



COMPOSTABILIDADE DO BIOPOLÍMERO ACETATO DE CELULOSE, RESÍDUOS DE HORTIFRÚTI E PODA DE ÁRVORES

LORENA PALOMA PIAI; MAYARA THAMELA PESSOA PAIVA; SUZANA MALI; ROGER NABEYAMA MICHELS; TATIANE CRISTINA DAL BOSCO

RESUMO

O grande consumo de materiais provenientes de polímeros sintéticos, juntamente com o seu descarte incorreto, tem ocasionado impactos ao meio ambiente. Neste sentido, os biopolímeros surgem como uma alternativa mais sustentável, pois são produzidos a partir de fontes renováveis, como por exemplo, a celulose e, muitos são compostáveis. A compostagem é uma das possibilidades para a destinação final de resíduos orgânicos, que representam quase que a metade dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. Neste trabalho, objetivou-se analisar a redução de massa e volume dos resíduos orgânicos de hortifrúti e poda de árvores e a compostabilidade do biopolímero produzido a partir de acetato de celulose. A compostagem foi realizada em uma composteira comercial de 435L, sendo que 145L foram ocupados com resíduos de hortifrúti e 290L com poda de árvore. O processo de compostagem teve duração de 60 dias. O acetato de celulose, biopolímero empregado neste trabalho, foi obtido a partir da acetilação da celulose extraída da casca de aveia (em pó). Foram monitorados durante o processo da compostagem a descaracterização dos resíduos orgânicos e a redução de massa e volume. As amostras do acetato de celulose foram retiradas da composteira para análise visual da degradação e determinação da redução de massa aos 30 e 60 dias a partir do início do processo. Os resíduos de hortifrúti apresentaram completa descaracterização ao final dos 60 dias de compostagem. Já a poda de árvore teve apenas sua granulometria diminuída. A redução de volume e massa foi 29,6% e 55%, respectivamente, resultado interessante do ponto de vista do gerenciamento de tais resíduos. O biopolímero (acetato de celulose) estudado apresentou potencial de compostabilidade, com redução de massa acima de 98,5%. Concluiu-se que a compostagem foi eficiente para a degradação dos resíduos de hortifrúti e do biopolímero em estudo.

Palavras-chave: Biodegradação; Compostagem de biopolímeros; Resíduos Sólidos Urbanos.

1 INTRODUÇÃO

Os materiais produzidos a partir de polímeros sintéticos, como por exemplo os plásticos não biodegradáveis, possuem um longo tempo de vida útil, levando em média 100 anos para se decomporem totalmente, e conseqüentemente, provocam problemas ambientais, como o acúmulo e o aumento da quantidade de resíduo plástico descartado no meio ambiente (ROSA; FRANCO; CALIL, 2001). Rosa *et al.* (2001) explicam que os polímeros formados por hidrocarbonetos são resistentes ao ataque químico e biológico, o que garante a sua longevidade e outras propriedades que se mantêm por longo tempo.

Em 2019, de aproximadamente 79,6 milhões de toneladas de resíduos gerados no Brasil, 13,35 milhões de toneladas foram de plásticos descartados, correspondendo a 16,8% de todo o resíduo coletado (ABRELPE, 2020). De acordo com a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2022), no país, a produção de plásticos chegou a 6,7 milhões de toneladas

em 2022, sendo que 40,1% do consumo foi de setores que possuem um ciclo de vida curto, como por exemplo o setor alimentício.

Segundo a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2022), em 2022, foram gerados no Brasil cerca de 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, o que equivale a 1,043 kg de resíduos gerados diariamente por habitante. Dos resíduos sólidos coletados 39% acabaram em locais inadequados, como lixões e aterros controlados, o que equivale a mais de 29 milhões de toneladas, sendo fonte de poluição e degradação ambiental. Tal fato é contrário ao estabelecido na PNRS, que determina uma ordem de prioridades para o gerenciamento dos resíduos, sendo esta: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final de rejeitos (BRASIL, 2010). Ou seja, o ato de dispor os resíduos deve ser a última opção, sendo que, deve ser aterrado somente o que for rejeito: aquilo que não pôde ser tratado ou reciclado (MASSUKADO, 2016).

