

# PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CÁPSULAS DE CAFÉ BIODEGRADÁVEIS

## PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE COFFEE CAPSULES

### **Riquelme Gomes da Silva**

Aluno de Graduação em Engenharia de Materiais  
5º período, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ-ZO  
Período PIBIC ou PIBITI/CETEM: novembro de 2021 a julho de 2022  
riquelme.gomes2001@hotmail.com

### **Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.  
rcarlos@cetem.gov.br

### **Daniele Cruz Bastos**

Co-orientadora, Engenheira Química, D.Sc. – UERJ  
daniele.bastos@uerj.br

### **Marceli do Nascimento da Conceição**

Coorientadora, Química, D.Sc.  
mconceicao@cetem.gov.br

## RESUMO

Disponível ao toque de um botão, o café em cápsulas se popularizou rapidamente no Brasil. Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Café (Abic), o segmento cresceu cerca de 40% nos últimos cinco anos, e mais de 10 % das residências já têm máquina de café, de acordo com a consultoria Euromonitor. No entanto, tal hábito também trouxe a preocupação com o aumento desses resíduos. Com isso, o atual cenário global tem grande impacto no desenvolvimento de novos materiais de base biológica devido à suas vantagens vitais que são úteis na substituição desses materiais danosos ao meio ambiente. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de cápsulas de café biodegradáveis, a base de poliláctico (PLA), casca de café e cargas minerais ricas em cálcio e potássio que possam ser usadas para o plantio de mudas e fixação de micronutrientes no solo durante sua degradação. Os materiais compósitos foram preparados em extrusora dupla-rosca e caracterizados por análises de fluorescência de Raios-X (FRX), espectroscopia de infravermelho (FT-IR), densidade, dureza e ângulo de contato. Também foram realizados ensaios de biodegradação dos compósitos em água destilada e em solo natural, ambos com pH 5,6 para verificação das alterações de massa e valores de pH do meio. Os materiais obtidos podem substituir as cápsulas convencionais do mercado, pois a análise química de FT-IR mostrou que a interação matriz/cargas é do tipo física e a resistência mecânica para utilização é adequada. Os resultados indicaram que os compósitos iniciam sua degradação em cerca de duas semanas quando colocados no solo, com aumentos significativos do valor de pH para 7,2 para o meio e aumentos nos teores de potássio e cálcio. Somente após cerca de um mês de processamento todo o compósito se biodegrada e as mudas já se encontram fixas no solo.

**Palavras-chave:** Polímeros biodegradáveis, embalagem, resíduos minerais.

## ABSTRACT

The current global scenario has a great impact on the development of new bio-based materials due to their vital advantages that are useful in replacing synthetic and environmentally harmful materials. In this context, the objective of this work is the development of packaging for

biodegradable coffee capsules, based on poly (lactic acid), PLA, coffee husks and mineral residues. The composite materials were prepared in a twin-screw extruder and characterized by X-ray fluorescence analysis (FRX), Fourier Transform infrared spectroscopy (FT-IR), density, hardness and water contact angle. Biodegradation tests were also performed. The materials obtained can replace conventional capsules on the market, as they do not present significant losses in their physical properties. The FT-IR chemical analysis showed that the matrix/charges interaction is of the physical type. Mineral residues and coffee husks present in their composition minerals that can enrich the soil after the degradation of the coffee capsule.

**Keywords:** Biodegradable polymers, packing, mineral residues.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), substituir o café passado no filtro de papel por cápsulas é 14 vezes mais prejudicial ao meio ambiente, pois para uma tonelada de papel produzida com madeira de reflorestamento, há geração de 22 kg de resíduos. Já o mesmo montante de alumínio e polímero virgem, usados nas cápsulas, gera cerca de 200 kg.

Nas últimas décadas, a contaminação por plásticos tornou-se um principal motivo de preocupação entre cientistas, políticos e a sociedade. A produção mundial de plástico ultrapassou a marca de 320 milhões de toneladas em 2020, sendo a maior parte destinada à embalagem. Quando despejados de forma inadequada ou mal administrados, os resíduos plásticos podem se acumular em ambientes terrestres e marinhos e, podem ser submetido à degradação por diversos agentes ou rotas, levando à fragmentação e quebra desses materiais maiores em microplásticos, definidos como partículas de plástico menos de 5 mm e, eventualmente, nanoplásticos, que variam de 1 a 100 nm (Silva *et al.*, 2018; Jambeck *et al.*, 2015; Barnes *et al.*, 2009).

