ISSN: 2175-1897

Formação e gestão inovadoras na era da transformação digital: abrangência, significados e relações.

Análise bibliométrica sobre ecotoxicidade dos resíduos resultantes da degradação dos polímeros PLA e PHBH no solo

Giselen Cristina Pascotto Wittmann [1], Maira de Lourdes Rezende Komatsu [2], Silvia Pierre Irazusta[3]

Resumo: Este artigo tem como objetivo investigar a produção de artigos científicos sobre estudos da ecotoxicidade no solo dos resíduos resultantes da degradação dos polímeros PLA e PHBH, utilizando dados bibliográficos indexados nas bases de dados: ProQuest, SCOPUS e *Web of Science*, no período de 2012 a 2017. Os resultados elaborados por meio de exploração bibliométrica mensuram a contribuição do conhecimento científico proveniente das publicações. Neste estudo foram encontrados 150 artigos e destes 11 foram selecionados por serem mais relevantes ao objeto da pesquisa.

Palavras-chave: Poli (ácido lático), Copolímero 3-Hidroxibutirato e 3-hidroxihexanoato, Ecotoxicidade, Análise bibliométrica.

Abstract: *This article aims to investigate the production of scientific articles on soil ecotoxicity studies of residues resulting from the degradation of PLA and PHBH polymers using bibliographic data indexed in the databases ProQuest, SCOPUS and Web of Science in the period of 2012 to 2017. The results elaborated by means of bibliometric exploration measure the contribution of the scientific knowledge coming from the publications. In this study, 150 articles were found and 11 were selected because they were more relevant to the research object.*

Keywords: *Poly (lactic acid), Copolymer 3-Hydroxybutyrate and 3-hydroxyhexanoate, Ecotoxicity, Bibliometric analysis.*

1. Introdução

O polímero poli (ácido lático) (PLA) e o copolímero de 3-hidroxibutirato e 3-hidroxihexanoato (PHBH) constituem uma opção para a redução dos impactos ambientais adversos dos resíduos gerados quando comparados a polímeros que não são biodegradáveis.

A ciência é um processo acumulativo e colaborativo de conhecimento, partindo desta premissa, a adoção de um método para coletar dados é essencial

[1] Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Inovação em Sistemas Produtivos, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - CEETEPS, e-mail: gcpgirrach@yahoo.com.br
[2] Faculdade de Tecnologia José Crespo Gonzales, Sorocaba, SP, e-mail: mairarezende@yahoo.com
[3] Faculdade de Tecnologia José Crespo Gonzales, Sorocaba, SP, e-mail: silvia.pierre@hotmail.com

para entender a evolução de determinado campo do conhecimento (CHUEKE; AMATUCCI, 2015).

A bibliometria é uma técnica quantitativa de coleta de dados proposta por Pritchard (1960). Sua finalidade é examinar a produção de artigos em determinada área de conhecimento para identificar por meio de análise estatística os padrões subjacentes a estas publicações. Depreende-se de um estudo bibliométrico visualizar com base em uma matriz de dados de natureza quantitativa, a evolução das publicações em determinada área do conhecimento.

O objetivo desse artigo é investigar a produção de artigos científicos sobre estudos da ecotoxicidade dos resíduos resultantes da degradação dos polímeros PLA e PHBH no solo, além de identificar os tipos de métodos utilizados em bioensaios que já foram realizados em estudos semelhantes.

2. Referencial Teórico

2.1 Ecotoxicidade

A ecotoxicologia expõe a relação entre os poluentes químicos, o ambiente em que são liberados e os organismos que ali vivem. Pesquisas e estudos mais detalhados dessas substâncias são de grande importância, a fim de desvendar os riscos potenciais que podem ter e para que possam ser minimizados e medidas saneadoras possam ser efetivadas, de modo a atenuar os possíveis impactos. Logo, a ecotoxicologia apresenta-se como uma ferramenta para analisar a exposição ambiental à substâncias e demonstrar se as mesmas podem ou não causar efeitos adversos e também possui extrema importância como adjuvante no controle, regulamentação e classificação das substâncias tóxicas no que diz respeito a seu potencial de risco ambiental (SILVA, et al. 2015).

