinação a esses resíduos. Para tanto, foi realizada a caracterização das cápsulas pelas técnicas espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e termogravimétrica (TG). Por essas técnicas pode-se verificar a presença de polipropileno, porém não foram eficientes na identificação das outras camadas. Portanto, sugeriu-se a utilização de outras técnicas para caracterização, que em conjunto com as informações já obtidas, torne possível a reciclagem das cápsulas de café para obtenção de filamentos têxteis.

Palavras chave: Cápsulas de café. FTIR. TG. Polipropileno. Poli(etileno-co-álcool vinílico). Indústria têxtil.

ABSTRACT

NAKAZAWA, Priscilla Sayuri. **Characterization of post-consumer coffee capsules with the view to their eventual recycling by the textile industry.** 2017. 38 pages. Textile Engineering Dissertation – Federal Technological University of Paraná. Apucarana, 2017.

The espresso coffee machines fed by capsules made coffee preparation much quicker and more practical. However, waste from the capsules' disposal is generated and not reused or recycled as it should, opposing to its disposal in landfills. Therefore, the use of coffee capsules by the textile industry may be a potential recycling route, giving an adequate destination for these residues. For this purpose, the characterization of the capsules by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and thermogravimetric were performed. By these techniques, the presence of polypropylene could be verified, but they were not efficient in the identification of the other layers. Therefore, it was suggested to use other techniques for characterization, which together with the information already obtained, make it possible to recycle the coffee capsules to obtain textile filaments.

Keywords: Coffee capsules. FTIR. TG,. Compatibilizing agent. Polypropylene. Poly(ethylene-co-vinyl alcohol).Textile industry.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APR	Associação de Recicladores de Plástico
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
DSC	Calorimetria exploratória diferencial
EVOH	Poli(etileno-co-álcool vinílico)
FTIR	Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MIC/FTIR	Microscopia acoplada ao FTIR
MO	Microscopia ótica
PET	Polietileno tereftalato
PP	Polipropileno
T_i	Temperatura de decomposição inicial
T_m	Temperatura da taxa máxima de degradação
T_e	Temperatura de extrusão
T_f	Temperatura de fusão
T_g	Temperatura de transição vítrea
TG	Termogravimetria
T_s	Temperatura de spinning
URM	Unidades de Reciclagem de Materiais

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da cápsula de café.	20
Figura 2 – Modos de vibração	24
Figura 3 – Espectros FTIR – (a) cápsula; (b) PP puro; (c) comparação.....	28
Figura 4 – Curva TG/DTG da cápsula de café.	30
Figura 5 - Esquema do processo de fiação por fusão	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estimativa dos benefícios econômicos da reciclagem.	17
Tabela 2 – Atribuições das principais bandas do espectro de infravermelho das cápsulas de café.	29
Tabela 3 – Temperaturas de perda de massa.....	30
Tabela 4 – Propriedades das fibras de polipropileno.	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 RESÍDUOS.....	15
2.2 RECICLAGEM.....	16
2.2.1 Reciclagem Mecânica	17
2.3 CÁPSULAS DE CAFÉ DE PLÁSTICO	19
2.3.1 Filmes multicamadas.....	22
2.4 TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA CARACTERIZAÇÃO.....	23
2.4.1 Espectroscopia no infravermelho por transformada de fourier (FTIR).....	23
2.4.2 Termogravimetria (TG).....	24
3 METODOLOGIA	25
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	25
3.2 COLETA DE DADOS	26
3.3 MATERIAL	26
3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS CÁPSULAS.....	26
3.4.1 Espectroscopia no infravermelho por transformada de fourier (FTIR).....	26
3.4.2 Termogravimetria (TG).....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).....	27
4.2 TERMOGRAVIMETRIA (TG)	29
4.3 APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA TÊXTIL	31
5 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

O café é umas das bebidas mais consumidas do mundo e é a segunda maior *commodity* mundial depois do petróleo em valor de mercado. São cerca de 80 países que cultivam o café e das várias espécies do gênero *Coffea*, apenas a *Coffea arabica* (i.e., Arabica) e a *Coffea canephora* (i.e., Robusta) são cultivadas para a produção comercial (MURTHY; MADHAVA NAIDU, 2012; ZUORRO; LAVECCHIA, 2012).

Diferentes métodos são utilizados para o preparo do café. Embora a técnica mais comumente utilizada seja a infusão do café por filtração, o café expresso tem seu uso cada vez mais difundido mundialmente (CAPORASO et al., 2014). O preparo do café expresso ocorre por técnica de infusão especial, onde uma quantidade limitada de água quente sob alta pressão é percolada num tempo muito curto através de um bolo de café moído (ALVES; CASAL; OLIVEIRA, 2007).

Atualmente os expressos são processados em máquinas de café expresso específicas que funcionam com cápsulas ou sachês. As doses únicas são pré-embaladas contendo café pré-medido e pré-empacotado. Quando embalado em sachê o pó de café é hermeticamente fechado entre duas camadas finas de papel revestidas com uma camada de selagem a quente de polietileno de baixa densidade, enquanto na cápsula o café é embalado em um invólucro de plástico ou alumínio cilíndrico (DI BELLA et al., 2014).

Esse sistema contribuiu muito para facilitar o preparo do café expresso e as cápsulas por apresentarem maior resistência que os sachês também trouxeram a vantagem de fornecerem proteção à luz, à umidade e ao oxigênio, conservando o aroma e o sabor. Apesar das vantagens, surgem algumas preocupações sobre a quantidade de resíduos gerados por esse sistema (BOLTON, 2015).

A Keurig Green Mountain, em 2015, vendeu mais de 9 bilhões de suas tradicionais monodoses em cápsulas de café plásticas (GELLES, 2016). As melhores estimativas dizem que uma fileira de K-Cups seria suficiente para circundar o globo 10,5 vezes (BRADBURY, 2015). Sua concorrente a Nespresso estima-se que vendeu 28 bilhões de cápsulas em todo o mundo entre 1986 e 2013. A grande marca da Nestlé informou que coletou 75% de todas as cápsulas vendidas em todo o mundo, mas não revela quantas foram enviadas aos centros de reciclagem (HERRON, 2013).

A grande problemática está na dificuldade de reciclar as cápsulas e por isso que até 75% estão sendo enviadas para o aterro a cada minuto (OREILLY, 2017). As cápsulas são frequentemente compostas por uma folha de alumínio no topo, um filtro de papel e borra de café. Juntamente com o invólucro são quatro fluxos de resíduos em apenas um produto, tornando onerosa sua separação e posterior reciclagem (BRADBURY, 2015).

Diante disso, surgem a todo momento novas alternativas mais sustentáveis no mercado para a cápsula de café. Eason Chow, um designer de Cingapura, criou cápsulas revestidas de açúcar que dissolvem na água. No ano passado, Caffè Vergnano, um produtor italiano desenvolveu sua própria cápsula de biopolímero que se degrada naturalmente. E a Ethical Coffe Company fabrica cápsulas a partir de fibras vegetais, que se degradam dentro de 6 meses após o uso em uma compostagem industrial (BBC NEWS, 2016).

É neste contexto que se insere esta pesquisa, ao explorar a potencialidade da reciclagem das cápsulas de café no âmbito têxtil, com a caracterização desse material. Assim, propiciando a não deposição das cápsulas em aterros ao oferecer uma alternativa mais adequada aos resíduos.

Portanto, a pesquisa busca a resposta da seguinte questão: A composição da cápsula torna viável a sua reciclagem para aplicabilidade pela indústria têxtil?

1.1 JUSTIFICATIVA

A Halo (2017), uma empresa que só vende seus produtos em cápsulas de café completamente biodegradáveis, afirma que 39.000 cápsulas de café a nível mundial são produzidas a cada minuto, com até 29.000 destes enviados para o aterro. Assim, embora as empresas classifiquem as cápsulas como objetos recicláveis, a maioria delas não estão sendo recicladas.

Feitas de uma combinação de plásticos e alumínio com matéria orgânica, sua reciclagem requer separação e processamento adicional, não sendo recicláveis na infraestrutura atual. A infraestrutura atual da indústria de reciclagem foi estabelecida principalmente para coletar garrafas de plástico (PET) e latas de alumínio (KEURIG GREEN MOUNTAIN, 2016).

As cápsulas que tem um tamanho muito menor que esses materiais provavelmente iriam cair através das telas das Unidades de Reciclagem de Materiais (URM) e seguiriam para os aterros, demorando de 150 a 500 anos para se decompor (FERGUSON; O'NEILL, 2016; HANCHER, 2016).

Em decorrência dessa situação, a pressão por alternativas mais sustentáveis aumenta. Atualmente, uma opção crescente são as cápsulas biodegradáveis, porém, na maioria das vezes elas precisam passar por uma compostagem comercial, caso contrário agem como qualquer outro material biológico no aterro, decompondo e potencialmente gerando metano (DEAN, 2016).

Programas de reciclagem de cápsula de café, como as oferecidas pela Nespresso, é uma outra alternativa. No entanto, segundo a Proteste (2016), as embalagens da marca vão contra a Política Nacional de Resíduos Sólidos, ao não informar sobre a forma correta de descarte do material após o uso, contribuindo para que as cápsulas encontrem como seu destino as lixeiras comuns.

