



AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO CICLO DE VIDA DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS LAMINADAS DE PAPEL BASEADAS EM AMIDO E POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE

Matheus L. Pavão¹, Fábio R. Passador², Juliano Marini¹, 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.

²Laboratório de Tecnologia de Polímeros e Biopolímeros, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São José dos Campos (SP), Brasil.

*francys@ufscar.com.br

RESUMO

O presente trabalho buscou comparar a pegada ambiental de embalagens flexíveis laminadas biodegradáveis (EFLB) baseadas em papel revestidas com amido e polietileno de baixa densidade (LDPE) utilizando a avaliação do ciclo de vida (ACV). O modelo de EFLB considerou papel kraft com gramatura $< 120 \text{ g/m}^2$ contendo 5% em massa de revestimento (amido ou LDPE). Simulações por ACV com o limite do “berço ao túmulo” foram realizadas considerando fontes distintas de amido (milho, mandioca e batata) e 25% em massa do plastificante glicerol, sendo os respectivos laminados destinados à compostagem, enquanto o aterro sanitário foi assumido como tratamento pós-consumo para o laminado contendo LDPE. As ACV foram realizadas utilizando o banco de dados *Product Environmental Footprint* (PEF) e os indicadores de impacto ambiental mudanças climáticas (MC – Kg CO₂ eq), toxicidade não carcinogênica em humanos (TncH – CTUH) e consumo de recursos minerais e metais (CRMM – kg) foram calculados utilizando o modelo ambiental *Environmental Footprint – midpoint indicators*. Os resultados da ACV indicaram que a substituição do LDPE por amido reduz em 50% o indicador MC do laminado de papel, sem alterações significativas no indicador CRMM. Já para o indicador TncH, o impacto mais negativo foi encontrado para o laminado contendo amido de batata (47% maior em relação ao LDPE), sendo este o tipo de amido de pior desempenho ambiental considerando os três indicadores avaliados. Quanto ao tratamento pós-consumo, os dados revelaram que a compostagem causa menor impacto ambiental que o aterro sanitário, devido, principalmente, à menor geração de CH₄ associada ao processo. As EFLB de papel e amido representam uma solução ambientalmente mais saudável para o setor de embalagens que laminados similares contendo LDPE. A mandioca é a fonte botânica de amido que leva à produção de EFLB a base de papel com melhor desempenho ambiental.

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

INTRODUÇÃO

O impacto ambiental das embalagens multicamadas pós-consumo tem impulsionado pesquisas para desenvolvimento de novos materiais baseados em papéis laminados¹. Todavia, papéis apresentam baixas propriedades de barreira, de forma que são usualmente laminados

com plásticos hidrofóbicos não biodegradáveis como o polietileno de baixa densidade (LDPE). Uma alternativa para tais plásticos em embalagens de papel são as camadas de polímeros naturais como o amido².

Atualmente, existe um grande interesse no desenvolvimento de embalagens a base de amido pois é abundante, atóxico, de baixo custo e sofre rápida biodegradação. A substituição do revestimento de LDPE por amido é então desejável para diminuir, possivelmente, os impactos ambientais pós-consumo das embalagens laminadas de papel³.

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 vida⁴. Porém ainda são incipientes estudos baseados em ACV que comparam os potenciais impactos ambientais de papéis laminados com plásticos não biodegradáveis e com polissacarídeos⁵.

O objetivo do presente trabalho foi comparar os potenciais impactos ambientais de embalagens laminadas baseadas em papel revestidas com amido e LDPE utilizando a ACV. Foram considerados modelos de embalagens flexíveis laminadas biodegradáveis (EFLB) a base de papel kraft contendo amido de fontes distintas (milho, mandioca e batata), as quais foram comparadas com laminados flexíveis de papel contendo LDPE.