Segundo Rudnik (2008), a ecotoxicidade de materiais poliméricos se refere ao potencial toxicológico dos resíduos, chorume e gases voláteis produzidos durante sua biodegradação no ambiente. O principal objetivo da avaliação ecotoxicológica de polímeros compostáveis é garantir que não sejam liberadas substâncias nocivas ao meio ambiente, durante e depois da degradação.

Estudo realizado por Souza et al. (2013) sobre avaliação da ecotoxicidade do composto após a degradação do polímero e seus nanocompósitos utilizando o bioensaio com o organismo de teste *Allium cepa* demonstrou a inibição da divisão celular e efeitos genotóxicos do composto resultante após a degradação de todos os materiais testados . Os resultados também indicaram que os efeitos citotóxico e genotóxico são possivelmente devidos a produtos de degradação de PLA. Concluiu-se que a realização de bioensaio permitiu a obtenção de informações preliminares sobre a ecotoxicidade do PLA, porém requer a continuidade dos estudos. Para tanto, os autores sugerem realizar o bioensaio após um teste respirométrico, a fim de verificar se estes efeitos tóxicos apareceriam ou não depois de atingir um grau máximo de mineralização por PLA em condições de compostagem.

2.2 PLA

O poli (ácido lático) (PLA) é um polímero sintético biodegradável, derivado de fontes renováveis (JIANG; ZHANG, 2011), que se destaca no mercado emergente de bioplásticos. O PLA é um poliéster termoplástico produzido a partir do ácido lático, sendo que os métodos mais utilizados para sua produção é polimerização por condensação direta do ácido lático e a polimerização a partir da abertura do anel do lactídeo (o dímero cíclico do ácido lático) catalisada por Sn (II), sendo esta última a que resulta em polímeros com maiores massas molares (AURAS et al., 2011).

Poli (ácido lático) ou poli (lactídeo) (PLA) é um exemplo de polímero de base biológica e biodegradável e é um polímero termoplástico, que apresenta propriedades mecânicas comparáveis ao poliestireno (PS) e politereftalato de etileno (PET). O PLA é utilizado em embalagens rígidas, copos de bebidas frias, garrafas, produtos moldados por injeção, revestimentos por extrusão, entre outros (AURAS et al., 2011).

Cosate de Andrade et al. (2016) realizaram um estudo de avaliação do ciclo de vida (ACV) comparando três formas de destinação final para o PLA: reciclagem mecânica, reciclagem química e compostagem. Neste estudo foram consideradas as categorias de impacto: mudanças climáticas, toxicidade humana e depleção fóssil. De acordo com os resultados, a reciclagem mecânica apresentou menor impacto ambiental, seguida da reciclagem química e da compostagem. A reciclagem mecânica gera menor impacto ambiental do que a química, porque neste processo gasta-se menos energia e insumos. Enquanto que, a compostagem por não reciclar o polímero, causa maior impacto ambiental entre as três formas de destinação.

2.3 PHBH

Os polihidroxialcanoatos (PHA) pertencem à família de poliésteres produzidos por fermentação bacteriana com potencial para substituir polímeros convencionais. Poli (3-hidroxibutirato-co-3-hidroxihexanoato) (PHBH) é um tipo de copolímero na família de plásticos PHA.Variando o conteúdo do monómero ácido 3-hidroxicapróico (3HH) afeta uma ampla gama de propriedades físicas e mecânicas do PHBH, como a temperatura de transição vítrea (Tg), ponto de fusão (Tm) e nível de cristalinidade. Aumentando o conteúdo de 3HH pode-se melhorar a tenacidade, flexibilidade e alongamento na ruptura do PHBH, mas diminuirá sua dureza (ZHANG et al., 2016).

2.4 Bibliometria

De acordo com Guedes; Borschiver (2005), análise bibliométrica é uma ferramenta quantitativa que visa minimizar a subjetividade inerente à indexação e recuperação de informações, produzindo conhecimento em uma determinada área.

Heberger et al. (2010), afirmam que se trata de uma metodologia que documenta os padrões de publicações dos autores, considerando as referências que citam em seus trabalhos e as em que são citados. Isso permite que se tenha

indicadores sobre a influência acadêmica em um determinado campo de conhecimento.

