



AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE PLÁSTICOS BIODEGRADÁVEIS DE PECTINA

Pâmela B. da Silva¹ e Francys K V. Moreira^{1,*}

1 – Grupo de Embalagens Multifuncionais (GEF^m), Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Rodovia Washington Luís, km 235, São Carlos, CEP 13565-905, SP.

*francys@ufscar.com.br

RESUMO

O presente trabalho foi dedicado à uma comparação holística da pegada ambiental de filmes plásticos biodegradáveis de pectina utilizando a avaliação do ciclo de vida (ACV). O inventário do ciclo de vida (ICV) da pectina foi construído para o cenário brasileiro assumindo o processo tradicional de extração do biopolímero a partir da casca de laranja em meio ácido com subsequente precipitação em etanol. As etapas de produção de filmes plastificados com glicerol por casting contínuo e por extrusão e o tratamento pós-consumo por compostagem foram modeladas considerando 1 tonelada de plástico como unidade funcional. A ACV foi realizada de acordo com as normas ISO 14040 e 14044 utilizando o banco de dados Ecoinvent v 3.3. Os indicadores global warming potential (GWP – kg CO₂ eq.), freshwater ecotoxicity (FWE – kg 1,4-DCB), terrestrial ecotoxicity (TE – kg 1,4-DCB), fossil resource scarcity (FRS – kg oil eq.), Human non-carcinogenic toxicity (HncT – kg 1,4-DCB), mineral resource scarcity (MRS – Kg Cu eq.) e water consumption (WC – m³) foram estimados de acordo com o modelo ambiental ReCiPe Midpoint (H). Os resultados da ACV indicaram que os maiores percentuais das pegadas ambientais (>85%) do ciclo de vida do plástico de pectina estão associados à produção do polissacarídeo. As principais fontes de impacto ambiental decorreram do consumo energético, seguido pelo consumo de etanol, glicerol e cultivo da laranja, sendo observada uma alternância nas contribuições destas duas últimas a depender do indicador avaliado. O casting contínuo apresentou pior desempenho ambiental na produção do plástico biodegradável de pectina do que a extrusão. A compostagem apresentou contribuição percentual mínima (0,5%) para todos os indicadores estimados. Os resultados deste trabalho permitirão estabelecer uma base comparativa entre as pegadas ambientais de plásticos biodegradáveis de pectina com plásticos não biodegradáveis de fonte petroquímica, além de permitir a avaliação do desempenho ambiental da pectina com outros polímeros de fonte renovável.

Palavras-chave: Embalagens biodegradáveis, eco-indicadores, ACV.

INTRODUÇÃO

A conscientização sobre o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de plásticos não biodegradáveis vem promovendo um crescente interesse no uso de polímeros naturais no setor de embalagens¹. Neste sentido, os polissacarídeos vêm sendo foco de inúmeras pesquisas, de forma a viabilizar a sua aplicação neste setor^{1,2}.

Filmes plásticos de pectina são em geral transparentes, homogêneos e apresentam propriedades mecânicas moderadas³. Além disso, estes materiais são atóxicos e podem ser facilmente degradados por micro-organismos. Estes aspectos são vantajosos em aplicações de curto prazo e podem, neste sentido, reduzir o impacto ambiental e a dependência sobre plásticos não biodegradáveis de origem fóssil, tais como o polietileno de baixa densidade (LDPE) e polipropileno (PP)^{3,4}.

A avaliação do ciclo de vida (ACV) tem sido utilizada no setor de embalagens para realizar a avaliação de materiais devido a substituição, alteração de estrutura e uso de diferentes matérias-primas⁵. É um método para avaliar os potenciais impactos ambientais associados a um produto, processo ou atividade por meio da identificação e quantificação dos fluxos de energia e materiais ao longo do seu ciclo de vida⁶. Um estudo de ACV pode abordar toda a cadeia de produção, desde a extração de matéria-prima, produção, consumo e descarte. Porém ainda são incipientes estudos baseados em ACV que comparam os potenciais impactos ambientais de plásticos biodegradáveis de pectina e de polissacarídeos no geral⁷. Uma das principais barreiras para realização desses estudos é a ausência de inventários que contabilizam os fluxos de materiais e energia ao longo do ciclo de vida dos polissacarídeos, de forma também que estudos de ACV sobre polissacarídeos são igualmente escassos. Apenas o amido e alguns derivados de celulose apresentam inventários de ciclo de vida (ICV) em bancos de dados de domínio público, situação oposta àquela observada para os plásticos sintéticos de fonte fóssil, cuja cadeias produtivas são amplamente detalhadas para estudos de ACV.