Fica evidenciado que apesar de todos os esforços pela busca de alternativas, estas ainda podem apresentar efeitos ambientais negativos. Enquanto as pessoas não se orientarem para práticas de redução, como as da cidade de Hamburgo que encontrou como solução a proibição de cápsulas de café em todos edifícios e instituições governamentais de toda a cidade, novas alternativas devem ser pesquisadas (BBC NEWS, 2016).

A indústria têxtil pode surgir como opção para a reciclagem de plásticos, a exemplo das garrafas de polietileno tereftalato (PET), que vem sendo utilizadas na produção de fibras de poliéster. Cerca de 40% das garrafas PET utilizadas na Europa são agora reprocessadas em fibras, reduzindo diariamente grandes quantidades de lixo no meio ambiente e oceanos (PERFORMANCE DAYS, 2016).

Seguindo esta premissa, esta pesquisa visa a possível reciclagem das cápsulas de café expresso pela industrial têxtil, pela determinação da sua composição.

1.2 OBJETIVOS

Fundamentado pelo tema proposto, são estabelecidos os objetivos que se espera obter com esta pesquisa, desde os de natureza geral até os específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Caracterização das cápsulas de café pós-consumo por técnicas analíticas e busca por aplicação na indústria têxtil.

1.2.2 Objetivos Específicos

Com o intuito de se alcançar o objetivo geral, foram traçados os objetivos específicos:

- a) determinar o material que será analisado;
- b) caracterizar por espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR);
- c) caracterizar por termogravimetria (TG); e,
- d) buscar por possível aplicação dos resíduos na indústria têxtil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A base teórica deste trabalho foi dividida em cinco tópicos relevantes. São inicialmente apresentados a definição e classificação de resíduos. Em segundo, são destacados os benefícios da reciclagem, além do uso da reciclagem mecânica voltada para os resíduos poliméricos. No terceiro tópico, é apresentado a estrutura da cápsula de café. No quarto tópico, são abordadas as técnicas analíticas para caracterização.

2.1 RESÍDUOS

O conceito de resíduos está invariavelmente associado a um material ou substância sem uso, valor ou que não apresente serventia no seu estado original para reincorporação no circuito produtivo (SCHMIDT; SILVA, 2000; WHITE; FRANKE; HINDLE, 1995). Em congruência, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) define os resíduos como os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como material inútil, indesejável ou descartável, podendo-se apresentar no estado sólido e semissólido. Ficam também incluídos nesta definição os resíduos no estado líquido, desde que não sejam passíveis de tratamento convencional.

Os resíduos podem ser classificados por uma multiplicidade de maneiras, quanto à natureza ou origem (p. ex., doméstico); quanto ao estado físico (p. ex., sólido); quanto ao seu uso original (p. ex., embalagens); quanto ao material do qual é fabricado (p. ex., vidro); quanto as propriedades físicas (p. ex., inflamável) ou quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente (WHITE, FRANKE, HINDLE, 1995).

No entanto, os resíduos sólidos são comumente classificados por essa última abordagem mencionada, como determinado pela NBR 10004 da ABNT (2004), no qual os divide em duas classes:

- a) classe I – perigosos: são aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam risco à saúde pública com o aumento dos índices de mortalidade e morbidade, ou ainda provocam riscos ao meio ambiente quando gerenciados inadequadamente;

- b) classe II – não perigosos: são aqueles que, por suas propriedades específicas, não apresentam significativo risco à saúde pública ou ao meio ambiente.
- c) A classe II, por sua vez, se subdivide em mais duas:
- d) classe II A – não inertes: são resíduos que podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água e não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – perigosos ou de resíduos
- e) classe II B – inertes: são quaisquer resíduos que quando submetidos ao teste de solubilização, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Os resíduos poliméricos pós-consumo desde que não contaminados com óleos são considerados, segundo a norma supracitada, como resíduos não perigosos pertencentes a Classe II. No entanto, devido ao seu descarte inadequado eles têm gerado grande impacto ao meio ambiente e isto se deve também ao fato de possuírem uma lenta degradação, os tornando responsáveis pela redução progressiva da capacidade do aterro sanitário (SPINACÉ; PAOLI, 2005).

E uma das ações mais importantes atualmente disponíveis para reduzir esses impactos é a reciclagem.

2.2 RECICLAGEM

A reciclagem dos resíduos sólidos é o reprocessamento de materiais no final da vida do produto para a reinserção no ciclo de produção (WORREL; REUTER, 2014). Esta atividade é o segundo nível na hierarquia das opções de gestão de resíduos para solucionar o problema da destinação final dos resíduos sólidos e juntamente com a reutilização e a redução integra os princípios dos “três R’s” (IBGE, 2015).

A cadeia de reciclagem envolve várias etapas que objetivam agregar tanto valor econômico, quanto ecológico para os bens de pós-consumo, pode-se mencionar: o processo de gerenciamento de resíduos a iniciar pelo descarte, passando pela coleta, triagem, composição de fardos, comercialização do material,

logística de transporte, beneficiamento pela indústria e, por fim, o desenvolvimento do mercado para o novo produto (GONÇALVES-DIAS et al., 2010).

De acordo com os dados do Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE, 2015) das 173,7 mil toneladas/dia de resíduos urbanos coletados no Brasil, apenas 18% deste total são encaminhados para a reciclagem. Apesar desse baixo percentual de reaproveitamento as taxas de reciclagem brasileira são razoáveis, especialmente no que se refere ao papelão e o alumínio, com índices de 81% e 97,9%, respectivamente (ABRALATAS, 2016; ANAP, 2016).

Além dos ganhos ambientais e sociais, a reciclagem oferece vantagens financeiras. Os materiais ao serem reciclados, voltam a ser utilizados como matéria-prima secundária nas indústrias, acarretando na diminuição de gastos no processo de produção, no consumo de energia, na redução da poluição do ar, da água, e do solo e na extração de matéria-prima virgem (BENVINDO, 2010).

Segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2013), a substituição da celulose virgem por fibras recicladas, por exemplo, permite a economia de R\$ 330 por tonelada, metade do custo sem reciclagem (R\$ 687 por tonelada). Para o caso do alumínio, o valor cai de R\$ 6,1 mil para R\$ 3,4 mil por tonelada. Esses valores, de benefícios econômicos gerados pela reciclagem, são calculados pela diferença entre os custos gerados pela produção a partir de matéria-prima virgem e os custos gerados para a produção dos mesmos bens a partir de material reciclável. A Tabela 1 apresenta alguns dos resultados da estimativa dos benefícios econômicos da reciclagem para outros bens intermediários considerados relevantes.

Tabela 1- Estimativa dos benefícios econômicos da reciclagem.

Material	Custo da produção primária (R\$/t)	Custo da produção a partir de reciclagem (R\$/t)	Benefício líquido (R\$/t)
Aço	552	425	127
Alumínio	6.162	3.447	2.715
Celulose	687	357	330
Plástico	1.790	626	1.164
Vidro	263	143	120

Fonte: Ipea, 2013.

2.2.1 Reciclagem Mecânica

A reciclagem mecânica é a principal tecnologia usada para reciclagem de resíduos poliméricos e “consiste em submeter os materiais plásticos a processos mecânicos, moldando-os fisicamente em forma diferente da original” (FORLIN; FARIA, 2002, p.4). Segundo Spináce e Paoli (2005) a reciclagem mecânica normalmente inclui seis etapas: separação, moagem, lavagem, secagem, reprocessamento e, por fim, a transformação do polímero em produto acabado.

A separação é onde ocorre a redução dos níveis de impurezas, pois mesmo em pequenas quantidades a presença de macrocontaminantes pode alterar as propriedades do polímero. A eficiência do processo de reciclagem depende de uma uniformidade no tamanho dos resíduos, portanto esses devem ser moídos, a fim de obter partículas menores. Para remover os contaminantes da embalagem, como papel, rótulos, restante de bebidas e alimentos, etc., os resíduos devem passar pelo processo de lavagem com água ou solução de detergente aquecido (SPINACÉ; PAOLI, 2005; KOZLOWSKI, 2015).

É importante que ocorra a remoção da água pelo processo de secagem para proteger os polímeros, com o PET e a PA, de sofrerem hidrólise. Após a secagem, a depender da aplicação, são colocados aditivos como antioxidantes, plastificantes, cargas de reforço, agentes compatibilizantes, para então ocorrer o reprocessamento. Por fim, são utilizados os flocos (flakes) para obtenção de *pellets* (grânulos) ou produtos finais pelo processamento de fusão. Sendo que os métodos de transformação típicos para termoplásticos, incluem extrusão, termoformagem e moldagem por injeção (SPINACÉ; PAOLI, 2005; KOZLOWSKI, 2015).

A exemplo, uma forma de conversão de resíduos em um produto final que difere do inicial é a reciclagem mecânica de flocos de PET por extrusão por fusão para fabricação de fibras têxteis. A obtenção de fibras pode ocorrer por dois métodos, como descrito por Shen e Worrel (2014):

- a) No primeiro método os flocos são descarregados em secadores antes de serem extrusados por fusão. No entanto, antes de passar através da fieira, onde a fiação do filamento ocorre, o polímero extrusado é filtrado. Depois que os filamentos passam por um ajustador de espessura, são enviados ao processo de acabamento, onde os filamentos fiados são extraídos, secos, cortados em fibras descontínuas e embalados.
- b) No segundo método os flocos são inicialmente extrusados em grânulos, os chamados *pellets*, para então serem convertidos em fibras.

