

Avaliação do ciclo de vida em materiais poliméricos: um estudo bibliométrico

Renata Nobre da Cunha (UFSCAR-Sorocaba) renata.ndacunha@gmail.com
Virgínia Aparecida da Silva Moris (UFSCAR-Sorocaba) vimoris@ufscar.br

Resumo:

A crescente conscientização sobre a importância da proteção ambiental e dos possíveis impactos associados à processos produtivos impulsionam a se pesquisar métodos para melhor compreender e diminuir estes problemas. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta em desenvolvimento com este propósito, por avaliar os aspectos ambientais e potenciais impactos associados ao ciclo de vida de diversos seguimentos de produtos, processos, e até mesmo serviços. Por ser uma ferramenta de ampla aplicação, este artigo objetiva-se em identificar os trabalhos mais relevantes da ACV em materiais poliméricos utilizando a análise bibliométrica. Para tal, fez-se uso do *software* CiteSpace, um programa gratuito que representa a literatura científica por meio de uma rede sintetizada a partir de uma série de redes individuais. Ao final do estudo, buscou-se identificar os trabalhos com maior número de citações ao tema para auxiliar estudos da aplicação da ACV em sistemas produtivos destes tipos de materiais.

Palavras chave: Avaliação do Ciclo de Vida, Materiais Poliméricos, Análise Bibliométrica.

Life cycle assessment in polymeric materials: a bibliometric study

Abstract

The growing awareness of the importance of environmental protection and the possible impacts associated with production processes to boost search methods to better understand and reduce these problems. The Life Cycle Assessment (LCA) is a tool under development for this purpose, for assessing the environmental aspects and potential impacts associated with the life cycle of various segments of products, processes, and even services. To be a tool of wide application, this article aims on identifying the most relevant papers of ACV in polymeric materials using bibliometric analysis. For this purpose, was used the software CiteSpace, which is a free program scientific literature through a network synthesized from a number of individual networks. At the end of the study, seek to identify papers with the highest number of citations to the subject to assist the application of LCA studies on production systems of these types of materials.

Key-words: Life Cycle Assessment, Polymeric Materials, Bibliometric Analysis.

1. Introdução

O desenvolvimento da tecnologia industrial permite a transformação por meio de diferentes modos, alterando a natureza e extensão dos impactos ambientais das atividades industriais. Esgotamento dos recursos, água, ar e poluição da terra, são exemplos dos problemas ambientais que surgiram como resultado de intervenções intensificadas no meio ambiente devido ao acelerado avanço tecnológico. Alguns desses problemas podem não ter um efeito

imediatos, fazendo com que empresas responsáveis a estes danos não se planejem de forma preventiva. (AZAPAGIC, 1999).

A crescente conscientização sobre a importância da proteção ambiental e dos possíveis impactos associados a produtos manufaturados e consumidos cada vez mais conscientes demonstram o interesse no desenvolvimento de métodos para melhor compreender e diminuir estes impactos. Uma das técnicas em desenvolvimento com este propósito que pode auxiliar na redução de impactos ambientais é a Avaliação do Ciclo de Vida, ACV (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR ISO 14040, 2009).

Para Von Blottnitz e Curran (2007), a Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta para a avaliação sistemática dos aspectos ambientais de um sistema de produto ou serviço. Fornece uma visão holística a partir da abordagem "*cradle to grave*", ou seja, de "berço ao túmulo", em que o produto é analisado desde a fase de produção primária, envolvendo as matérias-primas, até a utilização final.

Finnveden (1999) afirma que a Avaliação do Ciclo de Vida obteve um amplo desenvolvimento durante a década de 1990 e atingiu um nível de harmonização e padronização. A ACV foi principalmente desenvolvida para a análise de seguimentos diversos de produtos e processos, mas também pode ser aplicada a serviços. Desde modo, a ACV vem se tornando uma técnica de interesse em estudos com aplicação também em materiais poliméricos.

De acordo com Vink et. al. (2003), polímeros, para a produção de plásticos e filmes, tornaram-se um elemento essencial da vida moderna por apresentarem vantagens como baixo peso, alta resistência, larga escala de aplicação, e a maturidade das tecnologias de produção subjacentes. Tais vantagens também contribuíram para o surgimento de preocupações da utilização desses materiais à base de combustíveis fósseis. A durabilidade de vários tipos de plásticos, sob condições aeróbicas e anaeróbicas, contribui para o crescimento de desperdícios e problemas ambientais, como a eliminação de resíduos.

Desde modo, o presente artigo objetiva-se em identificar os trabalhos mais relevantes à ACV em polímeros por meio da análise bibliométrica, devido a importância do tema pela busca do desenvolvimento sustentável.