Assim sendo, este trabalho propôs o uso da ACV para realizar uma comparação holística das pegadas ambientais de plásticos biodegradáveis de pectina.

MATERIAIS E MÉTODOS

A elaboração dos processos de produção do plástico de pectina baseou-se no trabalho realizado por Nadar e colaboradores⁸, conforme ilustrado na Figura 1.

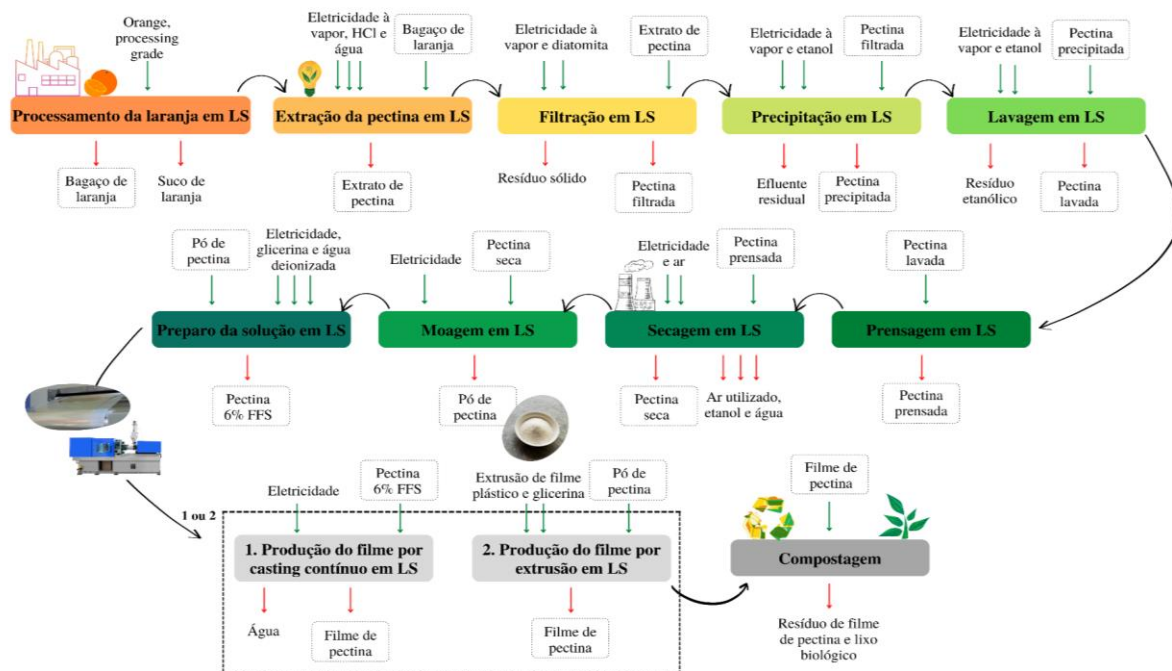


Figura 1: Representação esquemática das etapas do ciclo de vida do plástico de pectina, apresentando as entradas e saídas dos processos e as duas possíveis rotas de processamento do plástico: (1) por casting contínuo ou por (2) extrusão.

Considerou-se os mesmos insumos químicos necessários para a produção e adaptou-se algumas quantidades devido ao ajuste necessário para o uso do ácido escolhido (HCl) e devido à falta de informações claras. A fonte de energia escolhida desde o processamento da laranja até a lavagem da pectina foi a partir do vapor gerado pelas indústrias, devido ao menor impacto ambiental causado em comparação com a energia elétrica produzida a partir de usinas hidroelétricas. Foram consideradas duas rotas distintas de processamento do filme plástico: o casting contínuo e a extrusão.

