



PRODUÇÃO E BIODEGRADAÇÃO DE BIOPLÁSTICOS: USO DE BIOMASSA DE MATÉRIA PRIMA DE REUSO COMO BASE PARA UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL E TRANSFORMADORA

Leticia S. dos Santos¹; Clarissa R. de Souza²; Luisa L. Marçal³.

^{1,2,3} Instituto Federal de Educação e Tecnologia do Rio de Janeiro

Palavras-Chave: Biofilme, albedo e antioxidante.

Introdução

É crescente os estudos de polímeros naturais (biopolímeros), como polissacarídeos, lipídeos, proteínas e outros, como alternativa aos polímeros sintéticos que atuam em diversas áreas e setores consumidores e geram toneladas de lixo plástico que perpetuam por anos no meio ambiente. Segundo, Braga, et al, 2022, os biopolímeros como quitosana, amido, pectina, acetato de celulose e poli(ácido lático) (PLA), são encontrados ou produzidos a partir de diversa fontes naturais como casca de camarões ou outros animais marinhos e insetos, algas, casca de frutas cítricas e maçãs, partes de vegetais como raízes, cereais, madeira, bagaço de cana, dentre outros.

Especialmente nesse trabalho destaca-se a pectina, um polissacarídeo produzido em diversos cítricos como maracujá, maçã, morango e laranja. Se tratando de laranja, sabe-se que o Brasil é o maior produtor contendo 32,8% da produção mundial e o maior fornecedor de suco de laranja com 62% da produção mundial (Vidal, 2021), tendo como subproduto na produção de suco o albedo (bagaço) que é um resíduo industrial comumente descartado ou subutilizado como ração de animais (Sugimoto, 2018). O albedo da laranja é rico em pectina, tendo em torno de 23% desse polissacarídeo (Elnawawi, et al, 1987), além de ser rico em compostos fenólicos (com propriedades antioxidantes). A aplicação dessa parte da laranja em outras alternativas sustentáveis se torna interessante.

Baseado nisso, o objetivo dessa pesquisa é a atrelar a pesquisa acadêmica básica aos interesses do mercado consumidor, através da produção de uma biomassa rica em pectina, utilizando o albedo da laranja pera (*Citrus Sinensis*) para a aplicação na confecção de películas ativas, visando inicialmente a substituição de filmes sintéticos, com a finalidade de aumentar o tempo de prateleiras de frutas e legumes embalados.

Material e Métodos

Essa pesquisa foi planejada para realizar 2 estudos: A produção de uma biomassa capaz de ser transformada em biofilmes aplicáveis em embalagens ativas e outras aplicações (Estudo 1) e a avaliação da biodegradação preliminar de biofilmes previamente preparados (Estudo 2). Para a produção da biomassa (Estudo 1), desenvolveu-se um procedimento simplificado a partir do preparo de um caldo aquoso em pH 4-5 do albedo da laranja pera *Citrus Sinensis*, sob 3 condições: o preparo de uma biomassa tradicional (BPA), o preparo de uma biomassa após um tempo de 4 dias de armazenamento do albedo (BPB) e o preparo de uma biomassa com o albedo e o flavedo da laranja (BPC). Realizou-se a quantificação dos fenólicos totais de BPA, BPB, BPC e do albedo puro, seguindo o procedimento Gomes, 2015, onde os compostos antioxidantes foram quantificados via análises espectrofotométricas em solução de etanol usando reagente de *Folin-Ciocalteu*. Os biofilmes foram produzidos pelo método *casting* a partir da biomassa seca (liofilizada) e molhada, foram secos em estufa à 44°C por 24h dia, e tiveram no preparo o uso (ou não) de aditivos, como amido de milho, estearato de magnésio, ácido málico, ácido acético e goma guar, visando analisar o efeito dos aditivos nas propriedades físicas e mecânicas dos produtos finais. Por fim, os biofilmes foram submetidos ao método de Siqueria, *et al*, 2012, onde a atividade antimicrobiana dos filmes foi preliminarmente testada pelo método de imersão em solução filmogênica e também pelo

envolvimento do filme propriamente dito em maçãs e bananas com o acompanhamento de perda de massa durante 5 dias. Estudos paralelos foram iniciados e encontram-se em andamento, como o preparo de blendas poliméricas com a biomassa seca utilizada como carga em poliestireno reciclado; a avaliação das propriedades mecânicas de todos os filmes preparados, utilizando o equipamento universal de testes e a análise da composição e estabilidade térmica com Analisador Termogravimétrico (TGA).