No Panorama 2020 da ABRELPE, fez-se uma análise em relação à reciclagem durante a primeira década de vigência da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), e apontou-se que os índices registrados ao longo dos últimos anos não se mostram suficientes para confrontar o crescimento na geração de resíduos e superar o déficit histórico que se mantém em diversas frentes, sobretudo na destinação final. Quando comparado o ano de 2010 a 2019, o número de cidades que registraram iniciativas de coleta seletiva teve um aumento de apenas 17,8%, totalizando 4.145 municípios, o correspondente a 74,4% dos municípios brasileiros. No entanto, em alguns municípios, a coleta seletiva não abrange integralmente a área urbana, o que explica os índices de reciclagem inferiores a 4% na média (ABRELPE, 2020).

A substituição dos plásticos convencionais por materiais produzidos por meio de fontes renováveis é importante para que haja a redução nos impactos ao meio ambiente (BARBIERI; SCOPEL; REZENDE, 2020). A PNRS determina como objetivo a “adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais” (BRASIL, 2010, Art. 7). Nesse sentido, nota-se que os impactos negativos do plástico ao meio ambiente têm estimulado o surgimento de tecnologias e materiais a partir de fontes naturais renováveis, como possível solução (ROCHA *et al.*, 2014).

Os biopolímeros surgem como alternativa aos polímeros de origem sintética, com vantagem de serem produzidos através de fontes de carbono renováveis, geralmente derivados de biomassas, como por exemplo cascas de trigo, soja e laranja (DEBIAGI *et al.*, 2019; MONTOVAN *et al.*, 2020; PRADELLA, 2006). Tais biopolímeros podem ser utilizados como itens de descarte rápido e embalagens (BORSCHIVER; ALMEIDA; ROITMAN, 2008). Além disso, é possível que a sua biodegradação seja feita por meio de diferentes métodos, como a compostagem (LEAL *et al.*, 2017).

O Brasil possui grande potencial para a compostagem dos resíduos sólidos urbanos. Segundo a ABRELPE (2020) na composição gravimétrica dos resíduos coletados em 2019, observou-se que a maior parcela (45,3%) era de resíduos orgânicos. Porém, uma das dificuldades na operação de usinas de compostagem é na etapa operacional, durante a remoção dos plásticos que envolvem os resíduos orgânicos que chegam para tratamento (TAIATELE, 2017; MENESES; DAL BOSCO; MICHELS, 2021). Acredita-se, portanto, que, esta etapa poderia ser minimizada, se os resíduos orgânicos fossem acondicionados em sacos compostáveis, visto que o saco poderia seguir para a compostagem juntamente com os resíduos orgânicos.

Deste modo, objetivou-se, avaliar a redução de massa e volume dos resíduos de hortifrúti e poda de árvore em meio a um processo de compostagem na presença de um biopolímero, o acetato de celulose, obtido a partir da acetilação da celulose extraída da casca de aveia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi conduzido majoritariamente nos laboratórios e na Estufa de Resíduos Sólidos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) *Campus* Londrina.

Os resíduos orgânicos utilizados foram: hortifrúti e podas de árvores trituradas. Os hortifrúti foram fornecidos por um comércio local e a poda de árvore pela Secretaria Municipal do Ambiente de Londrina, Setor de Áreas Verdes, responsável pelas podas no município. Todos os resíduos de hortifrúti foram picados em pedaços de aproximadamente 5cm x 5cm a fim de ajustar a granulometria antes de serem inseridos na composteira, respeitando o preconizado na literatura (1-5 cm) (PEREIRA NETO, 2010). Já a poda de árvore, estava com a granulometria adequada, haja visto que foi triturada mecanicamente, logo após a poda, no momento da coleta. O acetato de celulose utilizado no experimento foi produzido e fornecido pelo Laboratório de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Estadual de Londrina (UEL), sendo caracterizado como monoacetato de celulose, grau de substituição (GS = 1), obtido a partir da celulose extraída da casca de aveia (em pó).

A compostagem foi realizada numa composteira comercial de 435 L, com as seguintes dimensões: 70 x 80 x 70 cm (Largura x Altura x Profundidade). Utilizou-se a proporção 1:2 em volume, para a montagem da composteira, sendo uma parte (145 L) de resíduos de hortifrúti e duas partes (290 L) de podas de árvores trituradas. A fim de que houvesse um contato da fração mais úmida com a mais seca, a montagem foi feita por meio da superposição de camadas alternadas de cada resíduo. A primeira e a última camada foram compostas com o resíduo de poda, ou seja, resíduo seco, com o intuito de evitar o mau cheiro e a atração de moscas e vetores (PEREIRA NETO, 1988).