Como no método anterior, os flocos devem ser secos antes do passo de extrusão e o polímero extrusado também passa por uma etapa de filtração para sua purificação.

2.3 CÁPSULAS DE CAFÉ DE PLÁSTICO

É crescente a participação das cápsulas de café no mercado. Isso se deve a facilidade em seu uso e, em se tratando da preparação, na redução de variáveis descontroladas durante o processo, facilitando na obtenção de um café de boa qualidade.

Apesar da introdução de vários tipos de cápsulas no mercado, todas elas se enquadram em duas categorias principais: cápsulas de alumínio e plástico. Segundo, Cozzolino et al. (2015) as cápsulas plásticas podem apresentar uma estrutura em que o fundo e a parte superior da cápsula são constituídos de polipropileno (PP) ou, em outros casos, em que o topo da cápsula é uma tampa de uma camada de alumínio/bicamada de polietileno.

No entanto, atualmente são mais de 70 empresas atuantes no segmento de cápsula, apenas no mercado brasileiro (BUREAU..., 2015). Assim, a depender da marca, a composição da cápsula pode ser alterada, incluindo diferentes elementos e materiais. Um dos sistemas de cápsulas de café mais bem-sucedidos, é de responsabilidade da Nestlé e contém em princípio uma cápsula que é constituída por uma tampa, um invólucro, uma folha de extração e uma placa de extração, como visto na Figura 1 (NESTEC S.A., 2015).

Figura 1 - Estrutura da cápsula de café.

Fonte: Nescafé Dolce Gusto, 2017.

A tampa pode ser formada a partir de um material de alumínio, uma liga de alumínio ou um laminado, compreendendo pelo menos uma camada formada de alumínio ou liga de alumínio. Alternativamente, pode ser utilizado outro material adequadamente dúctil. A tampa ainda pode compreender um verniz de selagem a quente ou um adesivo de selagem a quente para melhorar a vedação da tampa ao invólucro (KONINKLIJKE..., 2016).

Já o invólucro é delimitado por um corpo substancialmente tronco-cônico, com uma parede lateral cônica, um fundo, uma abertura e uma aba anular, que se estende para fora a partir da borda interna da parede lateral. Os materiais que podem constituir a parede do corpo tronco-cônico são grupos que consistem em homopolímeros, copolímeros e suas misturas. Além disso, a uma ou mais camadas de polímero podem ser incorporadas camadas de ligação ou uma ou mais camadas de barreira para inibir a transmissão de umidade e oxigênio, no qual o poli(etileno-co-álcool vinílico) (EVOH) é um dos materiais de camada de barreira mais adequado (NESTEC S.A., 2014; KONINKLIJKE..., 2016).

A folha de extração, outro elemento da cápsula, é usualmente feita de alumínio, que se rasga ou se estica, sob uma pressão de vários bars ao ser pressionado sobre a placa de extração. Deste modo, a placa de extração deve

conter pirâmides truncada (em relevo) e uma rede de canais de fluxo (em intervalos) (NESTEC S.A., 2015).

As cápsulas de plástico são em sua maioria, feitas de poliolefinas, mais especificamente polipropileno. As cápsulas de polipropileno são vantajosas no que diz respeito ao consumo de energia e eliminação, mas impõe exigências aumentadas no mecanismo de perfuração e na proteção do aroma (QBO COFFEE GMBH, 2016). Para superar a desvantagem das pobres propriedades de barreira ao oxigênio do PP, que prejudicam o sabor e aroma, algumas empresas utilizam uma camada de EVOH intercalada entre duas camadas de PP (COZZOLINO et al., 2015).

A Nescafé Dolce Gusto líder no mercado em café em monodose em 20 países, a título de exemplo, fabrica cápsulas termoformadas em polipropileno com uma camada de barreira EVOH para fornecer proteção contra o oxigênio e prolongar a vida útil (BOLTON, 2015).

A Intelligent Blends oferece cápsulas, que eles denominam de “Eco Kups”, compostas de mistura de polipropileno reciclável com outros materiais *eco-friendly* produzindo uma cápsula com uma barreira de umidade que é até 10% menos permeável do que as cápsulas de dose única típicas de poliestireno. O fator limitante da vida útil do café é a exposição à umidade, afetando até 60% negativamente a vida útil do produto, tornando tão relevante a barreira contra esse fator. Para a empresa o PP é uma solução mais sustentável por produzir 30% menos de emissões de gases de efeito estufa e 21% de redução de água (INTELLIGENT BLENDS, 2017).

A Keurig Green Mountain fabrica os K-cups e esses eram originalmente não recicláveis, feitos de várias camadas de plástico e classificados com um código de reciclagem de resina nº 7. Atualmente a empresa está convertendo todas as cápsulas em formato reciclável de PP, mudando o código de nº 7 para nº 5, tornando a reciclagem menos complexa. Segundo a empresa o PP é aceito por 60% dos programas comunitários de reciclagem nos EUA e 93% das comunidades no Canadá (KEURIG GREEN MOUNTAIN, 2015).

Além de ser amplamente aceito para a reciclagem, o PP também traz um alto valor do mercado final para os recicladores e é crescente a demanda pós-consumo, o que cria um incentivo para a sua captura durante o processo de reciclagem. A Associação de Recicladores de Plástico (APR), em afirmativa,

identificou através de pesquisa realizada com 21 empresas a demanda de mais de 280 milhões de libras de resina pós-consumo de PP anualmente (ASSOCIATION OF PLASTIC RECYCLERS, 2015).

2.3.1 Filmes multicamadas

Os filmes multicamadas são aplicados quando existe uma busca por uma proteção melhor para o produto, extensão da vida útil de um produto embalado e escassez do material em uso. Para tanto, devem possuir características como alta neutralidade do produto; proteção contra a luz e barreira UV; excelente termoformabilidade e selagem; boas características mecânicas, boa capacidade, resistência à delaminação e cujo recurso mais relevante é a alta barreira contra oxigênio, gás, vapor de água e aroma (ENGELMANN, 2012).

Um filme multicamada comum com altas características de barreira contra o oxigênio é PP-EVOH-PP, constituído por camadas exteriores de polipropileno, duas camadas adesivas e a camada de barreira EVOH (ENGELMANN, 2012).

O EVOH, um copolímero de etileno e álcool vinílico, é produzido através de uma reação de pós-polimerização de um copolímero de poli (etileno-co-acetato de vinila) original, no qual o grupo acetóxi é convertido em um álcool secundário (LAGARÓN et al, 2001). Este material apresenta faixa de temperatura de fusão (T_f) e temperatura de transição vítrea (T_g), que a depender da composição do copolímero pode variar, de 160°C a 191°C e 48°C a 72°C (LIMA; FELISBERTI, 2005).

Além disso, o EVOH apresenta excelente propriedades de barreira a gás, razão para cada vez mais serem utilizados na indústria de embalagens como camada de barreira para proteger os alimentos da entrada de oxigênio e da perda de aroma e sabor, influenciando também no aumento da vida útil da embalagem. No entanto, os copolímeros de EVOH quando em ambientes com elevada umidade relativa, ocorre a deterioração do desempenho de sua barreira de gás. A deterioração deriva de sua afinidade pela água, que resulta em uma elevada absorção de umidade, devido a ligação de hidrogênio intermolecular e intramolecular (auto-associação) proporcionada pelos grupos hidroxila ser interceptado por moléculas de água (LAGARÓN et al, 2001). Em vista disso, os filmes de barreira

multicamada envolvem a utilização de PP como camada externa para proteger a camada interna de EVOH contra a exposição contínua a danos e o ataque por água.

O PP é a resina mais comumente utilizadas em aplicações de filmes para embalagem, devido ao baixo custo, excelentes propriedades de barreira à umidade e fácil processabilidade. (CRIPPA, 2006). Portanto, a combinação de PP com EVOH em uma estrutura de multicamadas se torna um candidato interessante para aplicações alimentares, por se obter um material de baixo custo com propriedades de barreira elevadas.

2.4 TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA CARACTERIZAÇÃO

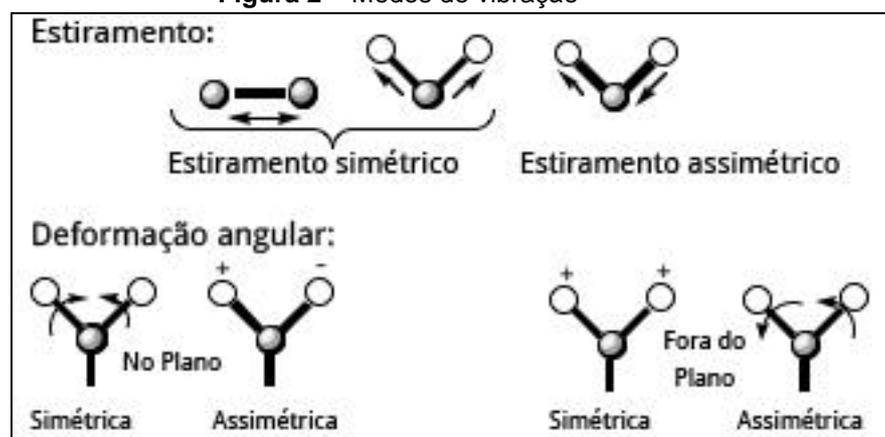
Serão abordados nesse capítulo sucintamente as técnicas analíticas utilizadas nesse trabalho.