Neste contexto, uma das soluções encontradas é o desenvolvimento de filmes e embalagens produzidos pela substituição destes materiais por polímeros naturais. Um polímero que possui grande potencial para substituir os plásticos convencionais é o poli (ácido láctico) (PLA). O PLA, um biopolímero amplamente utilizado, pode ser preparado pela fermentação bacteriana de carboidratos como milho, cana-de-açúcar, batata, biomassa e sintetizado por polimerização por abertura de anel de lactida, condensação desidratativa azeotrópica e polimerização por condensação direta. O PLA pode ser facilmente processado por moldagem por injeção, extrusão, sopro de filme, etc.(Vinod *et al.*, 2020; Oliveira e Borges, 2020).

Embora haja um grande interesse em materiais à base de PLA, o custo atual do PLA não é competitivo o suficiente em relação aos polímeros oriundos do petróleo. A aplicação de minerais inorgânicos, tem sido uma prática comumente utilizada para reduzir o custo de fabricação da produção de plásticos, e é considerada uma opção viável para melhorar a economia geral dos compósitos com PLA além de melhorar suas propriedades (Ozhar *et al.*, 2020; Gayer *et al.*, 2019; Atli *et al.*, 2018; Kasuga *et al.*, 2003).

## 2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi a produção de cápsulas de café biodegradáveis a partir de poli (ácido láctico) contendo resíduos de cascas de café e minerais ricos em potássio e cálcio para que no pós-consumo sejam aproveitadas como fixadoras de mudas de plantas no solo e fontes de liberação de micronutrientes.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1. Materiais Utilizados

O polímero usado como matriz foi o poliácido láctico (PLA), obtido na forma de pellets e utilizado como recebido. O resíduo orgânico se trata das cascas de café, que foram cedidas pela

empresa Unique Cafés Especiais, localizada em São Lourenço – MG e foram trituradas em moinho de facas e utilizados com granulometria inferior a 2 mm.

Para enriquecimento do compósito com cálcio utilizou-se um resíduo oriundo do corte do mármore Bege Bahia, oriundo da região de Orolândia no Estado da Bahia com granulometria abaixo de 20 mm. Já o potássio é oriundo de um feldspato potássico oriundo de Serra Negra no Estado de Sergipe, com granulometria inferior a 20 mm.

### 3.2. Processamento dos Compósitos

Compósitos poliméricos híbridos foram definidos da seguinte forma: PLA/Café/Potássio/Cálcio foram preparados nas seguintes proporções mássicas: 100/0/0/0; 80/10/5/5; 70/20/5/5; 60/30/5/5 e 50/40/5/5 (Tabela 1). Os materiais foram secos a 80°C por 2 h antes do processamento, para retirada do excesso de umidade. Cada mistura foi alimentada em extrusora dupla-rosca (Teck Trill DC T 20-40) equipada com 11 zonas de temperatura, variando de 95 a 190°C, da alimentação até a saída da matriz, e rotação da rosca de 47 rpm. Os materiais foram obtidos na forma de pellets e posteriormente prensados em prensa quente (190°C, 6 t, 5 min) e prensa fria (6 t, 4 min), para obtenção de filmes.

### 3.3. Caracterização Tecnológica

#### 3.3.1 Fluorescência de Raios-X

Os minerais foram avaliados por fluorescência de raios-X em um espectrômetro de FRX BRUKER-AXS modelo S4- Explorer, equipado com tubo de Rh. Para obtenção da análise química semiquantitativa, o espectro gerado a partir da amostra foi avaliado pelo software *Spectraplus v.1.6* no modo *standerless method*, sem curva de calibração específica.

#### 3.3.2 Espectroscopia na Região do Infravermelho

Para caracterizar mudanças na estrutura química das amostras, foram realizadas análises de FTIR (FTIR -modelo *Nicolet 6700* da Thermo Scientific) no modo ATR, utilizando cristal de ZnSe, na faixa de número de ondas de 4000-650  $\text{cm}^{-1}$ , com 120 varreduras.

#### 3.3.3 Avaliação da densidade

A análise de densidade foi baseada nos métodos de teste padrão de Densidade e Gravidade Específica de Plásticos por Deslocamento, descritos pela Norma ASTM D792: 2013.