Para uma melhor homogeneização dos resíduos, as camadas foram montadas em cima de uma lona, misturadas e após isso colocadas na composteira. Depois de completar metade da composteira, as amostras do biopolímero foram inseridos em pequenos sacos feitos de meias finas, cada um amarrado com uma cor de fita para facilitar a identificação. Os sacos foram inseridos de forma aleatória, em uma mesma camada. Para avaliar a descaracterização, as amostras do biopolímero foram monitoradas por meio de registros fotográficos após 30 e 60 dias de compostagem. Os registros fotográficos foram feitos sempre com fundo azul e utilizando-se uma régua como balizador de escala.

Para a determinação da perda de massa as amostras foram pesadas (P0), antes da inserção na composteira, de modo a ser realizada a determinação da umidade do material (ensaio destrutível) seguindo a metodologia de APHA (2012). O teor de umidade foi descontado de P0, de modo a se conhecer a massa seca inicial de cada uma das amostras. Aos 30 e 60 dias, as amostras foram retiradas, em duplicata, da composteira, pesadas e, em seguida, fez-se o ensaio de umidade, para a determinação da perda de massa seca.

Para acompanhar a redução de volume, toda semana foram realizados registros com o auxílio de uma régua, a fim de verificar quantos centímetros o material havia se distanciado em relação à borda da composteira, que foi cheia no início do processo. Ao final calculou-se a redução de volume, considerando esta diferença e expressou-se os dados em porcentagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Redução de volume, massa e descaracterização dos resíduos compostados

He, Logan e Traina (1995) afirmam que há uma significativa redução de volume e peso específico na compostagem em relação aos resíduos colocados inicialmente no processo. Silva (2007) explica que essa redução é em razão da degradação do material e devido ao CO₂ liberado no processo de respiração microbiana.

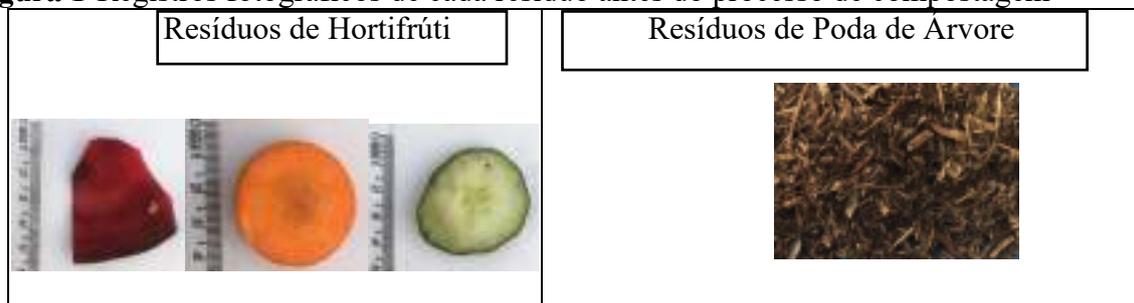
Na Tabela 1 apresenta-se a redução de volume e massa resultante da compostagem dos resíduos orgânicos.

Tabela 1-Redução de massa e volume do material compostado ao longo do processo

MASSA SECA INICIAL (Kg)	MASSA SECA FINAL (Kg)	REDUÇÃO DE MASSA (%)	VOLUME INICIAL (L)	VOLUME FINAL (L)	REDUÇÃO DE VOLUME (%)
41,5	29,2	29,6	435	151	55

Observa-se que o processo resultou na redução de massa da ordem de 29,6% (Tabela 1). Gorgati (2001), ao compostar resíduos orgânicos municipais, obteve reduções de massa que variaram de 32 a 61,6%. Já a redução de volume foi de 55%. A significativa redução de volume no processo de compostagem já era esperada. Conforme relata Kiehl (1985), os resíduos orgânicos em processo de compostagem tendem a diminuir seu volume próximo de 50%. Taiatele Jr (2017), ao compostar resíduos orgânicos e podas obteve redução de 54,20% de volume, após 70 dias de tratamento. Essas reduções significativas de massa e volume reafirmam a importância e as vantagens de se fazer o tratamento dos resíduos do presente estudo, hortifrúti e poda de árvores, via compostagem, de forma que a destinação final dos mesmos não seja aterros sanitários. Taiatele Jr *et al.* (2014) destacam algumas vantagens do processo, como: diminuição do volume de material orgânico disposto em aterro sanitário, aumento da vida útil do mesmo, e menor geração de lixiviado e de gases por receberem menor quantidade de resíduos biodegradáveis. Em relação à descaracterização dos resíduos compostados, na Figura 1 pode-se observar os registros fotográficos dos resíduos no dia da montagem da composteira.