2.4.1 Espectroscopia no infravermelho por transformada de fourier (FTIR)

A espectroscopia no infravermelho estuda os modos vibracionais das moléculas, conforme há a interação da radiação eletromagnética com a matéria. Quando a radiação interage com a matéria ela absorve radiação infravermelha, condição resultante da variação do momento dipolo elétrico da molécula em decorrência de movimento vibracional ou rotacional (LUZ, 2003).

As vibrações moleculares podem ser classificadas em estiramento e deformação angular. No total são seis modos de vibração, uma vez que ambas podem ser simétricas ou assimétricas e a deformação angular possui ainda mais uma classificação, que é no plano ou fora do plano (HAACK, 2010). Os modos de vibração são mostrados na Figura 2.

Figura 2 – Modos de vibração



Fonte: Columbia University, 2007.

2.4.2 Termogravimetria (TG)

A termogravimetria permite acompanhar a decomposição de um material em ambiente controlado, ou seja, acompanhar a variação da massa do material, podendo ser tanto em função da temperatura como em função do tempo a uma determinada temperatura (TEIXEIRA, 2010).

Essa técnica analisa sob diferentes condições a decomposição dos compostos e sua estabilidade térmica, constando informações sobre a ocorrência de “reações de decomposição e oxidação, e de processos físicos como sublimação e vaporização” (TEIXEIRA, 2010, p.67).

O instrumento básico da termogravimetria trata-se de uma balança de alta precisão acoplado a um forno, em que há o controle da taxa de aquecimento ou da temperatura constante (MOSQUETTA, 2010).

3 METODOLOGIA

A partir dos objetivos traçados, é definido o melhor delineamento metodológico para auxiliar na investigação do problema apresentado pelo trabalho. Determinado a partir da caracterização da pesquisa, seguido dos procedimentos utilizados para a coleta de dados e a pesquisa,

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho tem caráter aplicado, desenvolvido através de raciocínio hipotético-dedutivo, que tem por base a formulação de uma hipótese que deverá ser comprovada ou não por meio de testes, experimentos ou observações mais detalhadas.

Para a determinação do tipo de pesquisa, foi utilizado como base a taxionomia apresentada por Vergara (1998), no qual propõe dois critérios básicos: quanto aos fins e quanto aos meios.

Quanto aos fins, como já mencionado, a pesquisa é exploratória e aplicada. Classifica-se como exploratório porque, embora na literatura seja encontrada a composição das cápsulas, não encontram-se estudos caracterizando esse material para saber a melhor forma de trabalhar com esse material. Será de natureza aplicada, visto que objetiva a solução de um problema específico, a geração de resíduos pelas máquinas de café expresso, por meio da caracterização das cápsulas de café para viabilizar o uso pela indústria têxtil.

Quanto aos meios, a pesquisa é bibliográfica e laboratorial. Bibliográfica, porque para o referencial teórico do trabalho foram abordados os seguintes assuntos: reciclagem, reciclagem mecânica, resíduos, cápsulas de café de plástico, filmes multicamadas e técnicas analíticas para caracterização. A pesquisa é laboratorial, pois fez uso das instalações laboratoriais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no Campus de Apucarana, e da Universidade Estadual de Maringá, para o desenvolvimento das experiências.

3.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi iniciada por uma ampla busca de fontes secundárias em livros, periódicos e publicações científicas relacionadas ao tema do trabalho, de modo a estabelecer os materiais e métodos para caracterização.

3.3 MATERIAL

Foram utilizadas cápsulas da Néstle, provenientes da máquina NESCAFÉ Dolce Gusto, modelo Gênio II.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS CÁPSULAS

A caracterização das amostras foi realizada por meio de técnicas analíticas, que são descritas a seguir.

3.4.1 Espectroscopia no infravermelho por transformada de fourier (FTIR)

Os espectros de absorção da cápsula de café foram obtidos utilizando um espectrômetro Varian, modelo FTIR-700, no modo ATR (refletância total atenuada), localizado no Departamento de Física da UEM, sendo realizado na faixa de 400-4000 cm^{-1} . Os resultados foram analisados utilizando o software OriginPro versão 8 e a biblioteca espectral da NICODOM (NICODOM, 2017).

3.4.2 Termogravimetria (TG)

As curvas termogravimétricas foram obtidas em um equipamento SHIMADZU TGA-50, com a utilização de cadinhos de platina com massa de amostra ~ 7 mg em atmosfera de argônio (50 mL min^{-1}), com razão de aquecimento $10 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ da temperatura ambiente até $800 \text{ }^\circ\text{C}$.

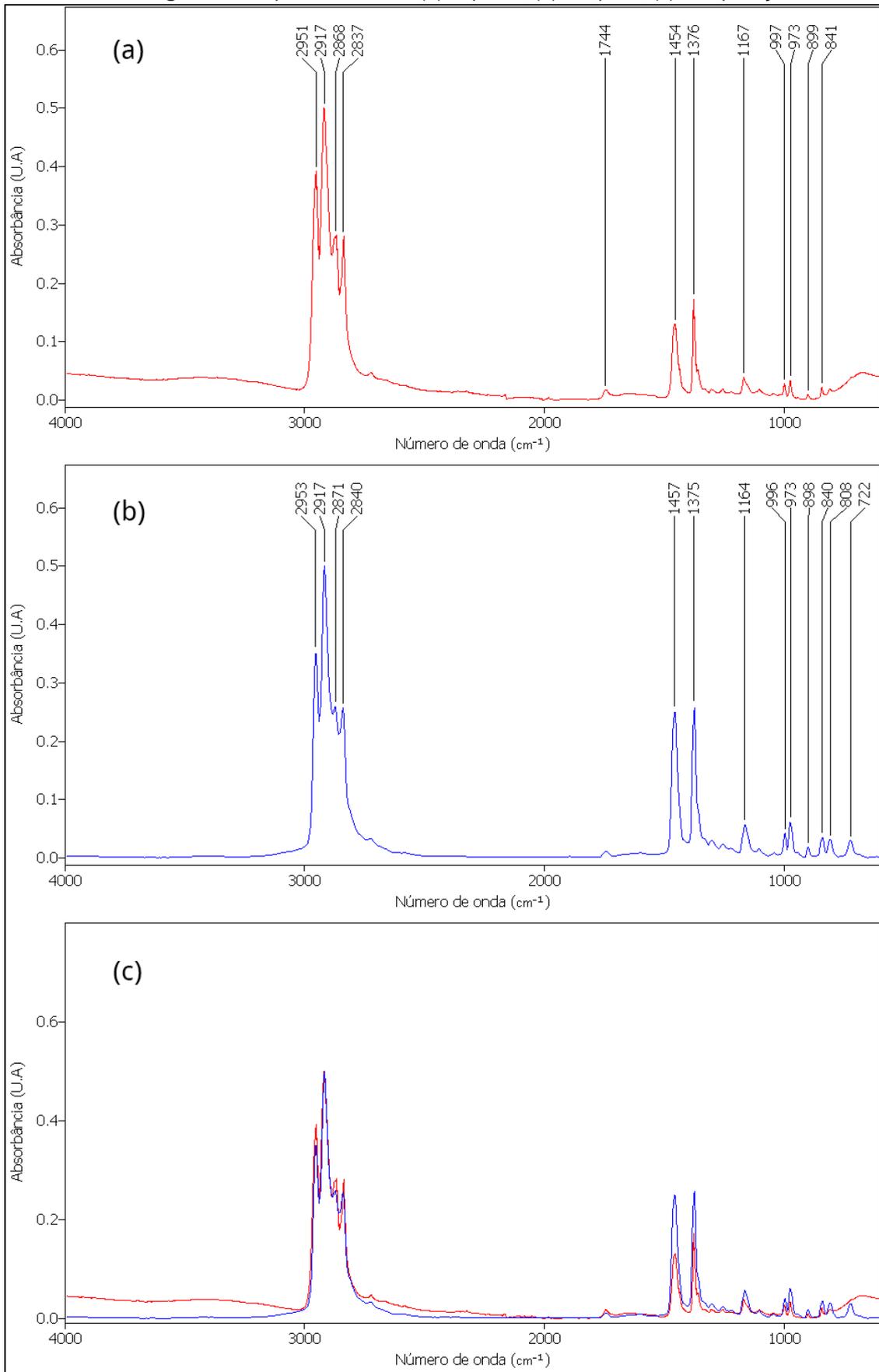
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos com a caracterização das amostras são apresentados e discutidos. Além disso, a partir dos resultados busca-se na literatura aplicabilidade para as cápsulas de café na indústria têxtil.

4.1 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

Na Figura 3 estão incluídos os espectros FTIR obtidos das cápsulas de café em comparação com o espectro do PP puro. O espectro de FTIR revela bandas próximas as de absorção características de ligações CH presentes no polipropileno, ou seja, estiramento de grupos CH/CH₂/CH₃ entre 2850 e 2980 cm⁻¹, deformação angular de grupos CH₃ em 1376 e 1454 cm⁻¹, estiramento de ligações CH₃ em 1167 cm⁻¹ e deformação angular dos grupos CH em 899 cm⁻¹. Pode-se observar também o conjunto de absorções 1167, 997, 899 e 841 cm⁻¹ que são relacionadas ao polipropileno isotático (AFONSO, 2008; CHIPARA et al., 2011).