O inventário do ciclo de vida (ICV) da pectina foi construído para o cenário brasileiro assumindo o processo tradicional de extração do biopolímero a partir da casca de laranja em meio ácido com subsequente precipitação em etanol. As etapas de produção de filmes plastificados com glicerol por casting contínuo e por extrusão e o tratamento pós-consumo por compostagem foram modeladas considerando 1 tonelada de plástico como unidade funcional. A ACV foi realizada de acordo com as normas ISO 14040⁶ utilizando a biblioteca Ecoinvent v 3.3. Os indicadores global warming potential (GWP – kg CO₂ eq.), freshwater ecotoxicity (FWE – kg 1,4-DCB), terrestrial ecotoxicity (TE – kg 1,4-DCB), fossil resource scarcity (FRS – kg oil eq.), Human non-carcinogenic toxicity (HT – kg 1,4-DCB), mineral resource scarcity (MRS – Kg Cu eq.) e water consumption (WC – m³) foram estimados de acordo com o modelo ambiental ReCiPe Midpoint (H).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O casting contínuo (CC) e o método de extrusão foram comparados no sentido de verificar qual método de produção acarreta maiores impactos ambientais para o ciclo de vida do plástico biodegradável de pectina. Os resultados são listados na Tabela 1.

Tabela 1: Comparação dos indicadores de impacto ambiental para a produção de 1 ton de plástico de pectina por casting contínuo (CC) vs. Extrusão

Indicador	CCS	Extrusão	Unidade
Fossil resource scarcity (FRS) x 10 ³	2,01	1,94	kg oil eq.
Freshwater ecotoxicity (FWE) x 10 ²	3,52	3,53	kg 1,4-DCB
Global warming potential (GWP) x 10 ⁴	1,50	1,41	kg CO ₂ eq.
Human non-carcinogenic toxicity (HT) x 10 ³	7,11	7,03	kg 1,4-DCB
Mineral resource scarcity (MRS) x 10 ²	1,25	1,24	kg Cu eq.
Terrestrial ecotoxicity (TE) x 10 ⁴	2,76	2,68	kg 1,4-DCB
Water consumption (WC) x 10 ³	1,21	0,99	m ³

Fonte: própria autora.

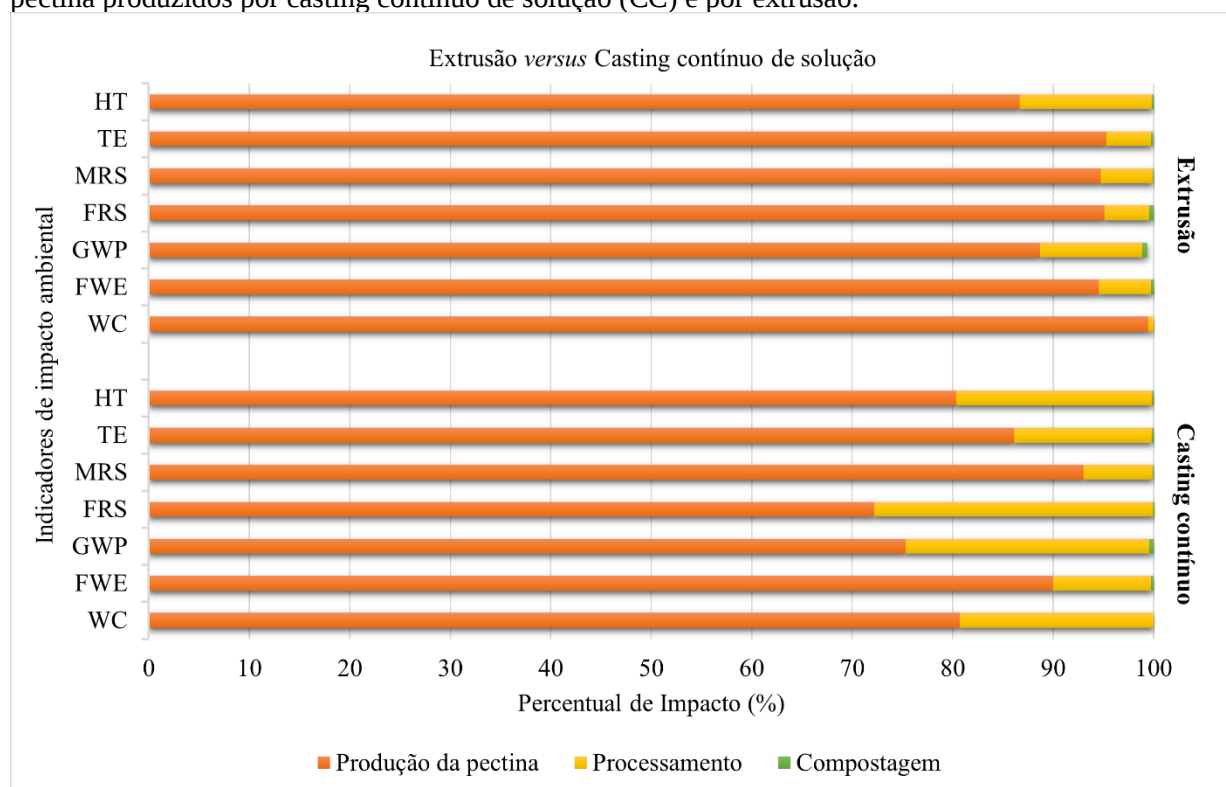
Verifica-se que o ciclo de vida do plástico de pectina produzido por CC apresentou indicadores mais elevados para as categorias GWP e TE, enquanto um desempenho ambiental similar entre o CC e a extrusão é sugerido para a categoria FWE. Em relação ao indicador HT, o ciclo de vida do plástico de pectina apresentou maior impacto quando produzido por CC do que por extrusão. Uma tendência similar é observada para os indicadores FRS, MRS e WC, para os quais os impactos ambientais do ciclo de vida do plástico de pectina produzido por CC