Figura 1-Registros fotográficos de cada resíduo antes do processo de compostagem



Os resíduos orgânicos foram os que tiveram maior descaracterização, sendo que, logo nas primeiras semanas já não era mais possível identificar grande parte dos fragmentos que eram perceptíveis ao início do processo. Já a poda, observou-se menor degradação, tendo reduzido sua granulometria, porém ainda era possível identificá-la ao final do processo.

A degradação mais lenta da poda pode ser explicada pela presença de celulose e lignina, que constituem fontes de carbono de lenta biodegradação, enquanto resíduos orgânicos são majoritariamente constituídos de fontes de carbono prontamente biodegradáveis, como proteínas e açúcares (EPSTEIN, 1997). Além disso, a camada superior e a inferior foram colocadas separadamente na hora da montagem, sem misturar com o resíduo úmido. Por ser um resíduo seco, a poda pode ter recebido menor atuação dos microrganismos decompositores, visto que, segundo Valente *et al.* (2009), baixos teores de umidade podem ocasionar redução da atividade biológica, fazendo com que haja uma menor degradação. Taiatele Jr *et al.* (2014) e Moser (2017), em seus estudos, também utilizaram resíduos orgânicos e poda no processo de compostagem com a inserção de biopolímeros, e constataram boa degradação dos resíduos, com menor degradação da poda, sendo possível ainda identificá-la ao final do processo, porém em granulometria menor.

Ao fim dos 60 dias do processo de compostagem foi constatada uma boa descaracterização dos resíduos que compuseram a composteira, como mostrado na Figura 2.

Figura 2-Registro fotográfico do composto ao final do processo.



a) Composto bruto

b) Composto peneirado

3.2 Redução de massa e descaracterização do acetato de celulose

O monoacetato de celulose obtido a partir da casca de aveia (em pó) apresentou considerável redução no tamanho das partículas como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3-Diferentes estágios de degradação do biopolímero durante o processo de compostagem.



Taiatele Jr (2017) explica que a perda de massa pode ser ocasionada pela conversão de matéria orgânica em gás carbônico por meio da degradação aeróbica do biopolímero. Aos 60 dias de experimento o monoacetato de celulose totalizou uma redução média de massa de aproximadamente 98,5%. Segundo Cerqueira *et al.* (2010), o grau de substituição interfere na cristalinidade e no potencial de biodegração dos biopolímeros. Além disso, Endres e Siebert-Raths (2011) afirmam que a biodegradação do acetato de celulose diminui à medida que o grau de substituição aumenta.

4 CONCLUSÃO

- Ao final do processo obteve-se reduções de 55% do volume inicial do composto e de 29,6% da massa, resultados que evidenciam as vantagens e a importância de se fazer o tratamento dos resíduos do presente estudo via compostagem, de forma que a destinação final dos mesmos não seja os aterros sanitários;
- Os resíduos de hortifrúti apresentaram completa descaracterização ao final dos 60 dias de compostagem. Já a poda de árvore teve apenas sua granulometria diminuída.
- O biopolímero estudado (acetato de celulose) apresentou potencial de compostabilidade, com redução de massa acima de 98,5%.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **Perfil 2022**. São Paulo/SP. [2020]. Disponível em: <https://www.abiplast.org.br/> Acesso em: 03 de jun, 2023.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil** – 2019/2020. São Paulo/SP. [2020]. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/> Acesso em: 29 de mai, 2023.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil** – 2022. São Paulo/SP. [2022]. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2022/> Acesso em: 29 de mai, 2023.

APHA. AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: American Public Health Association, 2012.

BARBIERI, H.C.R; SCOPEL, E; REZENDE, C.A. Investigação da influência de lignina e hemicelulose nas propriedades de filmes de acetato de celulose. In: **Congresso Virtual De Iniciação Científica Da Unicamp**. 2020. p. 1-4.

BORSCHIVER, S; ALMEIDA, L.F. M.; ROITMAN, T. Monitoramento tecnológico e mercadológico de biopolímeros. **Polímeros**, São Carlos, v. 18, n. 3, p. 256- 261, 2008.

BRASIL 2010. Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 - **Política Nacional de Resíduos Sólidos** (PNRS). Disponível em: www.planalto.gov.br.