2. Referencial teórico

2.1 Avaliação do Ciclo de Vida

O desenvolvimento sustentável exige métodos e ferramentas para mensurar e comparar os impactos ambientais das atividades humanas para o fornecimento de bens e serviços (REBITZER et. al., 2004).

A International Organization for Standardization (ISO) elaborou a ISO 14040, em que padroniza a Avaliação do Ciclo de Vida. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a NBR ISO 14040, norma equivalente à ISO 14040.

A Avaliação do Ciclo de Vida é a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. A técnica da ACV é dividida em quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 14040, 2006)

Segundo a NBR ISO 14040 (2009), a definição do objetivo e escopo são os elementos-chave que demonstraram a profundidade e abrangência de um estudo de ACV, incluindo a definição da unidade funcional, a fronteira do sistema e o nível de detalhamento. A fase de Inventário do Ciclo de Vida (ICV), trata-se da elaboração de um inventário dos dados de entrada e saída

do sistema em estudo, envolvendo a coleta de dados necessária ao objetivo estabelecido na fase anterior. A terceira fase, Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) é composta pela avaliação de impacto a partir dos dados do ICV, visando um melhor entendimento da relevância ambiental. A última fase abrange a interpretação do ciclo de vida, na qual os resultados da ICV e AICV são analisados como base para conclusões, recomendações e tomadas de decisões.

Para Guinée et. al. (2002), as principais aplicações da ACV está em: analisar as origens de problemas associados a um produto específico; comparar as variantes de melhoria de um determinado produto/processo; concepção de novos produtos; e escolha entre diferentes produtos com mesma função.

2.2 Análise bibliométrica

A bibliometria surge no século XX como sintoma da necessidade do estudo e da avaliação das atividades de produção e comunicação científica. (ARAÚJO, 2007). Para Fonseca (1986) a bibliometria é uma técnica quantitativa e estatística de medição dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico.

O termo "bibliometria" foi criado por Paul Otlet em 1934 no seu "Traité de Documentation" (FONSECA, 1986). Porém, segundo Vanti (2002) o uso da palavra "bibliometria" foi popularizado por Alan Pritchard em 1969 quando sugeriu que esta deveria substituir o termo "bibliografia estatística", que vinha sendo utilizado desde a menção feita em 1922 por Edward Wyndham Hulme em uma conferência na Universidade de Cambridge. Para Pritchard (1969) o termo "bibliografia estatística" é inapropriado, não é muito descritivo, e pode ser confundido com estatísticas em si ou bibliografias sobre estatísticas.

Desta forma, Pritchard (1969) descreve bibliometria como a aplicação da matemática e métodos estatísticos para livros e outros meios de comunicação, ou seja, que busca quantificar os processos da comunicação escrita.

3. Metodologia

Esta pesquisa é classificada como exploratória e descritiva, pois de acordo com Gil (2009), proporciona maior familiaridade com o problema, com o intuito de torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Na maioria dos casos, assume a forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso.

A este artigo, foi realizada uma análise bibliométrica com o intuito de identificar os trabalhos mais relevantes à aplicação da ACV em materiais poliméricos. Para tanto, foi utilizado o *software* CiteSpace, um programa gratuito desenvolvido por Chaomei Chen da Universidade de Drexel. De acordo com Chen (2004), CiteSpace é uma aplicação Java para análise e visualização de redes de co-citação.

O CiteSpace representa a literatura científica por meio de uma rede sintetizada a partir de uma série de redes individuais. Cada rede individual é construída a partir de artigos publicados em intervalo de tempo estabelecido, conhecida como uma fatia de tempo. O CiteSpace integra essas redes individuais e forma uma visão geral de como um campo científico vem evoluindo ao longo do tempo (CHEN et. al., 2012).

A entrada para o CiteSpace é um conjunto de arquivos de dados bibliográficos (CHEN, 2004). A principal fonte de dados de entrada é o Web of Science, uma coleção multidisciplinar de periódicos que está inserida na ISI (Institute for Scientific Information).

Neste estudo, os dados de entrada utilizados foram exportados da Web of Science, a partir de

três palavras-chave: "Life Cycle Assessment", "Life Cycle Analysis" e "Polymer" em um intervalo de tempo de 1990-2013, pois conforme Azapagic (1999), a ACV tem recebido maior atenção e desenvolvimento metodológico somente no início da década de 1990, quando sua relevância como um auxílio na tomada de decisão de gestão ambiental, tanto corporativa e pública se tornou mais evidente. Os resultados foram combinados, conforme mostra a Figura 1, totalizando em 126 artigos.