MATERIAIS E MÉTODOS

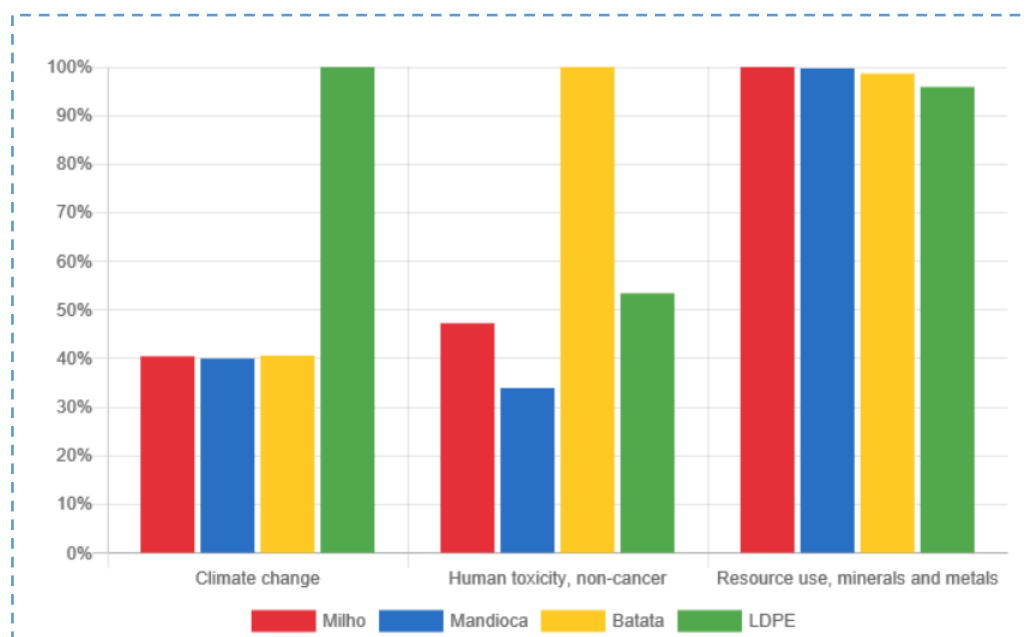
As simulações por ACV foram realizadas utilizando limite de estudo do tipo “berço ao túmulo” e unidade funcional de 1 tonelada de embalagem para cada ciclo de vida modelados. O modelo de embalagem considerou papel kraft com gramatura $< 120 \text{ g/m}^2$ contendo 5% em massa de revestimento (amido ou LDPE). Foram consideradas fontes distintas de amido (milho, mandioca e batata) e 25% em massa do plastificante glicerol, sendo os respectivos laminados destinados à compostagem, enquanto o aterro sanitário foi assumido como tratamento pós-consumo para o laminado contendo LDPE. As ACV foram realizadas utilizando o banco de dados *Product Environmental Footprint (PEF)* e os indicadores de impacto ambiental mudanças climáticas (MC – $\text{Kg CO}_2 \text{ eq}$), toxicidade não carcinogênica em humanos (TncH – CTUH) e consumo de recursos minerais e metais (CRMM – kg) foram calculados utilizando o modelo ambiental *Environmental Footprint – midpoint indicators*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação percentual dos potenciais impactos ambientais entre os EFLB baseados em papel e amido (milho, mandioca e batata) e a papel laminado com LDPE é ilustrada na Figura 2 para as 3 categorias de impacto avaliadas (mudanças climáticas, MC – $\text{Kg CO}_2 \text{ eq}$, toxicidade não carcinogênica em humanos, TncH – CTUH, e consumo de recursos minerais e metais, CRMM – kg).

É observado na Figura 2 que a substituição do LDPE por amido reduz em 50% o indicador MC do laminado de papel, sem alterações significativas no indicador CRMM. Já para o indicador TncH, o impacto mais negativo foi encontrado para o laminado contendo amido de batata (47% maior em relação ao LDPE), sendo este o tipo de amido de pior desempenho ambiental considerando os três indicadores avaliados.

Figura 1: Comparação percentual dos potenciais impactos ambientais entre os EFLB baseados em papel e amido (milho, mandioca e batata) e a papel laminado com LDPE.