3. Método

Na elaboração desse artigo realizou-se uma análise bibliométrica e revisão da literatura. A pesquisa foi realizada a partir das palavras-chave: PHBH, PLA e *ecotoxicity*. As bases de dados utilizadas foram ProQuest, Scopus e Web of Science (WoS). Os resultados selecionados foram exportados para o *software Endnote™* para eliminação de duplicações e realização de análises para seleção dos artigos encontrados. Os parâmetros da busca booleana utilizados na pesquisa foram:

- Web of Science: TS=(PHBH) OR TS=(PLA) AND TS=(ECOTOXICITY)
- Scopus: PHBH OR PLA AND ECOTOXICITY
- ProQuest: "PHBH" OR "PLA" AND "ECOTOXICITY"

Destas bases foram obtidos 170 artigos, sendo que 65% deles se concentram na base Scopus, conforme apresentado na Tabela 1. Destes, vinte foram eliminados por estarem duplicados, obtendo-se 150 artigos para o universo da pesquisa e foram analisados os seguintes itens: evolução do número de artigos publicados nos últimos cinco anos, publicações por periódicos, principais autores e palavras-chave mais citadas.

Tabela 1 – Total de artigos

Base	Número de Artigos	Porcentagem (%)
Scopus	110	65
ProQuest	42	25
Web of Science	18	10
Total	170	100

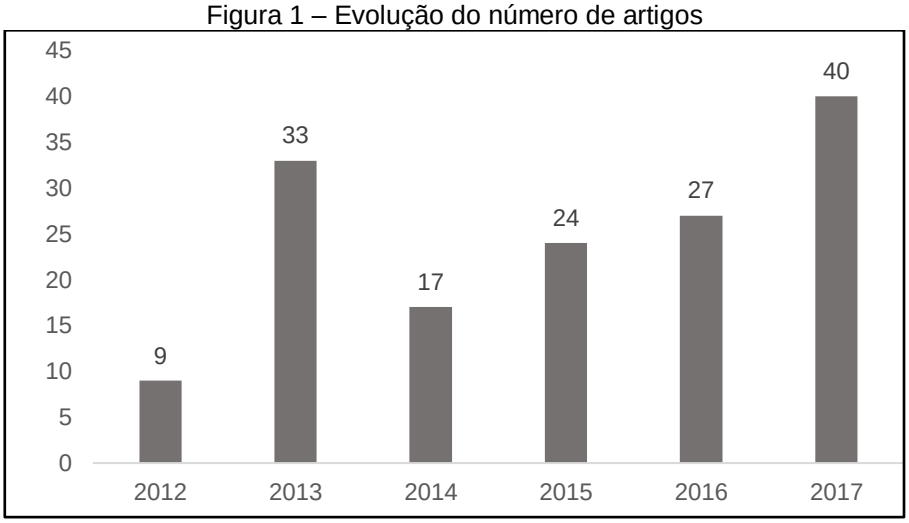
Fonte: As autoras.

Para a seleção dos artigos realizou-se nova busca na plataforma do *Endnote™* utilizando-se os termos PLA AND *Ecotoxicity*, obtendo-se dois artigos, sendo um relevante ao tema da pesquisa; PHBH AND *Ecotoxicity*, obtendo-se zero artigo; *Poly (lactic acid)*, obtendo-se dois artigos e PHBH, obtendo-se nove artigos, totalizando 11 artigos relevantes ao tema da pesquisa.

4. Resultados e Discussão

Os resultados da pesquisa bibliométrica apresentou uma evolução do número de artigos publicados nos últimos cinco anos, passando de nove em 2012 para 40 em 2017, conforme apresentado na Figura 1.