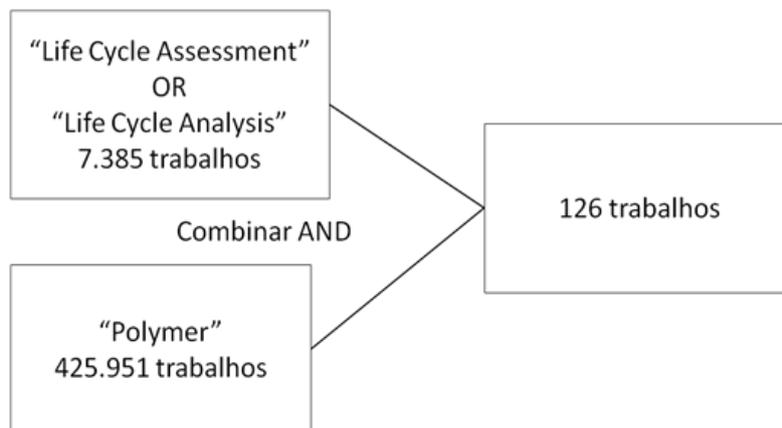


Figura 1 - Palavras-chave para a análise bibliométrica
Fonte: Autoria própria

Optou-se pela combinação "OR" entre as palavras-chave "Life Cycle Assessment" e "Life Cycle Analysis" para unir todos os resultados que estão relacionados ao tema. Com o resultado dessa interação, foi realizada a combinação "AND" com a palavra-chave "Polymer", afim de encontrar somente os trabalhos que tratam da aplicação da ACV em polímeros.

Após as combinações, foram realizados três refinamentos excluindo os trabalhos que não estariam dentro do tema de pesquisa:

1- Escolha das categorias do Web of Science, disponibilizadas no ISI Web of Knowledge. Neste estudo foram mantidas as categorias "environmental sciences", "engineering environmental", "energy fuels", "engineering chemical", "engineering manufacturing", "materials science multidisciplinary", "polymer science", "materials science composites". Com o refinamento 110 trabalhos foram mantidos.

2- Escolha do tipo de documento, optando somente por "article", resultando em 89 trabalhos.

3- Exclusão de trabalhos da análise bibliométrica. Os trabalhos excluídos podem ser visualizados no Quadro 1. Foram excluídos aqueles que, de certa maneira, não aplicam a ACV à materiais poliméricos. Para tanto, foi lido o *abstract*, e quando necessário, o artigo por completo. Com este refinamento foram mantidos 82 trabalhos.

Trabalhos	Justificativa
KÖHLER, A. R. et al. <i>Studying the potential release of carbon nanotubes throughout the application life cycle.</i> Journal of Cleaner Production, v. 16, n. 8, p. 927-937, 2008.	O artigo não trata da aplicação da ACV para materiais poliméricos.
HUDA, M. S. et al. <i>The effect of silane treated-and untreated-talc on the mechanical and physico-mechanical properties of poly (lactic acid)/newspaper fibers/talc hybrid composites.</i> Composites Part B: Engineering, v. 38, n. 3, p. 367-379, 2007.	O artigo não realiza a aplicação da ACV. O termo é encontrado somente no capítulo de referências como título de trabalhos utilizados para referenciar outros assuntos do artigo.
BOGGS, B. K.; BOTTE, G. G. <i>On-board</i>	O artigo não trata da aplicação da ACV

<i>hydrogen storage and production: An application of ammonia electrolysis. Journal of Power Sources, v. 192, n. 2, p. 573-581, 2009.</i>	para materiais poliméricos.
BOURMAUD, A.; BALEY, C. <i>Rigidity analysis of polypropylene/vegetal fibre composites after recycling. Polymer degradation and stability, v. 94, n. 3, p. 297-305, 2009.</i>	O artigo não faz o uso da técnica ACV para o desenvolvimento do estudo, utiliza como citação de outros trabalhos que aplicaram a técnica em polímero/compósitos de fibra natural.
KALE, G.; AURAS, R.; SINGH, S. P. <i>Comparison of the degradability of poly (lactide) packages in composting and ambient exposure conditions. Packaging Technology and Science, v. 20, n. 1, p. 49-70, 2007.</i>	O artigo não faz o uso da técnica ACV para o desenvolvimento do estudo, utiliza como citação de outros trabalhos que aplicaram a técnica para comparar a eficiência energética dos polímeros PLA (Polilactato), PP (Polipropileno) e PS (Poliestireno).
BARBOZA, E. S. et al. <i>Determination of a recyclability index for the PET glycolysis. Resources, Conservation and Recycling, v. 53, n. 3, p. 122-128, 2009.</i>	O artigo não realiza a aplicação da ACV. Utiliza como citação de outros trabalhos que aplicaram a técnica para referenciar outros assuntos do artigo.
ZHANG, H.-C. et al. <i>Investigation of a multiple trigger active disassembly element. CIRP Annals-Manufacturing Technology, v. 61, n. 1, p. 27-30, 2012.</i>	O artigo não realiza a aplicação da ACV. Utiliza como citação de outro trabalho que aplicou a técnica para referenciar outros assuntos do artigo.