*Climate change: mudanças climáticas (MC – Kg CO₂ eq); Human toxicity non-cancer: toxicidade não carcinogênica em humanos (TncH – CTUH); Resource use, minerals and metals: consumo de recursos minerais e metais (CRMM – kg). Fonte: próprio autor.

Quanto ao tratamento pós-consumo, os dados revelaram que a compostagem causa menor impacto ambiental que o aterro sanitário. Isto se deve ao fato de que o aterro sanitário envolve degradação anaeróbia (ausência de O₂), sendo um dos produtos o CH₄ que tem maior potencial de contribuição para o aquecimento global.

CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitirão estabelecer uma base comparativa entre as pegadas ambientais de embalagens laminadas de papel contendo amido e plásticos não biodegradáveis de fonte petroquímica. As embalagens de papel e amido representam uma solução ambientalmente mais saudável para o setor de embalagens que laminados similares contendo LDPE. A mandioca é a fonte botânica de amido que leva à produção de embalagens flexíveis laminadas biodegradáveis a base de papel com melhor desempenho ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao DEMa/UFSCar, FAPESP e Embrapa Instrumentação pelo suporte financeiro e de infraestrutura. Este trabalho é uma contribuição científica do projeto Universal CNPq/FNDCT (Processo nº 407288/2021-0).

REFERÊNCIAS

1. BANDERA, D.; MEYER, V.R.; PREVOST, D.; ZIMMERMANN, T.; BOESEL, L.F. Polylactide/Montmorillonite Hybrid Latex as a Barrier Coating for Paper Applications. *Polym.*, 8, 75, 2016.

2. LI, H.; QI, Y.; ZHAO, Y., CHI, J., CHENG, S. Starch and its derivatives for paper coatings: A review, *Prog. Org. Coat.*, 135, 213-227, 2019.
3. CLEVELAND, C.S., INVENTOR, REIGHARD, T.S., INVENTOR; MARCHMAN, J.I., INVENTOR. Biodegradable paper-based laminate with oxygen and moisture barrier properties and method for making biodegradable paper-based laminate. United States patent US 2007/0184220 A1. 2007.
4. ISO, Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework. ISO 14040:2006(E). 2006.
5. 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.

COMPARATIVE LIFE CYCLE ASSESSMENT OF LAMINATED FLEXIBLE PACKAGING BASED ON STARCH AND LOW-DENSITY POLYETHYLENE

ABSTRACT

The present work was aimed at comparing the environmental footprint of paper-based biodegradable laminated flexible packaging (BLFP) coated with starch and low-density polyethylene (LDPE) using life cycle assessment (LCA). The BLFP model considered kraft paper with a grammage < 120 g/m² containing 5% by mass of coating (starch or LDPE). Cradle-to-grave LCA simulations were performed considering different sources of starch (corn, cassava, and potato) and 25% by mass of the plasticizer glycerol, with the respective paper-based laminates treated for aerobic composting, while the sanitary landfill was assumed as the post-consumer treatment for the laminate containing LDPE. The LCA were performed using the Product Environmental Footprint (PEF) database and the environmental impact indicators climate change (MC – Kg CO₂ eq), Human toxicity non-cancer (TncH – CTUH) and Resource use, minerals and metals (CRMM – kg) were calculated using the Environmental Footprint – midpoint indicators method. The LCA results indicated that replacing LDPE with starch reduces the MC indicator of the laminated paper by 50%, without significant changes in the CRMM indicator. For the TncH indicator, the most negative impact was found for the laminate containing potato starch (47% higher in relation to LDPE), which is the type of starch with the worst environmental performance considering the three indicators evaluated. Regarding the post-consumption treatment, the data revealed that aerobic composting causes less environmental impact than sanitary landfill, mainly due to the lower generation of CH₄ associated with the former. Paper-based BFLP containing starch represent a more environmentally sound solution for the packaging industry than similar laminates containing LDPE. Cassava is the botanical source of starch that leads to the production of paper-based EFLB with better environmental performance.

Keywords: *Biodegradable packaging, eco-indicators, LCA.*