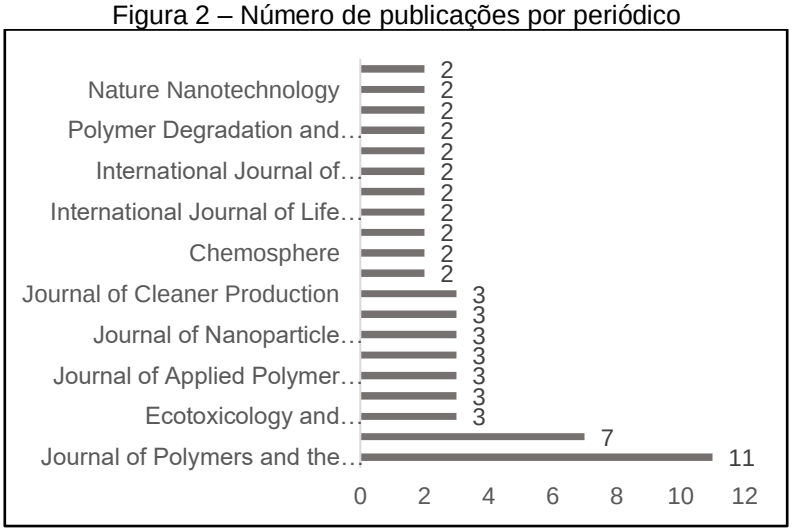
Figura 1 – Evolução do número de artigos



Fonte: As autoras.

Outro critério foi a classificação da quantidade de artigos publicados por periódico como mostrado na Figura 2. Este tipo de análise revela onde estão os núcleos de pesquisa com mais dedicação ao assunto. Sendo que o Journal of Polymer e o PLoS One apresentam respectivamente onze e sete artigos, enquanto que o número dos outros periódicos publicaram de um a três artigos. Conclui-se que os dois primeiros periódicos estão em destaque nesta área do conhecimento.

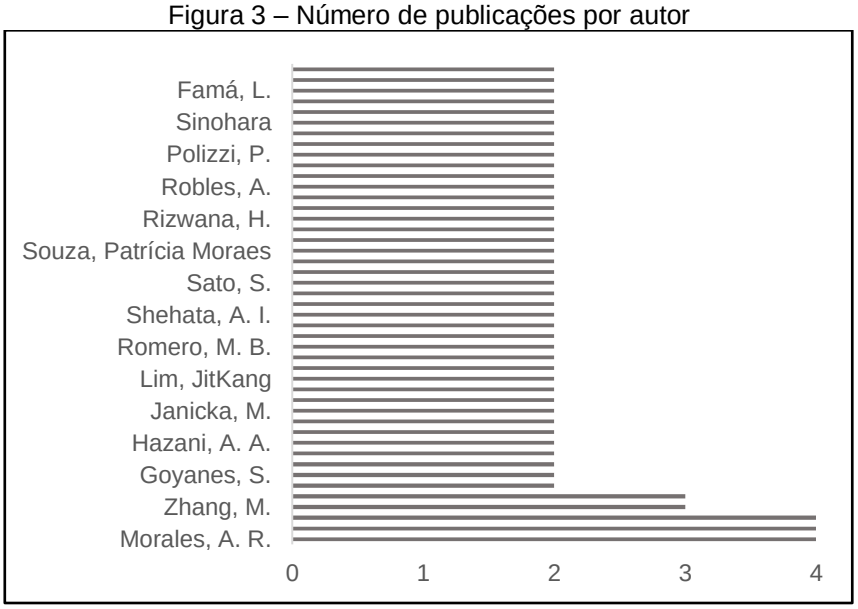
Figura 2 – Número de publicações por periódico



Fonte: As autoras.

Por meio da pesquisa bibliométrica também foi possível identificar quais autores tiveram o maior número de artigos publicados como mostra a Figura 3. Os autores Morales, A. R., Souza, P. M. S., Marin-Morales, M. A. publicaram quatro artigos cada, sendo os mais citados na área.