A principal variação que pode-se observar é o aumento da região de 3600-3000 cm⁻¹ que corresponde ao alongamento da ligação OH potencialmente unidades de álcool vinílico. No entanto, observa-se também o surgimento de uma banda de absorção em 1744 cm⁻¹ referente ao estiramento C=O de carbonila de éster, devido a interação dos grupos pendentes da resina adesiva e os grupos OH do EVOH (WAGNER JUNIOR; MOUNT III; GILES JUNIOR, 2014; BOTROS, 1994).

Figura 3 – Espectros FTIR – (a) cápsula; (b) PP puro; (c) comparação.

Fonte: Autora, 2017.

As atribuições das bandas para as cápsulas de café são apresentadas na Tabela 2 .

Tabela 2 – Atribuições das principais bandas do espectro de infravermelho das cápsulas de café.

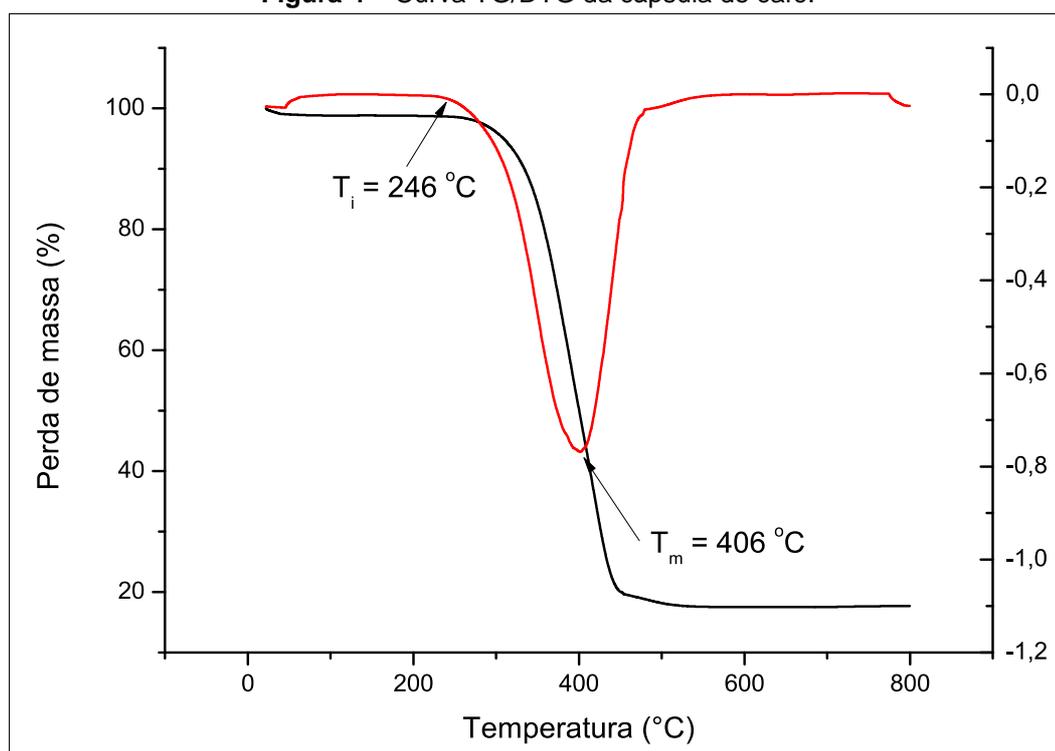
Banda (cm ⁻¹)	Atribuições
2951	ν_a (CH ₃)
2917	ν_a (CH ₂)
2868	ν_s (CH ₂)
2837	ν_s (CH ₂)
1744	ν C=O
1454	δ_a (CH ₃) e δ_s CH ₂
1376	δ_s (CH ₃)
1167	δ_a CH ₃
997	ω (C=C vinil) δ CH ρ CH ₃ , ω CH ₂
973	ω (C=C trans) ou δ CH ₃ , ν C-C
899	ρ CH ₃ , ρ CH ₂ , δ CH
841	ρ CH ₂

Abreviação: ν_a = estiramento assimétrico; ν_s = estiramento simétrico; δ = scissoring (deformação angular simétrica no plano); ρ = rocking (deformação angular assimétrica no plano); τ = twisting (deformação angular assimétrica fora do plano); ω = wagging (deformação angular simétrica fora do plano).

Os dados obtidos por FTIR-ATR sugerem, então, que uma das camadas da amostra é constituída de polipropileno, mas não foi tão conclusiva quanto a presença de EVOH por apresentar poucas bandas características de poliálcoois.

4.2 TERMOGRAVIMETRIA (TG)

A Figura 4 apresenta as curvas TG e DTG para as cápsulas de café. São destacadas as temperaturas de decomposição inicial (T_i) e a temperatura da taxa máxima de degradação (T_m) para comparação com os valores encontrados na literatura de EVOH e PP puro (Tabela 3) (BECKER et al., 2011; JIANG; QIAO; SUN, 2006).

Figura 4 – Curva TG/DTG da cápsula de café.

Fonte: Autora, 2017.

Na curva TG tem-se que a porcentagem de massa residual da cápsula de café, resultante da análise termogravimétrica em temperatura de até 800 °C, foi de 17,69%. Esse resíduo pode ser correlacionado com partículas da folha de extração de alumínio que ainda possam ter ficado na amostra.

A curva DTG mostra que a maior degradação ocorre em um estágio. A T_i é de cerca de 246°C, que em comparação aos valores de PP puro está bem próximo, com uma variação de 1°C, já quando comparado com EVOH puro a variação é de 104°C. Em congruência T_m ficou 8 °C superior ao PP puro, apresentando um valor de 406 °C, e cerca de 16 °C superior ao EVOH puro.

Tabela 3 – Temperaturas de perda de massa

Material	T_i (°C)	T_m (°C)
Cápsula de café	246	406
PP	247	398
EVOH	360	390

Fonte: Autora, 2017; Becker et al., 2011; Jiang; Qiao; Sun, 2006.

Os valores próximos de T_i e T_m da amostra e do PP, sugerem a presença desse polímero na amostra. Quanto a presença de EVOH não foi possível determinar pelas curvas TG e DTG. Em geral, a quantidade presente de EVOH em embalagens multicamadas é de $\sim 3\%$, ou seja, uma quantidade muito pequena foi analisada. O que explicaria a não detecção de faixas de degradação desse material (BUNTINX et al., 2014).

No entanto, o conhecimento dos valores de temperatura de degradação das cápsulas de café será útil para seu processamento, uma vez que deve-se atingir temperaturas altas para o derretimento, sem exceder a temperatura de degradação para conservar suas propriedades.

4.3 APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA TÊXTIL

Nas análises ficou evidente que um dos compostos da cápsula é o PP, no entanto, sugere-se a presença também de EVOH. De modo, geral o EVOH não influi significativamente nas análises, pois tanto os espectros FTIR como os dados da TG/DTG se assemelham ao do PP puro. Segundo estudos realizados somente a partir de 5% de EVOH que as propriedades mecânicas são afetadas, especialmente a resistência ao impacto do material (COTREP, 2017). À vista dessas informações, uma alternativa para os resíduos de cápsulas de café seria sua reciclagem para a fabricação de filamentos de PP.

O PP compreende aproximadamente cerca de 8,5% de toda matéria-prima têxtil produzida mundialmente. É uma das fibras sintéticas que tem crescimento mais rápido, representando a quarta nesse *ranking*. Em 2014, a produção mundial de fibra de polipropileno era de aproximadamente 6 milhões de toneladas métricas. A fibra de PP representa mais de 90% da produção de fibra de poliolefina (MATHER, 2015; RESEARCH AND MARKETS, 2017).

A crescente utilização do PP pode ser atribuída a várias propriedades como a sua baixa densidade, alta rigidez cristalina, alta resistência química e bacteriana (K. MURAHARI, 2013). Algumas propriedades das fibras de PP estão listadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Propriedades das fibras de polipropileno.