Para a avaliação da biodegradação preliminar dos biofilmes (Estudo 2), corpos de prova dos filmes previamente preparados foram enterrados em solo, seguindo o estudo de Lima, 2013. Basicamente foram preparados corpos de prova dos 21 biofilmes em duplicata de aproximadamente 1 cm, que foram enterrados em copos de 1000 mL e adicionado uma coluna de 12 cm de solo sob as amostras. Estes foram condicionados a uma temperatura de $\pm 28^{\circ}\text{C}$ com retiradas em 5, 8, 13 e 19 dias, onde além da análise qualitativa visual dos corpos de prova, fez-se também a análise quantitativa de perda de massa dos protótipos.

Resultados e Discussão

Obteve-se como resultados nessa pesquisa o desenvolvimento de uma biomassa de baixo custo, devido a produção simplificada criada a partir do caldo de albedo preparado em diferentes condições: BPA, BPB e BPC. A quantificação dos fenólicos (**Tabela 1**) mostrou que para BPB (741,0 mg/100g) e BPC (973,1 mg/100g) não observa-se perda dos antioxidantes durante o processo de preparo das biomassas, mas para a BPA (552,3 mg/100g) ocorre uma pequena perda dos fenólicos em comparação ao albedo puro (725,4 mg/100g). Em comparação com a literatura, a BPA ainda assim se mostra com concentração maior que o albedo e casca de outros cítricos, como o albedo da laranja lima que apresenta 159,29 mg/100g (Silva, 2013), casca do limão com 124,63 mg/100g (Guimarães, 2010), toranja com 55,88 mg/100g, polpa do caju com $165,07 \pm 4,10$ mg/100g (Vieira, et al, 2011), e com a concentração equivalente da casca da laranja pera em $250 <x> 300,0$ mg GAE/L (Martelli, et al, 2014) (**Tabela 2**).

Tabela 1. Quantificação dos compostos fenólicos das biomassas produzidas nessa pesquisa BPA, BPB e BPC, em duplicata, e comparação com o albedo puro (MP).

Teste de Folin para fenólicos livres								
Amostras MP	Massa (g)	Abs	[] Eq. Ác. Gál mg/L	[] Eq. Ác. Gál mg/mL	[] Eq. Ác. Gál mg/100g	Média (mg/100g)	D. P.	CV
MP1	2,5	0,27	745,5	18,638	745,5	725,4	28,4	4%
MP2	2,5001	0,261	705,4	17,634	705,3			
Amostras BPA	Massa (g)	Abs	[] Eq. Ác. Gál mg/L	[] Eq. Ác. Gál mg/mL	[] Eq. Ác. Gál mg/100g	Média (mg/100g)	D. P.	CV
BPA	2,5002	0,161	258,9	12,946	517,8	522,3	6,3	1%
BPA'	2,5002	0,162	263,4	13,170	526,7			
Amostras BPB	Massa (g)	Abs	[] Eq. Ác. Gál mg/L	[] Eq. Ác. Gál mg/mL	[] Eq. Ác. Gál mg/100g	Média (mg/100g)	D. P.	CV
BPB	2,5003	0,185	366,1	18,304	732,1	741,0	12,7	2%
BPB''	2,5	0,187	375,0	18,750	750,0			
Amostras BPC	Massa (g)	Abs	[] Eq. Ác. Gál mg/L	[] Eq. Ác. Gál mg/mL	[] Eq. Ác. Gál mg/100g	Média (mg/100g)	D. P.	CV
BPC	2,5002	0,216	504,5	25,223	1008,8	973,1	50,5	5%
BPC''	2,5002	0,208	468,8	23,438	937,4			

Fonte: Autoria própria.