foram maiores em relação ao cenário que considerou a extrusão como método de produção do plástico.

De forma geral, tem-se que produzir plásticos biodegradáveis de pectina por CCS implica em impactos ambientais mais negativos em comparação à extrusão. Tal resultado pode estar associado ao consumo energético de cada processo. No CCS, o plástico é produzido a partir de formulações aquosas, de forma que a água, que apresenta elevado ponto de ebulição, precisa ser evaporada completamente⁹. Já na extrusão, a pectina é processada sob a forma de pó seco, e boa parte do calor necessário para o processo advém do atrito viscoso induzido pelo alto cisalhamento ao qual a formulação é submetida no interior da extrusora³.

A contribuição percentual de cada etapa (produção da pectina → processamento → compostagem aeróbia) do ciclo de vida do plástico de pectina para os resultados de impacto ambiental é ilustrada na Figura 2.

Figura 2: Contribuição percentual das etapas Produção de pectina → Processamento → Compostagem para os indicadores de impacto ambiental associados à produção de 1 ton de plástico biodegradável de pectina produzidos por casting contínuo de solução (CC) e por extrusão.



*Fossil resource scarcity (FRS), Freshwater ecotoxicity (FWE), Global warming (GWP), Human non-carcinogenic toxicity (HT), Mineral resource scarcity (MRS), Terrestrial ecotoxicity (TE), Water consumption (WC). Fonte: própria autora.

É possível notar que, independentemente do tipo de processamento, a etapa de produção da pectina é a principal fonte de impacto ambiental. Tal etapa tem uma contribuição percentual acima de 70% para todos os indicadores. A segunda maior fonte de impacto ambiental no CV do plástico de pectina é a etapa de processamento, e a Figura 2 indica que a contribuição percentual desta etapa aumenta para o CCS em relação à extrusão, o que está relacionado ao maior consumo energético do CCS, como já explicado.

Os resultados indicam que os maiores percentuais das pegadas ambientais (>85%) do ciclo de vida do plástico de pectina estão associados à produção do polissacarídeo. As principais fontes de impacto ambiental decorreram do consumo energético, seguido pelo consumo de

etanol, glicerol e cultivo da laranja, sendo observada uma alternância nas contribuições destas duas últimas a depender do indicador avaliado. Finalmente, a etapa de compostagem aeróbia teve baixa contribuição percentual para todas as categorias de impacto analisadas.

CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitirão estabelecer uma base comparativa entre as pegadas ambientais de plásticos biodegradáveis de pectina com plásticos não biodegradáveis de fonte petroquímica, além de permitir a avaliação do desempenho ambiental da pectina com outros polímeros de fonte renovável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao DEMa/UFSCar, FAPESP e Embrapa Instrumentação pelo suporte financeiro e de infraestrutura. P. B da Silva agradece ao PIBIC/CNPq/UFSCar pela bolsa de iniciação científica (Processo nº 149703/2021-0).

