



## MODELAGEM DO CICLO DE VIDA E ESTIMATIVA DE ECO-INDICADORES DE DISCOS DE VINIL: UM ESTUDO DE CASO

Guilherme C. D. Corte<sup>1</sup>, Juliano Marini<sup>1</sup>, Francys K. V. Moreira<sup>1\*</sup>

*1 – Grupo de Embalagens Multifuncionais (GEF<sup>m</sup>), 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

Neste trabalho, foram simulados os potenciais impactos ambientais de produtos de PVC, utilizando o ciclo de vida de discos de vinil (LPs) como estudo de caso. Foram realizadas duas simulações distintas de fim de vida útil dos LPs envolvendo aterro sanitário e incineração, buscando descrever os indicadores de impacto ambiental para diferentes tratamentos pós-consumos. Assim, a ACV dos LPs foi realizada sobre uma formulação de PVC padrão registrada em patente utilizando o método ReCiPe 2016 Midpoint (E) para avaliação dos potenciais impactos ambientais nas etapas de produção da resina de PVC, galvanoplastia e termoprensagem dos discos, embalagem e descarte. Foram estudadas três categorias de impacto: aquecimento global, toxicidade em humanos e escassez de recursos fósseis, sendo a unidade funcional considerada 1000 LPs. Na formulação da resina de PVC, os maiores gargalos ambientais foram identificados como sendo a presença de estanho como estabilizante primário e óleo de soja como estabilizante secundário. A etapa de galvanoplastia e termoprensagem impactou aproximadamente duas vezes mais o ambiente em relação à etapa de formulação da resina de PVC, exceto em termos de consumo de recursos fósseis, onde as duas etapas apresentam impactos similares. A embalagem de papel cartão é o processo que possui o maior impacto referente a todas as categorias analisadas, seguido da produção do cloreto de vinila, o processo de extrusão e termoformagem polimérico e a produção do filme de PE utilizado na embalagem. Para a unidade funcional estudada de 1000 discos, o aterro sanitário impacta menos do que o método de incineração, exceto quando avaliado para a categoria de impacto toxicidade humana. Concluiu-se que o fim de vida por aterro é sutilmente preferível ao fim de vida por incineração, notando que o estudo da síntese da resina de PVC, da manufatura dos LPs e seu descarte final ainda precisa abranger diversas considerações, não havendo solução definitiva para os possíveis problemas gerados pelo descarte dos discos de vinil.

**Palavras-chave:** ACV, formulações, modelagem computacional.

### INTRODUÇÃO

O disco de vinil é um dos mais interessantes meios de gravação de som analógicos, tendo retomado status na comercialização física da música a partir dos últimos quinze anos com o aparecimento de um novo público consumidor. Em meio à era digital de consumo musical via streaming, o retorno do LP desafia os hábitos de consumo e padrões de escuta contemporâneos, destacando-se a significação cultural do LP como um símbolo alinhado a

movimentos contraculturais e paradoxalmente como um produto danoso ao meio ambiente, além das questões da invisibilidade dos impactos ambientais causados pelo consumo digital de música<sup>1,2</sup>

A avaliação de ciclo de vida (ACV)<sup>3</sup> de produtos baseados em PVC é tópico raro em publicações científicas, havendo pouca informação na área sobre mercados minoritários do PVC e enormes lacunas de conhecimento para bens com longa vida útil<sup>4</sup>. Não foram encontradas publicações sobre ACV de discos de vinil, o que motiva para, neste trabalho, aplicar a metodologia de ACV para estimar os possíveis impactos ambientais do ciclo de vida da produção da resina de PVC até o descarte final do produto.

Foram avaliadas duas simulações distintas de descarte em aterro ou descarte para incineração, obtendo uma comparação efetiva do impacto ambiental dos diferentes quadros hipotéticos nas situações de aterragem e incineração dos LPs. Os potenciais impactos ambientais foram determinados para as categorias de mudanças climáticas, esgotamento de recursos naturais e saúde humana, visando realizar uma avaliação holística dos efeitos do ciclo de vida dos discos de vinil sobre meio ambiente, recursos naturais e saúde humana.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A ACV tem como objetivo analisar os potenciais impactos ambientais de LPs em PVC e suas embalagens em papel e PE para comparação com simulações distintas de fim de vida em aterro sanitário e por incineração. A escolha do sistema de discos de vinil foi baseada no padrão recente da indústria para LPs contendo disco de PVC em cor preta (peso médio de 150 gramas, diâmetro de 12 polegadas, som estéreo, velocidade de reprodução em 33 1/3 rpm). Dada a variabilidade técnica da embalagem, foi adotado capa de papel cartão de 125 gramas e embalagem externa com filme de PE de 10 gramas. O PVC foi escolhido como material base por ser o padrão unânime da indústria fonográfica, sendo negligenciável a participação de outros materiais poliméricos na fabricação de LPs comerciais. Foi adotada uma composição de referência para a formulação de PVC<sup>5</sup>.

As bases de dados utilizadas para a ACV em questão foram a Ecoinvent 3.7 e a IDEMAT. Todos os sistemas foram descritos de acordo com os processos individuais, contendo as entradas e saídas quantificadas para cada material. A unidade funcional considerada para os produtos foi de 150 kg de LP ou 1000 LPs (uma batelada). Para a etapa de avaliação dos potenciais impactos ambientais foi utilizado o método ReCiPe 2016 Midpoint (E), e os indicadores selecionados foram: Aquecimento global (*Global Warming* ou GW); Escassez de recursos fósseis (*Fossil Resource Scarcity* ou FRS); Toxicidade em humanos (*Human Carcinogenic Toxicity* ou HCT e *Human Non-Carcinogenic Toxicity* ou HNCT).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da avaliação de impacto ambiental dos ciclos de vida dos LPs para cada categoria escolhida e para cada fim de vida avaliado (aterro e incineração), proporcionais a 1000 unidades de discos de vinil produzidos.