Foram preparados 23 biofilmes, variando-se entre uso de BPA, BPB e BPC com e sem aditivos, como pode ser visto na **Tabela 3**. Todos os biofilmes preparados estão sendo avaliados quanto à resistência física em parceria com o laboratório de polímeros da UERJ. Porém, estudos preliminares do grupo de pesquisa já demonstram resultados promissores para biofilmes semelhantes, onde a resistência física mostrou resultados de força (3,32-11,61 MPa)

e de deformação específica (11,66-19,69%) satisfatórios e próximos em resistência de um bioplástico comercial (14,00 MPa) e melhor do que um plástico convencional (23%) em termos de deformação menor. Ambos apresentaram uma boa estabilidade e boa resistência térmica, não apresentando fusão em nenhuma das temperaturas testadas (30°C - 180°C). Quanto à solubilidade em água dos biomateriais produzidos (em pH neutro) caracterizou-se como parcial a total.

Tabela 2. Comparação da concentração de compostos fenólicos das biomassas produzidas nessa pesquisa com outros cítricos na literatura.

Teste de Follin-Ciocalteu para fenólicos livres									
Extratos	Biomassas e matéria-prima				Casca de cítricos			Albedo	Polpa
Identificação	MP	BMPA	BMPB	BMPC	Limão	Toranja	Laranja pera	Laranja lima	Caju
Concentração (mg/100g)	725,4	522,3	741,0	973,1	124,63	55,88	-	159,29	165,07
Concentração (mg/L)	-	261,15	370,55	486,65	-	-	250,0 < x < 300,0	-	-
C.V.	4%	1%	2%	5%	-	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3. Proporção de biomassa dos 23 biofilmes preparados nesta pesquisa com e sem aditivos.

BMP	Aditivos				
	Amido de Milho	Ácido Malico	Ácido Acético	Estearato de magnésio e goma guar	Ácido Acético, Estearato de magnésio e Goma Guar
BMP	3%				
	6%				
	3%				
	6%	3%			
	3%				
	6%		1%		
	3%				
	6%			4,20%	
	3%				
	6%				0,50%
BPA	3%				
	6%				4,2% e 0,5%
BPB	6%				
	3%				
	6%	3%			
	3%				
	6%				0,50%
BPC	3%				
	6%				
	3%				
	6%	3%			
	3%				
6%				0,50%	

Fonte: Autoria própria.

Na avaliação da atividade antimicrobiana dos biofilmes frente a preservação das frutas, notou-se resultados mais efetivos para os testes com maçãs (**Figura 1**). O método de

imersão na solução filmogênica não foi satisfatório nessa pesquisa, porém o método dos filmes sobrepostos nas maçãs demonstraram uma perda de massa menor em comparação ao branco (**Figura 2**), o que caracteriza filmes com uma possível atividade de proteção contra a degradação do tempo nessa fruta. Já o por imersão não teve resultados bons já que o branco foi o que teve a menor perda de massa (**Figura 3**). Otimizações e novas avaliações ainda se fazem necessárias visando melhorar resultados ainda não concluídos e testar a reprodutibilidade dos testes preliminares. Porém os resultados até o momento já expõem potencial promissor no desenvolvimento de películas ativas com propósto nessa pesquisa.

Figura 1. Ilustração do teste realizado com maçãs envoltas com os biofilmes preparados.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2: % de perda de massa das maçãs envoltas com os biofilmes desta pesquisa.



Fonte: Autoras.

Figura 3. % de perda de massa das maçãs tratadas com solução filmogênica por imersão.



Fonte: Autoria própria

Quanto à biodegradação dos produtos finais analisados, notou-se que o biofilme que degradou mais rápido foi o de BPA e sem aditivo (7 dias) entre todos os analisados. Porém todos os biofilmes do albedo da laranja produzidos nesta pesquisa tiveram degradação total inferior a 13 dias em solo.