#### 3.3.4 Determinação da Dureza

Para realização do ensaio de dureza foi utilizada a Norma ASTM D2240-2010. Para a medição de dureza do material deste estudo, foi utilizado o durômetro SHORE D.

#### 3.3.5 Ângulo de Contato

Para a análise de ângulo de contato foi utilizado o Goniômetro avançado Ramé-Hart, modelo 500-F1. Uma gota de água destilada com 2,5  $\mu\text{L}$  era colocada sobre a superfície da amostra, sendo a imagem da gota capturada por uma câmera digital, conectada ao equipamento. Os ângulos de contato foram calculados automaticamente pelo software do computador conectado ao goniômetro. A evolução do comportamento da gota foi medida em intervalos de 10 segundos num tempo total de 90 segundos por formulação.

#### 3.3.6 Biodegradação

Os compósitos foram previamente pesados e colocados em contato com solo natural com valor de pH de 5,6 e também em água destilada ajustada para o mesmo pH. Diariamente as amostras foram pesadas, o pH foi medido e alíquotas de água e solo foram recolhidas para monitoramento dos teores de potássio e cálcio por ICP-Plasma.

### 3.4. Confeção da Cápsula por meio da Impressão 3D

A fim de se verificar a processabilidade do compósito, escolheu-se a composição contendo 50% de PLA, 40% de casca de café, 5% de potássio e 5% de cálcio para geração de fios de abastecimento da impressora 3D utilizando-se os parâmetros de impressão de uma cápsula comercial.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização Química

A caracterização química por FRX do resíduo do Mármore Bege Bahia, indicou o cálcio, respondendo por cerca de 50% da amostra e 47% de perda por calcinação, referente aos carbonatos. O material é encontrado naturalmente como carbonato de cálcio (calcita). (Varela *et al.*, 2006; Chagas *et al.*, 2021). No caso do mineral utilizado como fonte de potássio, trata-se de um feldspato potássico com cerca de 15% de potássio e 80% de sílica. Já a casca de café, o carbono é o componente presente em maior concentração, correspondendo a 90%.

### 4.2. Espectroscopia na Região do Infravermelho

Em relação aos resultados de espectroscopia na região do infravermelho a Figura 1 apresenta os espectros do PLA, dos compósitos e de uma cápsula de café comercial como comparação. A cápsula comercial apresenta picos característicos de polímeros como o polipropileno e o polietileno de alta densidade em sua composição (Martins *et al.*, 2019; Chagas *et al.*, 2021), que não são biodegradáveis. As cápsulas desenvolvidas neste trabalho apresentam picos característicos do PLA e das cargas utilizadas, variando-se apenas as intensidades dos picos, devido as diferentes proporções utilizadas. Ou seja, a interação do PLA com as cargas é uma interação física.

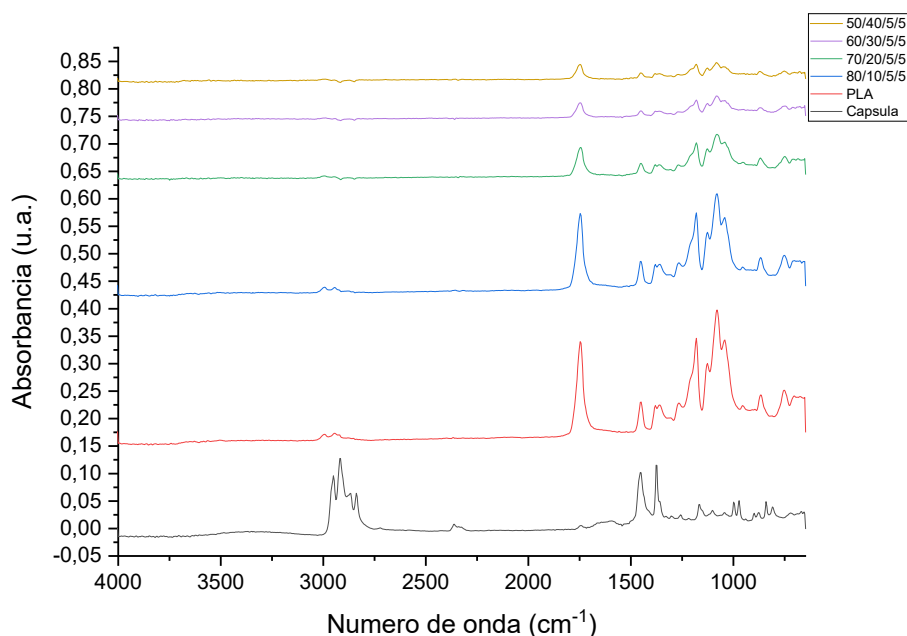


Figura 1: Análise de FT-IR do PLA, dos compósitos e de uma cápsula de café comercial.