Na formulação da resina de PVC (R), os maiores gargalos ambientais foram identificados como sendo a presença de estanho como estabilizante primário e óleo de soja como estabilizante secundário. A etapa de galvanoplastia e termo-prensagem (GT) impactou aproximadamente duas vezes mais o ambiente em relação à etapa de formulação da resina de PVC, exceto em termos de consumo de recursos fósseis, onde as duas etapas apresentam impactos similares. A embalagem de papel cartão é o processo que possui o maior impacto referente a todas as categorias analisadas, seguido da produção do cloreto de vinila, o processo de extrusão e termoformagem polimérico e a produção do filme de PE utilizado na embalagem.

Tabela 1: Indicadores de impacto cumulativos para cada etapa dos ciclos de vida dos LPs

Fim de vida	Indicador	R	GT	Fim de ciclo	Unidade
Aterro	GW	274,52	803,71	843,43	kg CO <sub>2</sub> eq
	HT	67621,40	214392,58	261350,81	kg 1,4-DCB
	FRS	158,48	325,84	327,75	kg oil eq
Incineração	GW	274,52	803,71	1139,52	kg CO <sub>2</sub> eq
	HT	67621,40	214392,58	246185,91	kg 1,4-DCB
	FRS	158,48	325,84	335,25	kg oil eq

\*R = Produção da resina de PVC; GT = Galvanoplastia (processamento do LP).

O fim de vida por aterro possui menores indicadores em relação ao fim de vida por incineração nas categorias GW (aproximadamente 26% menor) e FRS (aproximadamente 2% menor), porém apresenta maior toxicidade humana geral HT (aproximadamente 6% maior) quando comparada no método ReCiPe 2016 Midpoint E, pois, aparentemente o aterro, ao longo do tempo, emite maior concentração de substâncias tóxicas não-cancerígenas ( $2,57 * 10^5$  g 1,4-DCB versus  $2,41 * 10^5$  kg 1,4-DCB). Analisando tão somente as etapas de aterro e incineração, já que seus ciclos de vida possuem em comum as etapas de produção da resina de PVC (R) e galvanoplastia seguida de termoprensagem (GT), os indicadores de impactos ambientais nas categorias GW, HT e FRS tornam-se, para o fim de vida em aterro, 9x menores, 50% maiores e 5x menores respectivamente em relação aos indicadores diferenciais para o fim de vida em incineração.

## CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitirão estabelecer uma base comparativa entre a pegada ambiental de discos de vinil a base de PVC considerando as diferentes etapas do ciclo de vida. O estudo da síntese da resina de PVC, da manufatura dos LPs e seu descarte final ainda precisa abranger diversas considerações, não havendo solução definitiva para os possíveis problemas gerados pelo descarte dos discos de vinil.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao DEMa/UFSCar e FAPESP pelo suporte financeiro e de infraestrutura.

## REFERÊNCIAS

1. MCLEAN, J. Tough Vinyl: Packing in Our Record Collections. 2015. 121f. Major Paper (Mestrado em Estudos Ambientais) – York University, Toronto, 2018.
2. SCHAUMAN, S., HEINONEN, K., HOLMLUND, M. Crafting customer insight: What we can learn from the revival of the vinyl record. *Business Horizons*, Bloomington, v. 64, n. 2, p. 261-271, 2021.
3. ISO, Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework. ISO 14040:2006(E). 2006.
4. BAITZ, M., KREIßIG, J., BYRNE, E., MAKISHI, C., KUPFER, T., FREES, N., BEY, N., HANSEN, M. S., HANSEN, A., BOSCH, T., BORGHI, V., WATSON, J., MIRANDA, M. Final

Report - Life Cycle Assessment (LCA) of PVC and of principal competing materials. Commissioned by European Commission, 325 p. 2004.

5. KHANNA, S. K. Disc record and method of compounding disc record composition. Depositante: RCA Corp. US3960790A. 1973.

## **LIFE CYCLE MODELING AND ESTIMATING ECO-INDICATORS OF VINYL RECORDS: A CASE STUDY**

### **ABSTRACT**

*In this study, the potential environmental impacts of PVC products were simulated using the life cycle of vinyl records (LPs) as a case study. Two different end-of-life simulations of LPs involving sanitary landfill and incineration were carried out, seeking to describe the environmental impact indicators for different post-consumption treatments. LCA of the LPs was performed on a standard PVC formulation using the ReCiPe 2016 Midpoint (E) method to evaluate the potential environmental impacts in the PVC resin production stage, electroplating and thermopressing of the discs, packaging, and disposal. Three categories of impact were studied: global warming, toxicity in humans and scarcity of fossil resources, being the functional unit considered 1000 LPs. In the PVC resin formulation, the leading environmental bottlenecks were identified as the presence of tin as a primary stabilizer and soybean oil as a secondary stabilizer. The electroplating and thermopressing steps had a negative impact superior to the PVC resin formulation step, except in terms of fossil resource consumption, for which the two steps had similar impacts. Cardboard packaging is the process that has the greatest impact regarding all the analyzed categories, followed by the production of vinyl chloride resin, polymeric extrusion, and thermoforming process. Landfill has less impact than the incineration method, except when evaluated for the human toxicity impact category. As a conclusion, the study of PVC resin synthesis, the manufacture of LPs and their final disposal still needs to cover several considerations, with no definitive solution for the potential environmental issues generated by the disposal of vinyl records.*

**Keywords:** LCA, formulations, computational modeling.