CERQUEIRA, D.A; RODRIGUES FILHO, G; CARVALHO, R.A; VALENTE, A.J.M. Caracterização de acetato de celulose obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar por ¹H-RMN. **Polímeros**, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 85-91, 14 maio 2010. Fap UNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282010005000017>. Acesso em: 18 jun. 2023.

DEBIAGI, F.; FARIA-TISCHER, P. C.S.; MALI, S. Nanofibrillated cellulose obtained from soybean hull using simple and eco-friendly processes based on reactive extrusion. **Cellulose**, v. 27, p. 1975–1988, 2019.

EPSTEIN, E. **The Science of Composting**. CRC Press, 1997.

ENDRES, H. J; SIEBERT, A. R. Engineering biopolymers. **Eng. Biopolym**, v. 71148, p. 3-15, 2011.

GORGATI, C. Q. **Resíduos sólidos urbanos em área de proteção aos mananciais-município de São Lourenço da Serra-SP: compostagem e impacto ambiental**. 2001. HE, X. T.; LOGAN, T. J.; TRAINA, S. J. Physical and chemical characteristics of selected U. S. municipal solid waste composts. **Journal of Environmental Quality**, v. 24, p. 543-552, 1995.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 492p. 1985.

LEAL, G.B; ROSSATO, J.H.H; ROSA, M.F; MARCONCINI, J.M; MATTOSO, L.H.C; MANTOVANI; G.L. Processamento e estudo das propriedades mecânicas e da morfologia de biocompósitos de acetato de celulose reforçados com fibra de coco. : **workshop de nanotecnologia aplicada ao agronegócio**, 9., 2017, São Carlos/Sp. Etc. Embrapa Instrumentação, 2017. p. 1-4. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/168118/1/P-Processamento-eEstudo->

das-Propriedades-Mecanicas. Acesso em: 02 jun 2023.

MASSUKADO, L.M; **Compostagem: nada se cria, nada se perde; tudo se transforma**. Brasília: Editora IFB, 2016.

MENESES, R. M. D. A. O.; DAL BOSCO, T. C; MICHELS, R. N. Degradação de material biopolimérico feito com cera de abelha em sistema de compostagem doméstica. In: **XXVI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR**. 2021.

MONTOVAN, j.; GIRALDO, G. A. G.; MARIM, B. M.; KISHIMA, J. O. F.; MALI, S. Valorization of orange bagasse through one-step physical and chemical combined processes to obtain a cellulose-rich material. **Journal oh the Science of Food and Agriculture**, v. 101, p. 2362-2370, 2021.

PEREIRA NETO, J. T. Monitoramento da eliminação de organismos patogênicos durante a compostagem de resíduos urbanos e lodo de esgoto pelo sistema de pilhas estáticas aeradas. **Engenh. Sanit.**, 27: 148-152. 1988.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem: processo de baixo custo**. UFV. Viçosa. 81 p. 2010.

PRADELLA, J. G. C. - "**Biopolímeros e Intermediários Químicos**", relatório técnico nº 84396-205, Centro de Tecnologia de Processos e Produtos, Laboratório de Biotecnologia Industrial - LBI/CTPP, 2006.

ROCHA, G. O; FARIAS, M. G; CARVALHO, C. W. P; ASCHERI, J. L. R; GALDEANO, M. C. Filmes compostos biodegradáveis a base de amido de mandioca e proteína de soja. **Polímeros** [online]. 2014, v. 24, n. 5, pp. 587-595. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.1355>. Acesso em: 07 jun 2023.

ROSA, D. S; FRANCO, B. L. M; CALIL, M. R; Biodegradabilidade e propriedades mecânicas de novas misturas poliméricas. **Polímeros** [online]. 2001, v. 11, n. 2 , pp. 82-88 .

SILVA, L. N. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel. 59f. 2007.

TAIATELE, I. Jr; DAL BOSCO, T. C.; BERTOZZI, J.; MICHELS, R. N.; FREITAS, B. de O. Automatização Do Monitoramento De Temperatura De Leiras De Compostagem Em Alta Resolução Temporal. In: **XLIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, São Pedro, 2014

TAIATELE, I. Jr. **Compostagem e hidrólise abiótica de blendas entre amido e outros polímeros biodegradáveis**. 2017. 138 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017

VALENTE, B. S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM, B. de S. Jr.; CABRERA, B. R.; MORAES, P de O. e LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**. v.58. p.60-76, 2009.