REFERÊNCIAS

1. MOREIRA, F. K. V.; PEDRO, D. C. A.; GLENN, G. M.; MARCONCINI, J. M., MATTOSO, L. H. C. Brucite nanoplates reinforced starch bionanocomposites. *Carbohydr. Polym.*, v. 92, p. 1743–1751, 2013.
2. ALCÂNTARA, A. C. S.; DARDER, M.; ARANDA, P.; AYRAL, A.; RUIZ-HITZKY, E. Bionanocomposites based on polysaccharides and fibrous clays for packaging applications. *J. Appl. Polym. Sci.*, v. 133, n. 2, 2016.
3. FISHMAN, M. L.; COFFIN, D. R.; KONSTANCE, R. P.; ONWULATA, C. I., Extrusion of Pectin/Starch Blends Plasticized with glycerol, *Carbohydr. Polym.*, 41, 317-325, 2000.
4. THARANATHAN, R., Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends Food Sci. Technol.*, 14(3): p. 71-78., 2003.
5. PONGRÁCZ, E. The environmental impacts of packaging. In: KUTZ MYER. *Environmentally Conscious Materials and Chemicals Processing*. Primeira edição. Estados unidos: John Wiley & Sons, Inc, cap. 9, p. 239, 2007.
6. ISO, Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework. ISO 14040:2006(E). 2006.
7. NESSI S., SINKKO T., BULGHERONI C., GARCIA-GUTIERREZ P., GIUTOLLI J., KONTI A., SANYE-MENGUAL E., TONINI D., PANT R., MARELLI L., Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Alternative Feedstock for Plastic Production, JRC Technical Reports, European Commission, 2020.
8. NADAR C. G.; ARORA A.; SHASTRI Y. Sustainability Challenges and Opportunities in Pectin Extraction from Fruit Waste. *ACS Engineering*. 2021.
9. LEITE, L. S. F.; FERREIRA, C. M.; CORRÊA, A. C.; MOREIRA, F. K. V.; MATTOSO, L. H. C. Scaled-up Production of Gelatin-Cellulose Nanocrystal Bionanocomposite Films by Continuous Casting. *Carbohydr. Polym.*, 238, 2020.

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PECTIN-BASED BIODEGRADABLE PLASTICS

ABSTRACT

This study was dedicated to a holistic comparison of the environmental footprints of biodegradable plastics made up of pectin using life cycle assessment (LCA). The life cycle inventory (LCI) of pectin was built for the Brazilian scenario, assuming the traditional biopolymer extraction process from orange peel in acidic medium with subsequent precipitation in ethanol. The production stages of glycerol-plasticized pectin films by continuous casting and extrusion and the post-consumer treatment by aerobic composting were modeled considering 1 ton of plastic as a functional unit. The LCA was performed according to ISO 14040 and 14044 using the Ecoinvent v 3.3 database. The indicators global warming potential (GWP – kg CO₂ eq.), freshwater ecotoxicity (FWE – kg 1,4-DCB), terrestrial ecotoxicity (TE – kg 1,4-DCB), fossil resource scarcity (FRS – kg oil eq.), Human non-carcinogenic toxicity (HncT – kg 1,4-DCB), mineral resource scarcity (MRS – Kg Cu eq.), and water consumption (WC – m³) were estimated according to the environmental model ReCiPe Midpoint (H). The LCA results indicated that the highest percentages of the environmental footprints (>85%) of the pectin plastic life cycle are associated with the polysaccharide production step. The main sources of environmental impact resulted from energy consumption, followed by consumption of ethanol, glycerol, and orange cultivation, with an alternation in the contributions of the latter two depending on the evaluated indicator. Continuous casting showed worse environmental performance in the production of biodegradable pectin plastic than extrusion. Composting presented a minimum percentage contribution (0.5%) for all estimated indicators. The results of this work will enable future comparison between the environmental footprints of biodegradable pectin plastics and those of non-biodegradable plastics from petrochemical sources, in addition to allowing the evaluation of the environmental performance of pectin with other biobased polymers.

Keywords: Biodegradable packaging, eco-indicators, LCA.