Quadro 1 - Trabalhos excluídos da análise bibliométrica

Fonte: Autoria própria

Após os refinamentos, as informações dos 82 artigos foram exportadas da Web of Science para serem os dados de entrada do CiteSpace, a fim de realizar a análise bibliométrica.

4. Resultados e discussões

O escopo da pesquisa inclui os campos - autores, resumo, título, fonte, palavras-chave, áreas de pesquisa - em cada registro bibliográfico e o período de 1995-2013, devido as 82 publicações terem ocorrido neste intervalo de tempo, como mostra a Tabela 1.

Anos de publicação	Contagem do registro	% de 82
2012	14	17,073 %
2013	14	17,073 %
2010	13	15,854 %
2011	13	15,854 %
2009	5	6,098 %
2003	3	3,659 %
2004	3	3,659 %
2007	3	3,659 %
2008	3	3,659 %
1995	2	2,439 %
2001	2	2,439 %
2006	2	2,439 %
1996	1	1,220 %
1998	1	1,220 %
2000	1	1,220 %
2002	1	1,220 %
2005	1	1,220 %

Tabela 1 - Anos de publicação das 82 publicações

Fonte: Adaptado da Web of Science

A partir dos resultados gerados pelo CiteSpace, é possível visualizar a aglomeração dos trabalhos em *clusters*, como mostra a Figura 2.

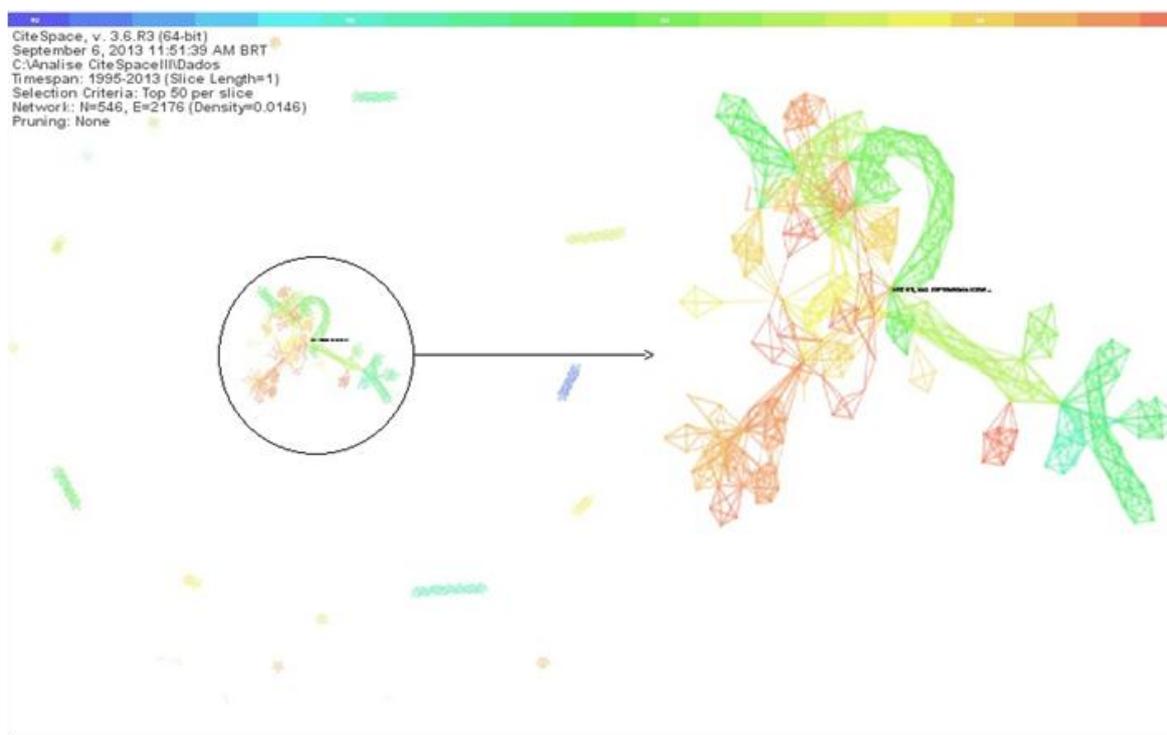


Figura 2 - Aglomeração dos trabalhos em *clusters*
 Fonte: *software* CiteSpace

De acordo com Chen (2006), *clusters* representam um conjunto de artigos que abordam assuntos de mesmo gênero. *Clusters* com poucas referências tendem a serem menos representativos que aglomerados maiores porque são susceptíveis de serem formados ao comportamento de citações de um pequeno número de publicações. A qualidade de um *cluster* também se reflete em termos de pontuação de silhueta, o que é um indicador de sua homogeneidade ou consistência. Valores da silhueta de grupos homogêneos tendem a serem 1 ou próximo a este valor (CHEN et. al., 2012). Nesse estudo, foram identificados 27 *clusters*, dos quais, os 10 maiores *clusters*, com seus respectivos tamanhos e silhueta, são listados na Tabela 2.