### 4.3. Densidade, Dureza e Ângulo de Contato

Resultados da análise de densidade, dureza e ângulo de contato estão apresentados na Tabela 1. Os valores de densidade indicaram pequena variação, indicando valor médio de  $1,1 \text{ g.cm}^{-3}$ , mesmo com adição de 50% de cargas (cascas e minerais) caracterizando a leveza do compósito.

Observa-se que o aumento do teor de carga na matriz do polímero diminui a dureza do compósito, visto que a interação das moléculas poliméricas será dificultada, principalmente pela presença das fibras orgânicas da casca do café, afastando cada vez mais uma molécula de PLA da outra. Com isso, a inserção dessas cargas refletirá em compósitos de mais fácil degradação nos solos agrícolas como desejado.

Em termos de ângulo de contato observam-se valores abaixo de 90°, indicando a hidrofilicidade dos compósitos, até mesmo a cápsula comercial. No entanto, a inclusão das cargas permite diminuições de cerca de 10° nos valores de ângulo de contato indicando a acentuação do caráter hidrofílico, ou seja, os materiais quando em contato com o solo, terão mais facilidade de degradação, pois absorverão mais facilmente a água e, conseqüentemente irão se desestruturar com mais rapidez, liberando os micronutrientes (cálcio, potássio e carbono) ao solo.

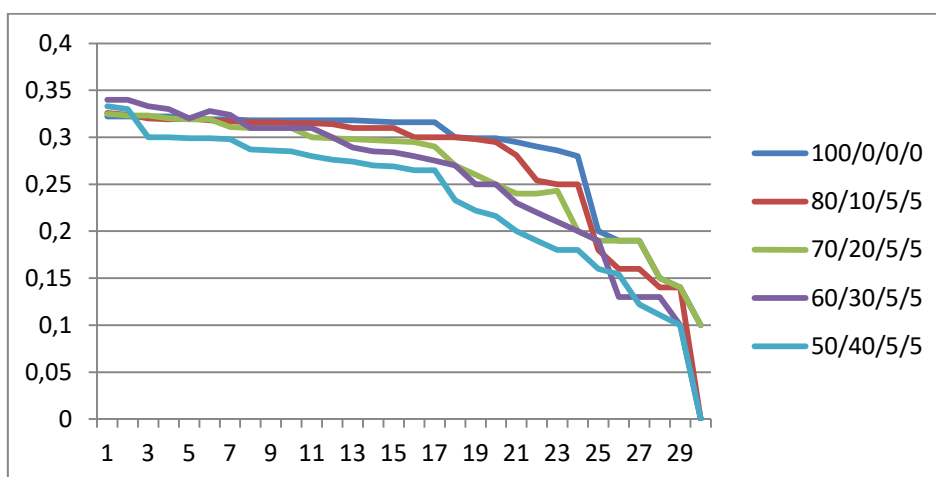
**Tabela 1:** Resultados das análises de densidade, dureza e ângulo de contato com água.

Amostra (%m/m) PLA/café/Potássio/Cálcio	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Dureza (Shore D)	Ângulo de contato (°)
Capsula comercial	0,866±0,019	80,67±0,58	74,80±0,17
100/0/0/0	1,259±0,025	78,67±2,30	64,25±3,48
80/10/5/5	1,190±0,045	78,67±2,08	76,70±3,75
70/20/5/5	1,200±0,005	74,33±9,07	65,85±0,76
60/30/5/5	1,166±0,005	71,33±2,51	64,02±0,55
50/40/5/5	1,138±0,090	69,33±2,31	74,61±0,29

#### 4.4. Biodegradação

A Figura 2 apresenta os resultados de biodegradação do PLA, em gramas, ao longo do tempo, em dias, onde se pode verificar que o PLA puro apresenta queda substancial de perda de massa após o 25º dia de ensaio e que à medida que se aumenta a carga de cascas de café e mineral, a degradação é mais acelerada, observando-se perda de massa mais substancial já no 15º dia de ensaio. Isso ocorre, pois as cargas adicionadas apresentam interação física com o polímero e a resistência mecânica é reduzida e com isso, a degradação no solo será mais eficaz.