Em paralelo as atividades realizadas, preparou-se blendas poliméricas feitas com a biomassa (BPA) incorporada em 5% e 10% em uma mistura de poliestireno reciclado em meio tolueno:acetona (3:1) e com a adição de 1% glicerina a fim de diminuir as bolhas formadas na mistura. Notou-se resultados satisfatórios, obtendo-se uma mistura homogênea e resistente após seca (**Figura 4**). Ambas terão a sua resistência física avaliadas, porém a presença da BPA já demonstrou um potencial de diminuir a massa dos corpos de prova das blendas. Tais resultados indicam uma importância da presença da biomassa na composição da mistura para uma melhorar a biodegradação das blendas. A biomassa em maior porcentagem tendeu a degradar mais rápido do que filmes com menor porcentagem de biomassa, sendo observado uma diferença na perda de massa entre blenda com 5% de BPA (71,98% de perda de massa), 10% de BPA (77,42% de perda de massa) e poliestireno puro (97,76% de perda de massa) e com 5% de BPA e 1% glicerina (90,61% de perda de massa) como demonstra a **Figura 5**.

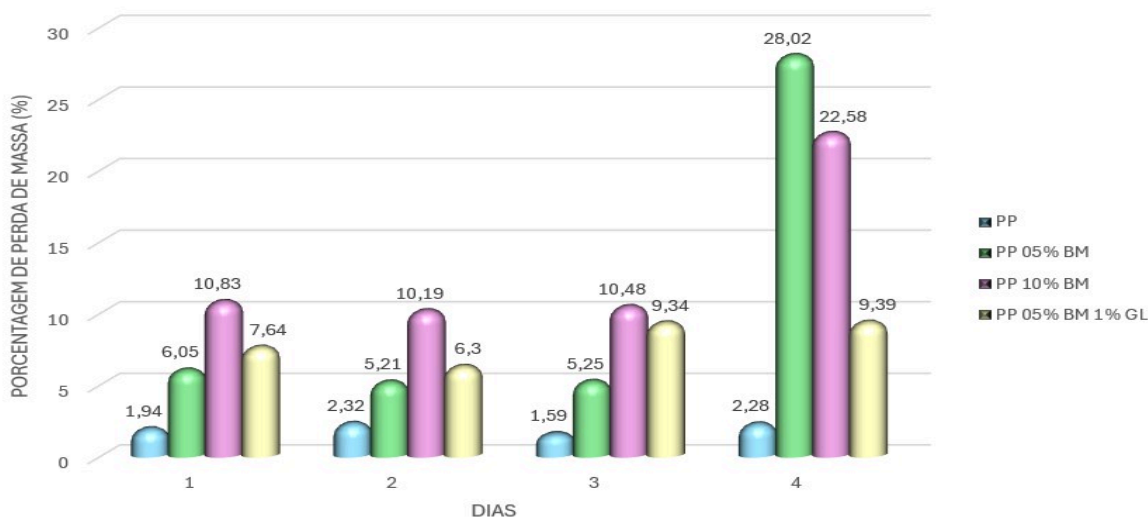
Figura 4. Blenda de 5% de BPA com poliestireno.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5. Gráfico da comparação das blendas preparadas X poliestireno puro

GRÁFICO DE PERDA DE MASSA DO POLIESTIRENO E BIOMASSA



Fonte: Autoria própria.

Conclusões

O presente projeto, embora com algumas análises e otimizações em andamento, apresenta-se com realizações exitosas. Produziu-se uma biomassa de baixo custo, utilizando um método simplificado e que pode ser aplicada para a produção de filmes com potencial ativo (antioxidante). As quantidades de compostos fenólicos foram preservadas após o processo de produção da biomassa e dos biofilmes e ganham destaque se comparadas com outros cítricos da literatura, o que desperta o interesse para aplicação como filmes protetores de frutas e legumes visando aumentar o tempo de prateleira. Os biofilmes apresentaram-se resistentes termicamente, estáveis, e com resistência física preliminar satisfatória com 3,32-11,61 MPa e com uma deformação específica de 11,66-19,69%, embora ainda exista a limitação de serem solúveis em água. A biodegradação preliminar avaliada demonstra um potencial ótimo, com degradação total dos corpos de prova inferior a 13 dias sob enterramento em solo. Além de todas essas potencialidades, a biomassa produzida também demonstrou capacidade de formar misturas homogêneas com outros polímeros como nas blendas poliméricas propostas nesta pesquisa, utilizando poliestireno reciclado. A degradação destes ainda encontra-se sob avaliação já que das blendas a que mais perdeu massa foi 5% BPA com o poliestireno com 77,42%, mas já observa-se uma perda de massa maior para os filmes com a presença de biomassa em comparação com os sem biomassa, o que motiva maiores investigações. Essa pesquisa já apresenta uma Patente submetida e caminha-se para o desenvolvimento de uma segunda.