Cluster	Tamanho	Silhueta
18	58	0,785
15	33	0,944
8	25	0,964
24	17	0,91
19	16	0,98
10	15	0,8
21	15	0,957
13	14	1
16	14	0,981
5	11	1

Tabela 2 - *Ranking* dos maiores *clusters*
 Fonte: *software* CiteSpace

A Tabela 2 mostra que o *cluster* 18 apresenta o maior número de referências, com 58 membros, porém é o grupo menos homogêneo, com silhueta de 0.785. Mesmo sendo de menor silhueta, seu valor é próximo a 1, podem assim dizer, que todos os *clusters* podem ser considerados homogêneos, enfatizando os *clusters* 13 e 5 por terem a silhueta de valor igual a 1.

4.1 Ranking dos trabalhos de ACV em materiais poliméricos

O Quadro 2 gerado pelo *software*, apresenta o *ranking* dos trabalhos com maior número de citações. Desses 10 trabalhos com a maior contagem de citações, 5 pertencem ao *cluster* 18, 3 ao grupo 21 e 2 trabalhos ao aglomerado 15.

Contagem de citações	Referências	Cluster
13	VINK, E. T. H. et al. <i>Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production</i> . Polymer Degradation and Stability, London, v. 80, n. 3, p. 403-419, 2003.	18
9	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14044: <i>Life cycle assessment - Requirements and guidelines</i> . ISO, 2006.	21
9	JOSHI, S. V. et al. <i>Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?.</i> Composites Part A: Applied science and manufacturing, Washington, DC, v. 35, n. 3, p. 371-376, 2004..	18
9	VINK, E. T. H. et al. <i>Original research: the eco-profiles for current and near-future NatureWorks® polylactide (PLA) production</i> . Industrial Biotechnology, London, v. 3, n. 1, p. 58-81, 2007.	18
8	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14040: <i>Life cycle assessment: Principles and framework</i> . ISO, 2006.	21
8	AKIYAMA, M.; TSUGE, T.; DOI, Y. <i>Environmental life cycle comparison of polyhydroxyalkanoates produced from renewable carbon resources by bacterial fermentation</i> . Polymer Degradation and Stability, Philadelphia, PA, v. 80, n. 1, p. 183-194, 2003.	18
8	JOLLIET, O. et al. <i>IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology</i> . The International Journal of Life Cycle Assessment, Lausanne, v. 8, n. 6, p. 324-330, 2003.	21
7	ROES, A. L. et al. <i>Ex-ante environmental and economic evaluation of polymer photovoltaics</i> . Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Frankfurt, v. 17, n. 6, p. 372-393, 2009.	15
6	GERNGROSS, T. U. <i>Can biotechnology move us toward a sustainable society?.</i> Nature biotechnology, Hanover, NH, v. 17, n. 6, p. 541-544, 1999.	18
6	GARCÍA-VALVERDE, R.; CHERNI, J. A.; URBINA, A. <i>Life cycle analysis of organic photovoltaic technologies</i> . Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Frankfurt, v. 18, n. 7, p. 535-558, 2010.	15

Quadro 2 - Trabalhos que apresentam o maior número de citações

Fonte: *software* CiteSpace

O artigo com o maior número de citações é de Vink et. al. (2003), que aplicaram a ACV em um polímero fabricado com 100% de recursos renováveis, como milho, beterraba e arroz,

conhecido como NatureWorks™ polilactato (PLA) produzido por Cargill Dow LLC. Os autores utilizaram a ACV para mensurar a sustentabilidade ambiental e identificar melhoria no desempenho ambiental. Para isso, foram estudadas três categorias de impacto associadas ao PLA: uso de energia fóssil, gases de efeito estufa e uso de água.

Com a implementação de melhorias tecnológicas e modificações que foram propostas a partir das análises com a aplicação da ACV, Vink et. al. (2003), chegaram a uma redução do uso de energia fóssil entre 25-55%, redução de gases com efeito de estufa com a utilização de matérias-primas agrícolas para a produção de polímeros PLA. O uso da água total necessária no processo não demonstrou aspectos negativos ao desempenho ambiental, pois apresentou quantidade competitiva com os melhores desempenhos entre os polímeros petroquímicos.

Em conclusão da pesquisa, Vink et. al. (2003) demonstram que o menor uso de energia fóssil e redução das emissões de gases de efeito estufa foram considerados fatores correlacionados com competitividade de custos. Além disso, a Avaliação do Ciclo de Vida pode ser uma valiosa técnica complementar de análise quando se busca as melhorias de custo, componente integral das operações de negócios em mercados que prezam cada vez mais pelo desempenho sustentável, e que pode auxiliar a empresa a formar metas de sustentabilidade no processo e operações.