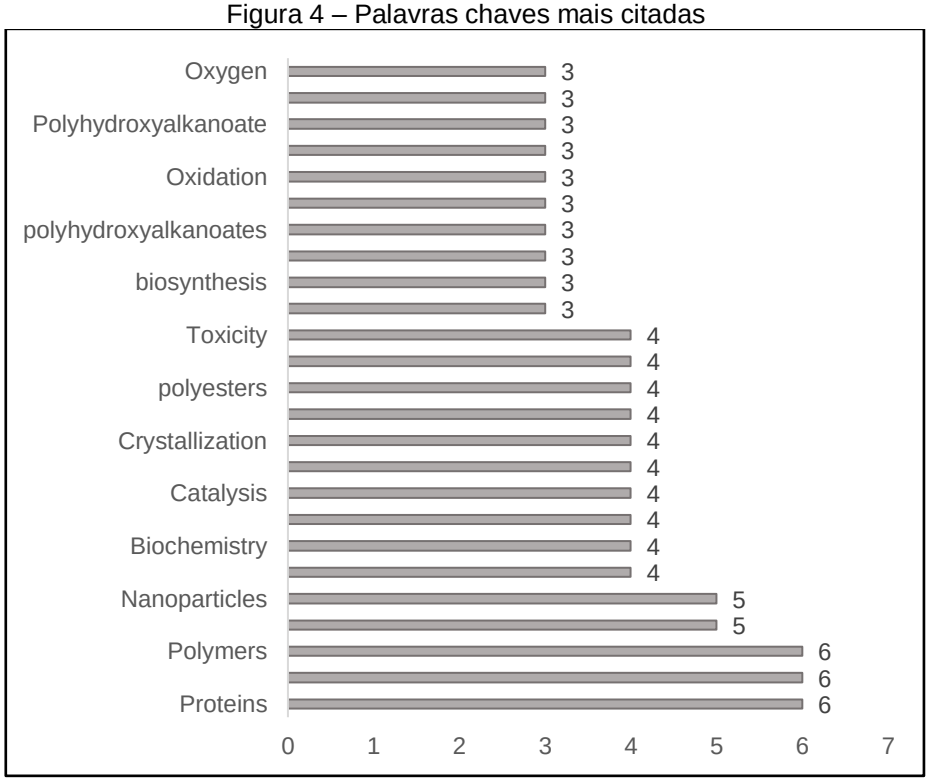
Figura 3 – Número de publicações por autor



Fonte: As autoras.

Por último, estão as palavras-chaves mais citadas em cada artigo como apresentado na Figura 4. Os resultam mostram que 18% das citações estão relacionados a Polímeros, Ciências dos Polímeros e Proteínas. Curiosamente a área de interesse da pesquisa que é sobre ecotoxicidade dos polímeros PLA e PHBH não está entre as principais menções, o que demonstra por um lado que existe uma oportunidade de pesquisa nesta área.

Figura 4 – Palavras chaves mais citadas



Fonte: As autoras.

5. Considerações finais

A análise bibliométrica se mostrou uma ferramenta eficaz para obtenção da produção de artigos científicos sobre estudos da ecotoxicidade no solo dos resíduos resultantes da degradação dos polímeros PLA e PHBH. Uma vez que este instrumento permite ao pesquisador ter uma visão geral da área de interesse permitindo inferir de forma segura uma série de premissas úteis ao trabalho de pesquisa. Uma delas é a própria originalidade do tema, uma vez que evita-se iniciar um trabalho com um objeto que já foi amplamente pesquisado, ou ao contrário, se não existe nada publicado a respeito deve haver um motivo para esta falta de interesse pelo tema.

A bibliometria também indica os caminhos a serem seguidos, uma vez que aponta para os principais autores e centros de pesquisa, bem como os assuntos e áreas de interesse onde a pesquisa é mais aplicada, permitindo inclusive relacionar com as tecnologias desenvolvidas. A bibliometria permite também visualizar a evolução do assunto dentro de uma perspectiva histórica podendo fazer paralelos com outros fenômenos de interesse, por exemplo, com mudanças nos paradigmas ambientais, sociais ou econômicos, revelando paralelos interessantes.

Resumindo, a bibliometria é uma ferramenta quantitativa útil em pesquisas exploratórias para identificar determinados padrões. Além de preparar os pesquisadores para seus projetos de pesquisa.

Referências bibliográficas

AURAS, R., LIM, L.T.; SELKE, S. E. M.; TSUJI, H. **Poly(lactic acid): synthesis, structures, properties, processing, and applications**. John Wiley & Sons, New Jersey, 2011.

CHUEKE, G. ; AMATUCCI, M. **O que é bibliometria?** Uma introdução ao Fórum. São Paulo, SP: FEA/USP, 2015. 5 p.