No que tange os valores de pH, tanto o solo quanto a solução ácida, que apresentavam pH de 5,6 tiveram alterações significativas já nos sete primeiros dias de ensaios, chegando-se a 6,8 e após 15 dias de ensaio os valores chegam a 7,5, mantendo-se praticamente constantes até a degradação total da amostra. Concomitantemente verifica-se que os teores de cálcio no solo, que inicialmente eram de 200 mg.L<sup>-1</sup> chegam a 870 mg.L<sup>-1</sup> em 15 dias de ensaio e os teores de potássio que se encontravam e 22 mg.L<sup>-1</sup> passam para 46 mg.L<sup>-1</sup>.



**Figura 2:** Valores em gramas dos compósitos versus o tempo em dias.

## 5. CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que cápsulas de café podem ser processadas 100% biodegradáveis, contendo poliácido láctico enriquecido com cargas (cascas de café, minerais de potássio e cálcio) que serão responsáveis em diminuir a dureza do compósito e aumentar a hidrofiliabilidade do mesmo, facilitando sua degradação no solo após consumo.

Dessa forma, cápsulas de café podem ser gerados por meio de impressão 3D contendo 50% de PLA, 40% de casca de café, 5% de potássio e 5% de cálcio e após o consumo podem ser aplicadas como fixadoras de mudas de plantas no solo e a medida que se biodeterioram disponibilizam micronutrientes e correção de pH aos solos agrícolas.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão da bolsa, ao CETEM e a UERJ-ZO pela infraestrutura.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATLI, A.; CANDELIER, K.; ALTEYRAC, J. Mechanical, thermal and biodegradable properties of bioplast-spruce green wood polymer composites. *Int J Chem Molec Nucl Mater Metal Eng*, v. 12(5), p. 226-238, 2018.

BARNES, D.K.A.; GALGANI, F.; THOMPSON, R.C.; BARLAZ, M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, v. 364, p. 1985-1998, 2009.

Chagas, G.N.; Barros, M.M.; Leão, A.G.; Bastos, D.C. Sustainable Composite from polypropylene post-consumer and dimension stone waste. *Brazilian Journal of Development*, 3(7), p. 22298, 2021.

GAYER, C.; RITTER, J.; BULLEMER, M.; GROM, S.; JAUER, L.; MEINERS, W. *et al.* Development of a solvent-free polylactide/calcium carbonate composite for selective laser sintering of bone tissue engineering scaffolds. *Mat Sci Eng C-Mater*, v. 101, p. 660–673, 2019.

JAMBECK, J.R.; GEYER, R.; WILCOX, C.; SIEGLER, T.R.; PERRYMAN, M.; ANDRADY, A.; NARAYAN, R.; LAW, K.L. Plastic waste inputs from land into the ocean, *Sci. Magna*, v. 347, p. 768-771, 2015.

KASUGA, T.; HIROTAKA, M.; KATO, K.; NOGAMI M, HATA K, MINORU U. Preparation of poly(lactic acid) composites containing calcium carbonate (vaterite). *Biomaterials*, v. 24(19), p. 3247-53, 2003.

MARTINS, S.; BARROS, M.M.; PEREIRA, P.S.C., BASTOS, D.C. Use of manufacture residue of fluidized-bed catalyst-cracking catalysers as flame retardant in recycled high-density polyethylene. *J. Mater. Res. Technol.*,v.8, n.2, p. 2386-94, 2019.

10.1016/j.jmrt.2018.11.015.

OLIVEIRA, A.C.S. AND BORGES, S.V. Poli (Ácido Láctico) Aplicado para Embalagens de Alimentos: Uma Revisão. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 15, n. 1, p. 1-10 ISSN 1809-8797, 2020.

OZYHAR, T., BARADEL, F.; ZOPPE, J. Effect of functional mineral additive on processability and material properties of wood-fiber reinforced poly(lactic acid) (PLA) composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 132, p. 105827, 2020.

SILVA, A.B.; BASTOS, A.S.; JUSTINO, C.I.L.; COSTA, J.P.; DUARTE, A.C.; ROCHA-SANTOS, T.A.P. Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry-A review. *Analytica Chimica Acta*, v.1017, p. 1-19, 2018.