A ISO 14044 (2006), segundo trabalho com o maior número de citações, é uma norma de gestão ambiental que fornece os requisitos e diretrizes para a Avaliação do Ciclo de Vida.

Por diante, o trabalho de Joshi et. al. (2004) apresenta uma comparação entre compósitos de fibras naturais aos de fibra de vidro, com o intuito de mensurar o desempenho ambiental. Os resultados obtidos mostraram que os compósitos de fibra natural são ambientalmente superiores, pelas seguintes razões: a produção de fibra natural tem menores impactos ambientais em relação à produção de fibra de vidro, os compósitos de fibras naturais têm maior teor de fibra para desempenho equivalente, reduzindo o teor de polímero de base mais poluente, os compósitos de fibras naturais são mais leves, melhorando a eficiência do combustível e também apresentou redução nas emissões em aplicações de automóveis.

No trabalho de Vink et. al. (2007) é utilizada a ACV como ferramenta para mensurar e identificar os objetivos de melhoria ambiental do polímero PLA. As categorias de impacto ambiental foram utilizadas com o propósito de eliminar o uso de energias não-renováveis e reduzir as emissões de gases de efeito estufa, bem como a minimização de co-produtos não relevantes e redução do consumo de água.

Por seguinte, a ISO 14040 (2006), é uma norma de gestão ambiental que demonstra os princípios e a estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida.

O próximo trabalho com o maior número de citações é o de Akiyama, Tsuge e Doi (2003) que utiliza a ACV para comparar o ciclo de vida ambiental de polihidroxialcanoatos (PHAs) produzidos a partir de fontes renováveis de carbono por fermentação bacteriana. Para a análise, foi estudo o inventário do ciclo de vida (ICV) da produção fermentativa de um copolímero a base de óleo de soja e de um homopolímero de glicose, em termos de custos e cargas ambientais, utilizando a abordagem "*cradle to gate*", ou seja, os dados envolvidos ao estudos são desde a produção primária até o portão da fábrica, não considerando o uso desses polímeros. Além disso, a produção fermentativa dos polímeros PHAs de base biológica foi comparada com a produção de polímeros petroquímicos. Como resultado, o custo de produção era comparável entre os PHAs. Os valores do consumo de energia e das emissões de CO₂ foram menores para o copolímero de PHA do que para o homopolímero. Além disso, os valores do ICV eram muito menores para os polímeros PHAs de base biológica do que para polímeros petroquímicos.

Em Jolliet et. al. (2003) é desenvolvida a IMPACT 2002+, uma metodologia de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV). Nesta metodologia foram desenvolvidos conceitos e métodos, especialmente para a avaliação comparativa da toxicidade humana e ecotoxicidade, baseados em métodos estatísticos e não em suposições conservadoras.

O artigo de Roes et. al. (2009) realiza uma avaliação ambiental e econômica de materiais poliméricos, utilizados para aplicações de células fotovoltaicas (PV). A ACV foi utilizada com o intuito de identificar as vantagens da utilização da tecnologia atual de silício cristalino em aplicações fotovoltaicas. Para a condução do estudo, os autores definiram a unidade funcional: 25 anos de produção de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos com uma potência de 1 Wp. Os resultados foram comparados com dados da literatura de PV à base silício cristalino e outros tipos de PV, constatando que cada Wp de potência de saída do sistema produtivo, os impactos ambientais causados pelo PV à base silício cristalino são de 20-60% mais baixo em relação à PV com substrato de vidro e 80-95% menor comparado à polímero PV com PET como substrato (módulos flexíveis). Além disso, os custos por Wp de módulos fotovoltaicos com polímero à base de substrato de vidro é aproximadamente 20% maior em comparação ao PV com base de silício cristalino.

Gerngross (1999) abrange uma discussão se a biotecnologia pode ser uma direção a uma sociedade sustentável. Para a análise, foi utilizada a abordagem "*cradle to grave*", ou seja, "do berço ao túmulo", da ACV em polihidroxialcanoatos (PHAs) à base do recurso renovável milho. Como resultado, a produção de PHAs utilizando o milho como matéria-prima é, portanto, um benefício ambiental questionável, mesmo sob pressupostos bastante favoráveis, ao se constatar que processos biológicos que utilizam recursos renováveis terem o potencial para a conservação dos recursos fósseis.

Portanto, as avaliações futuras de processos biológicos não devem incorporar apenas a utilização de matérias-primas (que são principalmente renovável), mas também o consumo indireto de fontes de energia não renováveis necessários para o processo, por acreditar que esses dados possam alterar os resultados obtidos pela análise considerando apenas a utilização de matérias-primas (GERNGROSS, 1999).