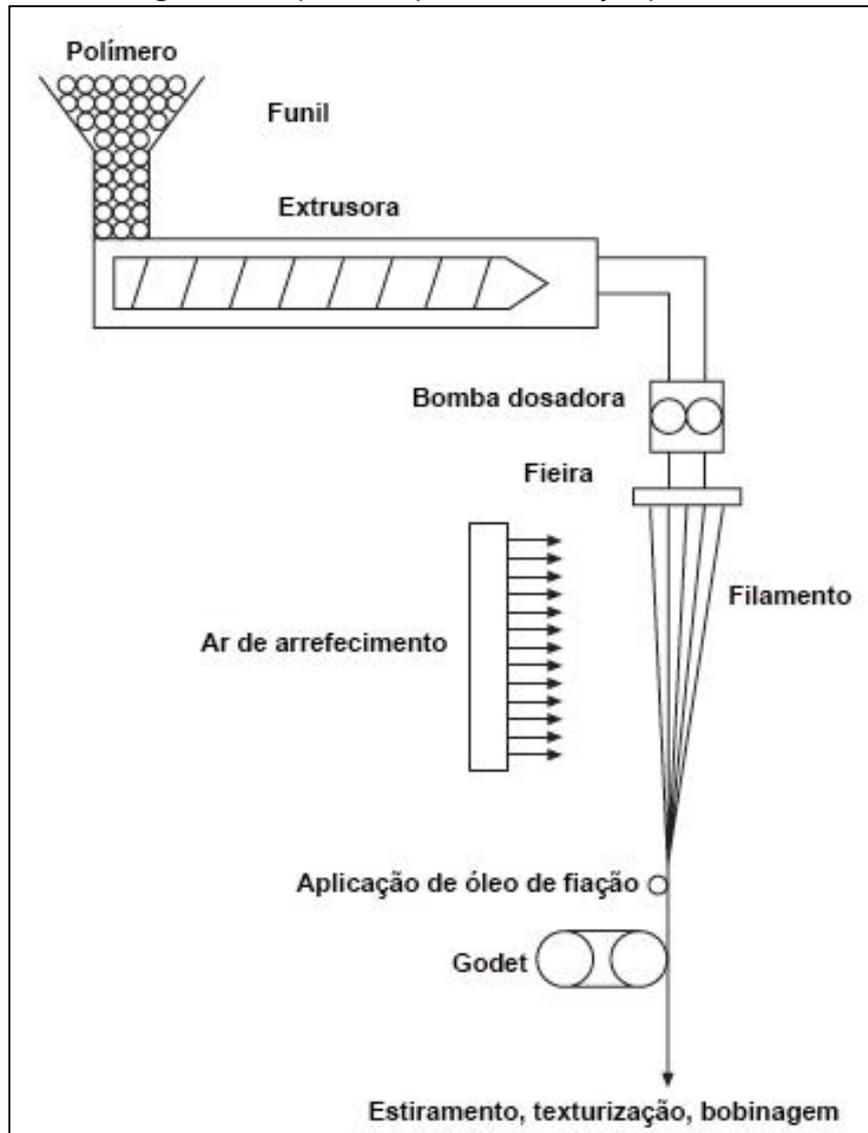
Propriedades	Valores
Ponto de fusão	160-165
Densidade (g/cm)	0.90
Recuperação de umidade (%)	0.04
Tenacidade (cN/tex)	30-80
Alongamento à ruptura	15-35
Resistência à abrasão	Alta

Fonte: Mather, 2015.

Variando as condições de polimerização, fiação e processamento, é possível influenciar nas propriedades das fibras de PP. Para a formação de fibras têxteis é normalmente utilizada exclusivamente a configuração isotáctica do polímero. O PP isotático forma uma estrutura de duas fases compreendendo um material cristalino e não cristalino, sendo o grau de cristalinidade normalmente na ordem de 50-65%.

Para a fabricação das fibras de PP é utilizada a fiação convencional por fusão (Figura 5). O processo de fiação úmida apresenta maior velocidade, baixo custo e simplicidade operacional, o que o torna o processo de maior conveniência para geração de fibras (BRITO et al., 2013). Neste processo os grânulos de PP são primeiramente conduzidos para um funil que alimenta a extrusora. Na extrusora o polímero passa por várias áreas de aquecimento para que ocorra a sua fusão, o que o torna fluidificado para sua passagem por um conjunto de filtros, que remove as impurezas. Para a obtenção das fibras o polímero fundido deve atravessa uma fieira contendo pequenos orifícios e passar por uma zona de arrefecimento que as solidifica (KOTEK et al., 2009).

Figura 5 - Esquema do processo de fiação por fusão



Fonte: Kotek et al, 2009.

Estas fibras têm uma ampla gama de aplicações, uma vez que sua produção é simples e barata, além disso proporciona também um notável desempenho tecnológico. No entanto, como as fibras de PP não podem ser facilmente tingidas, sua aplicabilidade no vestuário é limitada, muitas vezes sendo direcionado para o vestuário *sportswear* e *activewear*. Essa aplicabilidade se deve a sua característica de transporte de água, no qual o suor gerado pelo corpo não é absorvido, mas sim transportado para uma camada externa absorvente (MATHER, 2015).

Em se tratando das fibras advindas das cápsulas de café houve uma porcentagem significativa de resíduos, e a depender das impurezas e contaminantes

presentes é inadequada a sua utilização no vestuário. Porém, este material poderia ser aplicado em áreas técnicas e industriais.

Como em sistemas agrícolas, pelos denominados agrotêxteis, que são produzidos a partir de filamentos contínuos de polipropileno sobrepostos direcionalmente ou desordenadamente formando uma manta consolidada termicamente (MORIYA, 2012). Constitui-se em um material não-tecido leve e poroso, promovendo a passagem de água e gases, tal como 85% da radiação que chega à sua superfície (ABINT, 2000).

O agrotêxtil é um material comumente utilizado para a proteção de plantas, proporcionando um ambiente favorável ao crescimento e fornecendo proteção ao cultivo. Isso se dá através do uso de mantas de proteção que são divididas em três categorias: resistente às intempéries; contra insetos e animais e; contra a radiação solar (MOGAHZY, 2009).

Furiatti, Pinto Junior e Lopes (2008) compararam o uso do agrotêxtil e de inseticida para controlar a mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis*). No trabalho foram realizados cinco tratamentos: testemunha (T1); inseticida (T2); agrotêxtil (T3); agrotêxtil + inseticida (T4); agrotêxtil mais inseticida, descobrindo as plantas no momento da pulverização (T5). Como resultado o agrotêxtil, utilizado sozinho, foi estatisticamente significativo e superior ao uso de inseticidas no controle da larva da mosca minadora. Portanto, seu uso reduziria o número de aplicações de inseticidas e contaminação ambiental por eles causada.

Reghin et al. (2002) realizaram experimentos para testar materiais para a técnica de cobertura do solo, combinados ou não com a técnica de proteção de plantas. No estudo a técnica de proteção de plantas com agrotêxtil branco gerou uma resposta positiva mesmo na ocorrência de geada, obtendo-se uma colheita mais precoce, de plantas com características desejáveis. Em congruência, a técnica de cobertura do solo com agrotêxtil preto foi eficaz no controle de plantas daninhas, propiciando um aumento de 22,12% na massa fresca da planta.

Outra área técnica e industrial para aplicação dos filamentos têxteis reciclados seria na construção civil, com o uso do reforço têxtil ao invés do reforço de aço convencional para o concreto. A utilização do reforço têxtil resulta em maior durabilidade, uma vez que as barras de aço estão sujeitas a corrosão, o que pode causar a destruição do concreto, além de reduzir a seção transversal efetiva da área

das barras e conseqüentemente aumentando as tensões na estrutura (GRIES et al., 2016).

Os concretos reforçados com fibras são considerados como materiais compósitos, deste modo são constituídos de, no mínimo, duas fases distintas: matriz e reforço. Considera-se como matriz no concreto reforçado com fibras o próprio concreto, e as fibras como o material de reforço (MEDEIROS, 2012).

Ahmed et al. (2006) avaliou a adição de várias proporções de fibra de polipropileno nas propriedades do concreto, explorando seus efeitos sobre a compressão, a tração, a flexão, a resistência ao cisalhamento e a fissuração por encolhimento. Os resultados indicaram que a adição de baixos valores de polipropileno, ou seja, 0,18% a 0,40% aumenta a resistência à compressão. A resistência a tração com adição de fibras de até cerca de 0,40% tem um aumento de ~65% a 70%. Além disso, ocorre um aumento de 80% na resistência à flexão, adicionando 0,20% de fibras ao concreto. Igualmente houve um aumento na capacidade de cisalhamento do concreto quando as fibras são adicionadas e, por fim, a fissuração por encolhimento é reduzida de 83 a 85% por adição de fibras entre 0,35% e 0,50%.

Dharan e Lal (2016) em estudo semelhante trabalharam com fibras de polipropileno com porcentagens diferentes (0,5%; 1%; 1,5% e 2%) em concreto. Foram realizados ensaios sobre trabalhabilidade, resistência à compressão, resistência à flexão, resistência à tração e módulo de elasticidade nas amostras. Em relação a resistência à compressão de concreto reforçado com 1,5% de fibra de polipropileno obteve-se um aumento de 17%, quando comparado ao concreto convencional. Ademais, ocorreu um aprimoramento da força na resistência à tração de 22%, na resistência a flexão de 24% e no módulo de elasticidade de 11%.

Outro material têxtil utilizado pela construção civil são os geotêxteis, igualmente como agrotêxtil são não tecidos, portanto, são fabricados com filamentos contínuos ou fibras cortadas, distribuídas direccionalmente ou ao acaso, os quais são podem ser consolidadas por três tipo de processos: agulhagem, processo térmico e resinagem (NASCIMENTO, 2017).

O geotêxtil proporciona ao solo boa resistência a tração, uma vez que esse já é resistente sob compressão. Este material pode ser utilizado em muitas construções, desempenhando as funções de drenagem (coleta condução de um fluido), filtração (retenção de partículas do solo), separação (evita a mistura de

materiais de composição diferentes) e reforço (melhora as características mecânicas de uma estrutura geotécnica) (COSTA, 1999; NASCIMENTO, 2017).

Santos (2015) avaliou o desempenho de um filtro lento com meio filtrante constituído exclusivamente por não tecido sintético em diferentes espessuras e comparou ao desempenho de um filtro lento de areia tradicional. Pela pesquisa a autora concluiu que o meio filtrante constituído exclusivamente por não tecido de 25 cm de espessura pode vir a substituir a areia no tratamento de água por filtração lenta, pois obteve eficiências de remoção de impurezas de água bruta similares às eficiências do filtro lento de areia. Ademais, apresentou vantagens como a diminuição da frequência de lavagem do filtro, facilidade em sua instalação, operação e manutenção, apresentou maiores taxas de filtração, redução dos custos de instalação e, em somatória, trata-se de um material de fácil obtenção e de baixo custo.