COSATE DE ANDRADE, M. F.; SOUZA, P. M. S.; CAVALETT, O.; MORALES, A. R. **Life cycle assessment of poly(lactic acid) (PLA)**: comparison between chemical recycling, mechanical recycling and composting. Journal of Polymers and the Environment 24(4): 372-384, 2016.

FERENHOF, H. A.; FERNANDES, R. F. **Passo-a-passo para construção da revisão sistemática e bibliometria**, v. 18, 2015.

HOSODA, N.; TSUJIMOTO, T.; UYAMA, H. **Green composite of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) reinforced with porous cellulose**. ACS Sustainable Shemistry & Engineering 2(2): 248-253, 2014.

JIANG, L.; ZHANG, J. **Biodegradable and biobased polymers**. In: Applied Plastics Engineering Handbook – Processing and Materials. Elsevier, Oxford, U.K., p. 145-158. 2011.

LEE, J. C.; KATO N.; SAKURAI, S.; YAMANE, H. **Mechanical properties and higher-order structures of biaxially drawn bacterial poly (r)-3-hydroxybutyrate-co-(r)-3-hydroxyhexanote films**. Macromolecular Research 20(1): 37-43, 2012.

MOREAU, P.; COLETTE-MAATOUK, S.; GAREIL, P.; REILLER, P. E. **Influence of hydroxybenzoic acids on the adsorption of Eu(III) onto alpha, gamma-Al_2O_3 particles in mildly acidic conditions**: a macroscopic and spectroscopic study. Applied Geochemistry 74: 13-23, 2016.

PALSIKOWSKI, P. A. et al. **Estudo do comportamento da biodegradação em solo de blendas compatibilizadas de PLA/PBAT e seus efeitos genotóxicos e mutagênicos**. 2015.

PAN, P.; SHAN, G.; BAO, Y.; WENG, Z. **Crystallization kinetics of bacterial poly(3-hydroxylbutyrate) copolyesters with cyanuric acid as a nucleating agent**. Journal of Applied Polymer Science 129(3): 1374-1382, 2013.

PRITCHARD, A. **Statistical bibliography or bibliometrics?** Journal of Documentation, [s.l.], v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969.

QIN, Q.; TAKARADA, W.; KIKUTANI, T. **Fiber structure development of phbh through stress-induced crystallization in high-speed melt spinning process**. Journal of Fiber Science and Technology 73(2): 49-60, 2017.

REUTERS, T. **Whitepaper using bibliometrics:** a guide to evaluating research performance with citation data, 2008.

RUDNIK, E. **Compostable Polymer Materials**. First edition. Elsevier Ltd., 211p. 2008.

SATO, S.; MARUYAMA, H.; FUJIKI, T.; MATSUMOTO, K. **Regulation of 3-hydroxyhexanoate composition in PHBH synthesized by recombinant Cupriavidus necator H16 from plant oil by using butyrate as a co-substrate**. Journal of Bioscience and Bioengineering 120(3): 246-251, 2015.

SATO, S.; FUJIKI, T.; MATSUMOTO, K. **Construction of a stable plasmid vector for industrial production of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) by a recombinant Cupriavidus necator H16 strain**. Journal of Bioscience and Bioengineering 116(6): 677-681, 2013.

SILVA, J. dos S. et al. **Princípios bioéticos aplicados aos estudos ecotoxicológicos aquáticos**. Revista Bioética, v. 23, n. 2, p. 409-418, 2015.

SOUZA, P. M. S.; CORROQUE, N. A.; MORALES, A. R.; MARIN-MORALES, M. A.; L. MEI, H. I. **PLA and organoclays nanocomposites**: degradation process and evaluation of ecotoxicity using Allium cepa as test organism. Journal of Polymers and the Environment 21(4): 1052-1063, 2013.

TUDORACHI, N.; LIPSA, R.; VASILE, C.; MUSTATA, F. **Poly(lactic acid)-co-aspartic acid copolymers: possible utilization in drug delivery systems**. Journal of Polymers and the Environment 21(4): 1064-1071, 2013.

ZHANG, M., DIAO, X. Q.; JIN, Y. J. ; WENG, Y. X. **Preparation and characterization of biodegradable blends of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) and poly(butylene adipate-co-terephthalate)**. Journal of Polymer Engineering 36(5): 473-480, 2016.