Por fim, o trabalho de García-Valverde, Cherni e Urbina (2010) apresenta uma análise do ciclo de vida de células solares orgânicas à tecnologias fotovoltaicas. Além disso, é apresentado um inventário do material detalhado de matérias-primas para o módulo fotovoltaico, com o intuito de identificar possíveis gargalos em uma cadeia de suprimentos futura para uma grande produção industrial.

4.2 Indicadores de centralidade e sigma

Outra informação relevante gerada pelo CiteSpace é em relação ao indicador centralidade de um nó, que segundo Chen et. al. (2012) mede a importância da posição do nó na rede sintetizada, ou seja, refere a relevância do trabalho para os *clusters*, sendo um elo de ligação entre vários *clusters*. Quanto mais elevado o grau de centralidade, significa que o trabalho é indicado com uma potencial publicação científica (CHEN, 2005).

O último indicador a ser analisado, gerado pelo programa, é o sigma. Chen et. al. (2010) explica que o sigma é uma medida da novidade científica. Ele identifica as publicações científicas que possam representar novas ideias.

O valor máximo possível de sigma é 1 quando todas as propriedades individuais têm o valor máximo de 1. O valor mínimo possível de sigma é 0 quando qualquer uma das propriedades individuais é 0 (CHEN et. al., 2009a). Estes indicadores podem ser observados no Quadro 3.

Centralidade	Sigma	Referências	Cluster
0,33	1,00	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14044: <i>Life cycle assessment: Requirements and guidelines</i> . ISO, 2006.	21
0,28	1,00	BOHLMANN, G. M. <i>Biodegradable packaging life-cycle assessment</i> . Environmental progress, v. 23, n. 4, p. 342-346, 2004.	18
0,25	1,00	KREBS, F. C. et al. <i>The OE-A OPV demonstrator anno domini 2011</i> . Energy & Environmental Science, v. 4, n. 10, p. 4116-4123, 2011.	15
0,25	1,00	GUINÉE, J. B. <i>Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards</i> . The international journal of life cycle assessment, v. 7, n. 5, p. 311-313, 2002.	15
0,24	1,00	VINK, E. T. H. et al. <i>Original research: the eco-profiles for current and near-future NatureWorks® polylactide (PLA) production</i> . Industrial Biotechnology, London, v. 3, n. 1, p. 58-81, 2007.	18
0,21	1,00	KREBS, F. C. et al. S. <i>Manufacture, integration and demonstration of polymer solar cells in a lamp for the "Lighting Africa" initiative</i> . Energy & Environmental Science, v. 3, n. 5, p. 512-525, 2010.	15
0,19	1,00	BOUSTEAD, I. <i>Eco-profiles of the European Plastics Industry-polyethylene terephthalate (PET)(bottle grade)</i> . Brussels, Belgium: PlasticsEurope, 2005.	18
0,19	1,00	DEMERS, M.; COLLIGNON, M. <i>The eco-indicator 95</i> . Amersfoort (NL): PRé Consultants, 1995.	25
0,19	1,00	ESTERMANN, R.; SCHWARZWÄLDER, B. <i>Life cycle assessment of Mater-Bi bags for the collection of compostable waste</i> . Composto for Novamont, 1998.	25
0,18	1,00	JOLLIET, O. et al. <i>IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology</i> . The International Journal of Life Cycle Assessment, Lausanne, v. 8, n. 6, p. 324-330, 2003.	21

Quadro 3 - Indicadores de centralidade e sigma

Fonte: Adaptado do software CiteSpace

Conforme o Quadro 3, a ISO 14044 (2006) apresenta o maior grau de centralidade, com valor de 0,33, localizada no *cluster* 21. Isto significa que este trabalho representa o maior elo de ligação entre os demais aglomerados. Os valores encontrados à métrica sigma foram iguais a todos os principais trabalhos, com valor 1. Explica-se a esta ocorrência que todos os trabalhos possuem o mesmo grau de inovação científica.

5. Considerações finais

A partir da análise bibliométrica, foi possível identificar os trabalhos com maior número de citações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida em materiais poliméricos, sendo uma ferramenta capaz de auxiliar na revisão de literatura do tema estudado, assim como na aplicação da técnica a estes materiais, por ser uma prática de estudo ainda pouco explorada, como resultou a busca em somente 82 artigos, possibilitando, assim, um crescente interesse ao estudo do tema.

Com o *software* CiteSpace foi possível representar artigos com uma série de referências por meio de nós de rede de co-citação. Conforme Chen et. al. (2012), a conectividade entre os nós de tais referências representa quantas vezes eles são citados pelos mesmos artigos. Esta conectividade formaram os *clusters*, permitindo identificar como os trabalhos se aglomeram a outros que abordam assuntos do mesmo gênero.