Portanto, as aplicações de fibras de PP são diversas. E são inúmeros estudos que apresentam as vantagens de seu uso em áreas técnicas e industriais. Além disso, como já mencionado ele é fabricado por fiação por fusão, o processo menos complexo para fibras sintéticas e considera-se que apresenta pouco impacto ambiental, por se quimicamente inerte. Então, a depender das características obtidas com a reciclagem das cápsulas pós-consumo para fabricação de filamentos têxteis esse poderá ter uma ampla gama de aplicações.

5 CONCLUSÃO

As técnicas FTIR e TG conseguiram detectar a presença do PP nas cápsulas de café, no entanto, pela literatura essa se trata de um material multicamada. Algumas bandas que surgiram no espectro FTIR sugerem a presença de poliálcoois, como o EVOH, mas para confirmação deste resultado seriam necessários a utilização de outras técnicas para a caracterização completa desse material, a exemplo, da microscopia ótica (MO) para identificação da quantidade de camada; calorimetria exploratória diferencial (DSC) para determinação das temperaturas de fusão e/ou; microscopia acoplada ao FTIT (MIC/FTIR) para visualização do espectro de cada camada.

A porcentagem de massa residual resultante da termogravimetria foi de 17,69%, que pode estar correlacionado com partículas da folha de extração de alumínio que ainda possam ter ficado na amostra. Resultado que demonstra ineficiência da remoção manual e a necessidade de uso de solventes ou ácido apropriado para dissolver e remover esses contaminantes, para que não interfiram no processamento posterior.

Pode-se identificar que se trata de um PP isotático, configuração utilizada na fabricação de filamentos têxteis. Portanto, uma vez que a composição das outras camadas, possivelmente EVOH, não interferiram significativamente nas análises foi sugerido a utilização das cápsulas de café na fabricação de filamentos têxteis. No entanto, por se tratar de um material que está em contato com alimentos e por apresentarem impurezas e contaminantes provenientes das outras camadas, sua aplicabilidade é mais adequada nas áreas técnicas e industriais, como na agricultura com os agrotêxteis conferindo proteção ao cultivo e na construção civil com os geotêxteis proporcionando resistência a tração, além de outras áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRALATAS. **Brasil reciclou 97,9% das latas de alumínio para bebidas em 2015**. 2016. Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/brasil-reciclou-979-das-latas-de-aluminio-para-bebidas-em-2015/>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

ABINT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE NÃO TECIDOS. **Agrotêxtil: Uma nova alternativa de proteção para a agricultura**. 2000. Disponível em: <<http://www.abint.org.br/pdf/agrotextil.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

AHMED, S. et al. A study on properties of polypropylene fiber reinforced concrete. In: OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES, 31., 2006, Singapore. **Anais...**. Singapore: Ci-premier Pte Ltd, 2006. p. 1 - 10.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS APARISTAS DE PAPEL. **Relatório Estatístico Anual: 2015-2016**. São Paulo: Anap, 2016. Disponível em: <<https://www.anap.org.br/anap/wp-content/uploads/2016/09/ANAP-Relatório-Anual-2015-2016.pdf>>.

AFONSO, J. S. **Estudo comparativo das propriedades fundamentais das redes de polipropileno usadas no tratamento da incontinência urinária de esforço**. 2008. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2008.

ALVES, R. C.; CASAL, S.; OLIVEIRA, B. P. P. Factors Influencing the Norharman and Harman Contents in Espresso Coffee. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 5, p. 1832–1838, mar. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: Abnt, 2004.

ASSOCIATION OF PLASTIC RECYCLERS. **2015/2016 Polypropylene PCR “Fit for Use” Non-FDA Demand Survey Results**. 2015. Disponível em: <<http://www.plasticsrecycling.org/resources/pp-pcr-demand-survey>>. Acesso em: 21 abr. 2017.

BBC NEWS. **Is there a serious problem with coffee capsules?** 2016. Disponível em: <<http://www.bbc.com/news/magazine-35605927>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

BECKER, D. et al. Influência da sequência de mistura do PP-MA nas propriedades dos compósitos de PP e fibra de bananeira. **Polímeros**, São Carlos, v. 21, n. 1, p.7-12, 2011.

BENVINDO, A. Z. **A nomeação no processo de construção do catador como ator econômico social**. Brasília: Universidade de Brasília, 2010.

BOLTON, D. Precision Manufacturing is Essential to Capsule Success. **STIR Tea & Coffee Industry International**, v. 4, n. 1, p. 50–54, abr. 2015.

BRADBURY, M. **Are Single-Serve Coffee Pods Sustainable? The Answer Might Surprise You....** 2015. Disponível em: <<http://www.buschsystems.com/recycling-bin-news/2015/10/are-single-serve-coffee-pods-sustainable-the-answer-might-surprise-you/>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

BRITO, C. A. R. et al. Poliacrilonitrila: processos de fiação empregados na indústria. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 23, n. 6, p. 764–770, 2013.

BUREAU DE INTELIGÊNCIA COMPETITIVA DO CAFÉ. **Relatório Internacional de Tendências do Café**. 4. ed. Lavras: Ufla, 2015.

BUNTINX, M. et al. Evaluation of the Thickness and Oxygen Transmission Rate before and after Thermoforming Mono- and Multi-layer Sheets into Trays with Variable Depth. **Polymers**, Switzerland, v. 6, n. 12, p.3019-3043, 22 dez. 2014.

CAPORASO, N. et al. Neapolitan coffee brew chemical analysis in comparison to espresso, moka and American brews. **Food Research International**, v. 61, p. 152–160, jul. 2014.

CHEMICAL FIBERS INTERNATIONAL. **Global fiber production 2013**. Frankfurt: Deutscher Fchverlag, 2015.

CHIPARA, M. et al. Fourier transform infrared spectroscopy and wide-angle X-ray scattering: Investigations on polypropylene-vapor-grown carbon nanofiber composites. **Journal Of Applied Polymer Science**, Lincoln, v. 125, n. 1, p.353-360, 19 dez. 2011.

COLUMBIA UNIVERSITY. **IR Spectroscopy**. 2007. Disponível em: <http://www.columbia.edu/cu/chemistry/ugrad/hssp/EXP_7.html>. Acesso em: 28 out. 2017.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **CEMPRE Review - 2015**. São Paulo: Cempre, 2015. Disponível em: <<http://cempre.org.br/download.php?arq=b18xYWJvNW42MmsxcmEwMTY2ajFobHMxZmEwMTIY2EucGRm>>.

COSTA, C. M. L. **Fluência de geotêxteis**. 1999. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

COTREP. **Influência of EVOH on recycling of PP packaging**. Disponível em: <http://www.cotrep.fr/fileadmin/contribution/mediatheque/avis-generaux/anglais/packaging-and-additives/Cotrep_AG53_EVOH_in_PP.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2017.

COZZOLINO, C. A. et al. An alternative approach to control the oxygen permeation across single-dose coffee capsules. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 4, p. 19–25, 2015.

CRIPPA, A. **Estudo do desempenho de filmes multicamadas em embalagens termoformadas**. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

DEAN, S. **Should you recycle your coffee pods?** 2016. Disponível em: <<http://www.sbs.com.au/topics/science/earth/article/2016/02/02/should-you-recycle-your-coffee-pods>>. Acesso em: 2 abr. 2017.

DHARAN, D. S; LAL, A. Study the effect of polypropylene fiber in concrete. **International Research Journal Of Engineering And Technology**. Tamil Nado, p. 616-619. jun. 2016.

DI BELLA, G. et al. Plasticizer residues by HRGC–MS in espresso coffees from capsules, pods and moka pots. **Food Control**, v. 41, p. 185–192, jul. 2014.

ENGELMANN, S. Multilayer Films for Thermoforming Applications. In: **Advanced Thermoforming**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2012. p. 208–210.

FERGUSON, Z.; O'NEILL, M. **Former Nespresso boss warns coffee pods are killing environment**. 2016. Disponível em: <<http://www.abc.net.au/news/2016-08-24/former-nespresso-boss-warns-coffee-pods-are-killing-environment/7781810>>. Acesso em: 26 mar. 2017.

FORLIN, F. J.; FARIA, J. de A. F. Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. **Polímeros**, São Paulo, v. 12, n. 1, p.1-10, 2002.

FURIATTI, R. S.; PINTO JUNIOR, A. R.; LOPES, J. A. B. Estudo comparativo entre agrotêxtil e inseticidas no controle da mosca minadora da batata. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 1, p.89-96, mar. 2008.

GELLES, D. **Keurig's New K-Cup Coffee Is Recyclable, but Hardly Green**. 2016. Disponível em: <http://www.nytimes.com/2016/04/17/business/energy-environment/keurigs-new-k-cup-coffee-is-recyclable-but-hardly-green.html?_r=0>. Acesso em: 28 mar. 2017.

GONÇALVES-DIAS, S. L. F. et al. **Frames de ação coletiva: uma análise da organização do Movimento Nacional de Catadores Recicláveis no Brasil - MNCR**. In: III SEMINÁRIO NACIONAL E I SEMINÁRIO INTERNACIONAL MOVIMENTOS SOCIAIS PARTICIPAÇÃO E DEMOCRACIA: MOVIMENTOS SOCIAIS, PARTICIPAÇÃO E DEMOCRACIA. **Anais...** Florianópolis: NPMS, 2010. p. 2007 - 2029.