Agradecimentos

Ao CNPQ pelo apoio financeiro. Ao IFRJ pelo espaço e suporte à pesquisa. Ao laboratório de polímeros da UERJ, e a professora Ana Furtado (UERJ) pela parceria e espaço para as análises realizadas.

Referências

BRAGA, L. R.; SILVA, F. M. Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias. **REBRAPA: Brazilian Journal of Food Research**. V. 13, n.3, 2022.



ELNAWAWI, S. A.; SHEHATA, F. R. Extraction of Pectin from egyptian orange peel - factors affecting the extraction. **Biological Wastes**, v. 20, n. 4, p. 281-290, 1987.

GOMES, S.; TORRES, A.G. / Optimized extraction of polyphenolic antioxidant compounds from Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) cake and evaluation of the polyphenol profile by HPLC. / **J Sci Food Agric**, volume 96, issue 8 2015, p. 2805-28-14, DOI 10.1002/jsfa.74448

GUIMARÃES, R.; BARROS, L.; BARREIRA, J. C.; SOUSA, M. J.; CARVALHO, A. M.; FERREIRA, I.C. Targeting excessive free radicals with peels and juices of citrus fruits: grapefruit, lemon, lime and orange. **Food Chem Toxicol.**, v. 48, n. 1, p. 99-106. Jan 2010.

LIMA, D. R. **Biodegradação de luvas látex de borracha natural**. Tese (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p.48. 2017.

LIMA, D. R. **Influência de tipos de ligações cruzadas na biodegradação da borracha natural**. Tese (Doutorado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p.54.2023.

MARTELLI, M. R.; BARROS, T. T.; ASSIS O. B. G. Filmes de polpa de banana produzidos por batelada: Propriedades mecânicas e coloração. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 24, n. 1, p. 137-142, 2014

SILVA, A. F. **Qualidade de frutos da laranja 'mimo-do-céu' (*Citrus cinensis* L.Osbeck VA. MIMO), oriundos de diferentes épocas de colheita**. Areia- PB, Centro De Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, 2013, 58p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia). Orientador: Profa Silvana de Melo Silva, Ph.D.

SIQUEIRA, T. ; SIGNINI, R.. Elaboração e Caracterização de Biofilmes de Quitosana para Aplicação em Maçãs Cortadas. **Revista Processo Químicos** 6(12), 35-45. Goiás, jul. 2012. Disponível em:<http://ojs.rpqsenai.org.br/index.php/rpq_n_1/article/view/169>.

SUGIMOTO, L. Resíduos da laranja rendem extrato para proteção cardiovascular. **Jornal da Unicamp**, 2018. Disponível em: <<https://unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2018/11/22/residuos-da-laranja-rendem-extrato-para-protecao-cardiovascular/#:~:text=E%2C%20na%20ind%C3%BAstria%20do%20suco,maioria%20descartados%20no%20meio%20ambiente.>>>. Acesso em: 6 de ago. de 2024.

VIDAL, M. F. **Produção de laranja na área de atuação de BNB**. Caderno Setorial ETENE, Fortaleza, v. 6. N. 198, p. 1-14, dez., 2021.

VIEIRA, L. M.; et al. Fenólicos totais e a capacidade antioxidante in vitro de polpas de frutos tropicais; Ver. **Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 33, n. 3, p. 888-897, setembro 2011.

ZANELLA, K. **Extração de pectina da casca da laranja-pera (*Citrus Sinensis* L. Osbeck) com solução diluída de ácido clorídrico**. Tese (Mestrado em Engenharia em Química) - Faculdade de Engenharia em Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.