O principal objetivo deste artigo foi alcançado, por meio dos resultados do programa, em que identificou os trabalhos mais relevantes à ACV em polímeros. Além disso, o CiteSpace permitiu a análise duas métricas: indicador centralidade e o sigma, os quais enriqueceram a análise dos resultados, pois indicaram o grau de importância da posição do nó na rede sintetizada e a medida de inovação científica, respectivamente.

Por fim, observou-se que a técnica Avaliação do Ciclo de Vida apresenta-se como um dos mais importantes indicadores à uma gestão ambiental, por realizar uma análise quali-quantitativa do desempenho ambiental de produtos, processo, e até serviços, além de mensurar e avaliar os impactos ambientais dos mesmos.

Referências

AKIYAMA, M.; TSUGE, T.; DOI, Y. *Environmental life cycle comparison of polyhydroxyalkanoates produced from renewable carbon resources by bacterial fermentation*. Polymer Degradation and Stability, Philadelphia, PA, v. 80, n. 1, p. 183-194, 2003.

ARAÚJO, C. A. *Bibliometria: evolução histórica e questões atuais*. Em *Questão*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040. *Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro, 2009. 21 p.

AZAPAGIC, A. Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation. *Chemical Engineering Journal*, Lausanne, v. 73, n. 1, p. 1-21, 1999.

CHEN, C. *Searching for intellectual turning points: progressive knowledge domain visualization*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Washington, DC, v. 101, n. Suppl 1, p. 5303-5310, 2004.

CHEN, C. *The centrality of pivotal points in the evolution of scientific networks*. In: Proceedings of the 10th international conference on Intelligent user interfaces. ACM, p. 98-105, 2005.

CHEN, C. *CiteSpace II: detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature*. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Washington, DC, v. 57, n. 3, p. 359-377, 2006.

CHEN, C. et al. *Towards an explanatory and computational theory of scientific discovery*. *Journal of Informetrics*, Washington, DC, v. 3, n. 3, p. 191-209, 2009a.

CHEN, C.; IBEKWE-SANJUAN, F.; HOU, J. *The structure and dynamics of cocitation clusters: A multiple-perspective cocitation analysis*. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Washington, DC, v. 61, n. 7, p. 1386-1409, 2010.

CHEN, C. et al. *Emerging trends in regenerative medicine: a scientometric analysis in CiteSpace*. *Expert Opinion on Biological Therapy*, Washington, DC, v. 12, n. 5, p. 593-608, 2012.

FINNVEDEN, G. *Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems*. *Resources, conservation and recycling*, [s. l.] v. 26, n. 3, p. 173-187, 1999.

FONSECA, E. N. (Org.). *Bibliometria: teoria e prática*. São Paulo: Cultrix : Ed. da USP, 1986.

GARCÍA-VALVERDE, R.; CHERNI, J. A.; URBINA, A. *Life cycle analysis of organic photovoltaic technologies*. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Frankfurt, v. 18, n. 7, p. 535-558, 2010.

GERNGROSS, T. U. *Can biotechnology move us toward a sustainable society?*. *Nature biotechnology*, Hanover, NH, v. 17, n. 6, p. 541-544, 1999.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GUINÉE, J. B. et al. *Handbook on life cycle assessment*. Operational guide to the ISO standards, Dordrecht, p. 1-708, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14040: *Life cycle assessment: Principles and framework*. ISO, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14044: *Life cycle assessment: Requirements and guidelines*. ISO, 2006.

- JOSHI, S. V. et al.** *Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?*. Composites Part A: Applied science and manufacturing, Washington, DC, v. 35, n. 3, p. 371-376, 2004.
- JOLLIET, O. et al.** *IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology*. The International Journal of Life Cycle Assessment, Lausanne, v. 8, n. 6, p. 324-330, 2003.
- PRITCHARD, A.** *Statistical bibliography or bibliometrics?*. Journal of documentation, [s. l.], v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969.
- REBITZER, G. et al.** *Life cycle assessment: part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications*. Environment International, Amsterdam, v. 30, n. 5, p.701-720, 2004.
- ROES, A. L. et al.** *Ex-ante environmental and economic evaluation of polymer photovoltaics*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Frankfurt, v. 17, n. 6, p. 372-393, 2009.
- VANTI, N. A. P.** *Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento*. Ciência da Informação, Brasília, v. 31, n. 2, p. 152-162, 2002.
- VINK, E. T. H. et al.** *Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production*. Polymer Degradation and Stability, London, v. 80, n. 3, p. 403-419, 2003.
- VINK, E. T. H. et al.** *Original research: the eco-profiles for current and near-future NatureWorks® polylactide (PLA) production*. Industrial Biotechnology, London, v. 3, n. 1, p. 58-81, 2007.
- VON BLOTTNITZ, H; CURRAN, M. A.** *A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective*. Journal of Cleaner Production, Amsterdam, v. 15, n. 7, p. 607-619, 2007.