GRIES, T et al. Manufacturing of textiles for civil engineering applications. In: TRIANTAFILLOU, Thanasis (Ed.). **Textile Fibre Composites in Civil Engineering**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2016. p. 3-22.

HAACK, M. D. S. **Análise de materiais por espectroscopia no infravermelho dentro do sistema de gestão de qualidadeconforme ABNT NBR ISO/IEC 17025**. 2010. 49 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal,

Porto Alegre, 2010.

HALO. **Halo Sustainability**. 2017. Disponível em: <<https://halo.coffee/pages/sustainability>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

HANCHER, J. **Where can I recycle Keurig coffee pods?** 2016. Disponível em: <<http://www.greenphillyblog.com/recycle/can-recycle-keurig-coffee-pods/>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

HERRON, M. **Want coffee at the push of a button?** 2013. Disponível em: <<https://www.choice.com.au/food-and-drink/drinks/tea-and-coffee/articles/coffee-capsules>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil - 2015**. Rio de Janeiro: Ibge, 2015.

INTELLIGENT BLENDS. **Recyclable Single-Serve Capsules**. 2017. Disponível em: <<http://intelligentblends.com/recyclable-single-cups/>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Situação Social das Catadoras e dos Catadores de Material Reciclável e Reutilizável - Brasil**. Rio de Janeiro: Ipea, 2013.

JIANG, W.; QIAO, X.; SUN, K. Mechanical and thermal properties of thermoplastic acetylated starch/poly(ethylene-co-vinyl alcohol) blends. **Carbohydrate Polymers**, Cambridge, v. 65, n. 2, p.139-143, jul. 2006. Elsevier BV.

KEURIG GREEN MOUNTAIN. **Sustainability Report 2015**. 2015. Disponível em: <http://www.keuriggreenmountain.com/~media/Sustainability/PDF/ReportsDisclosures/KeurigSustainabilityReport_2015.ashx>. Acesso em: 22 abr. 2017.

KEURIG GREEN MOUNTAIN. **Recycled and Recyclable - Recycling Infrastructure**. 2016. Disponível em: <<http://www.keuriggreenmountain.com/en/OurStories/PartnershipsStories/KCupinfrastructure.aspx>>. Acesso em: 1 abr. 2017.

KONINKLIJKE DOUWE EGBERTS BV (Europe). Andrew Halliday; Esak Shabudin; Glen Oliver. **A method of forming a beverage capsule, a beverage capsule and a beverage preparation system**. EP nº WO2016075318 A1, 14 nov. 2014, 19 maio 2016. 2016.

KOTEK, R et al. Production methods for polyolefin fibers. In: UGBOLUE, Samuel C. O. (Ed.). **Polyolefin Fibres: Industrial and Medical Applications**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2009. p. 185-261.

KOZLOWSKI, M. Recycling of Food Packaging Materials. In: CIRILLO, Giuseppe; SPIZZIRRI, Umile Gianfranco; IEMMA, Francesca (Ed.). **Functional Polymers in Food Science: From Technology to Biology**. Beverly: Scrivener Publishing Llc., 2015. p. 355-399.

K. MURAHARI, R. MOHAN R. P. Effects of Polypropylene fibres on the strength properties Of fly ash based concrete. **International Journal of Engineering Science Invention**, v. 2, n. 5, p. 13–19, maio 2013.

LAGARÓN, J. . et al. Study of the influence of water sorption in pure components and binary blends of high barrier ethylene–vinyl alcohol copolymer and amorphous polyamide and nylon-containing ionomer. **Polymer**, v. 42, n. 23, p. 9531–9540, nov. 2001.

LIMA, J. A.; FELISBERTI, M. I.. Blendas de poli(etileno-co-álcool vinílico) e poli(metacrilato de metila). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 8., 2005, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: Abpol, 2005. p. 759 - 761.

LUZ, E. R. D. **Predição de propriedades de gasolinas usando espectroscopia FTIR e regressão por mínimos quadrados parciais**. 2003. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

MATHER, R. R. Synthetic textile fibres: polyolefin, elastomeric and acrylic fibres. In: SINCLAIR, Rose (Ed.). **Textile and Fashion: Materials, Designing and Technology**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015. p. 115-137.

MEDEIROS, A. **Estudo do comportamento à fadiga em compressão do concreto com fibras**. 2012. 201 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

MOGAHZY, Y. E. El. **Engineering textiles: integrating the design and manufacture of textile products**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2009.

MORIYA, G. A. D. A. **PRAZO DE VALIDADE DE ESTERILIZAÇÃO DE MATERIAIS UTILIZADOS NA ASSISTÊNCIA À SAÚDE: Um estudo experimental**. 2012. 96 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MOSQUETTA, R. **Remoção de cobre em álcool etílico hidratado combustível utilizando amêndoa de baru (*Dypterix alata*)**. 2010. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

MURTHY, P. S.; MADHAVA NAIDU, M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 66, p. 45–58, set. 2012

NASCIMENTO, T. S. **Sistema radículas das gramas cultivadas em gramaturas de geotêxtil sob irrigação subsuperficial**. 2017. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2017.

NESCAFÉ DOLCE GUSTO. **Cápsule Nescafé® Dolce Gusto®**. 2017. Disponível em: <<https://www.nescafe-dolcegusto.com.br/capsulas#tecnologia-das-capsulas>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

NESTEC S.A. (United States of America). Alexandre Perentes; Christian Jarisch. **Method for preparing a food liquid contained in a capsule by centrifugation and system adapted for such method.** US nº US8919242 B2, 2 set. 2008, 30 dez. 2014. 2014.

NESTEC S.A. (International Bureau Of The World Intellectual Property Organization). Karine Garcin; Sébastien Pelletier; Arnaud Gerbaulet; Jean- Marc Flick; Daniel Abegglen; Viviane Rebelo. **Coffee capsule and system for producing a coffee extract from with such capsule.** WO nº WO2015144356 A1, 24 mar. 2014, 01 out. 2015. 2015.

NICODOM. **Nicodom IR Demo Library.** 2017. Disponível em: <<http://www.ir-spectra.com/polymers/>>. Acesso em: 5 nov. 2017.

O'REILLY, L. **This eco-friendly coffee brand wants to rid landfills of plastic coffee pods.** 2017. Disponível em: <<http://www.businessinsider.com/coffee-pods-compost-halo-nespresso-2017-2>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

PERFORMANCE DAYS. **Recycled? – Challenges & Opportunities.** 2016. Disponível em: <<https://www.performancedays.com/24-7-sourcing/performance-archive/focus-topic/recycled.html>>. Acesso em: 2 abr. 2017.

QBO COFFEE GMBH (United States of America). Louis Deuber; Rüdiger Ternité; Robert Stein. **Portion capsule for preparing a brewed product and a method for producing said portion capsule.** US nº US 20160325862 A1, 24 dez. 2013, 11 dez. 2014. 2016.

REGHIN, M. Y. et al. Produção de alface utilizando coberturas do solo e proteção das plantas. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 3, n. 1, p.69-77, 31 dez. 2002. Universidade Federal do Parana.

RESEARCH AND MARKETS. **Polypropylene Fiber Market - Trends And Forecasts (2015-2020):** Growing Demand For Carpets, Hygiene, Medical Applications & Geotextiles. Disponível em: <<https://www.businesswire.com/news/home/20160128006178/en/Polypropylene-Fiber-Market---Trends-Forecasts-2015-2020>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

SANTOS, Flavia Ferreira de Souza dos. **Comparação entre os meios filtrantes areia e não tecido sintético na eficiência da filtração lenta para tratamento de água.** 2015. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

SCHMIDT, M. J. M. S.; SILVA, O. H. da. Resíduos gerados pela construção civil: Aterro de inertes - práticas recomendadas. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PRÁTICAS RECOMENDADAS, 3., 2000, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: Ibracon, 2000. p. 15 - 23.

SHEN, L.; WORRELL, E. Plastic Recycling. In: WORRELL, E.; REUTER, M. A. (Ed.).

Handbook of Recycling. 1. ed. Cambridge: Elsevier, 2014. p. 179–190.

SPINACÉ, M. A. da S.; PAOLI, M. A. D. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p.65-72, fev. 2005.

TEIXEIRA, K. D. C. **Estudo das propriedades eletroluminescentes de novos complexos tetrakis beta-dicetonatos de európio utilizados em OLEDs**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2010.

VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 2. ed. São Paulo: Atlas S.a., 1998.

ZUORRO, A.; LAVECCHIA, R. Spent coffee grounds as a valuable source of phenolic compounds and bioenergy. **Journal of Cleaner Production**, v. 34, p. 49–56, out. 2012.

WAGNER JUNIOR, J. R; MOUNT III, Eldridge M.; GILES JUNIOR, H.F. **Extrusion: the definitive processing guide and handbook**. 2. ed. Kidlington: Elsevier, 2014.

WHITE, P.; FRANKE, M.; HINDLE, P. **Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory**. Boston, MA: Springer US, 1995.

WORREL, E.; REUTER, M. A. Definitions and Terminology. In: WORREL, E.; REUTER, M. A. (Ed.). **Handbook of Recycling: State-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists**. Amsterdam: Elsevier, 2014. p. 9-16.