



**ECOSSISTEMAS INDUSTRIAIS: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO
CIENTÍFICA MUNDIAL SOBRE O TEMA**

**INDUSTRIAL ECOSYSTEMS: BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF WORLD
SCIENTIFIC PRODUCTION ON THE TOPIC**

Felipe Nogueira da Cruz

Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil
felipe.cruz@ufjf.edu.br
<https://orcid.org/0000-0002-2964-1472>

Debora Nayar Hoff

Universidade Federal do Pampa, RS, Brasil
deborahoff@unipampa.edu.br
<https://orcid.org/0000-0003-3528-1378>

Resumo

Diante do reconhecimento das crises ambientais vividas pela humanidade e da interdependência entre estas e a trajetória insustentável das atividades econômicas, diversos atores e correntes teóricas têm pontuado a necessidade de modificações nas estruturas produtivas para o estabelecimento de iniciativas de desenvolvimento favoráveis à conservação dos serviços ecossistêmicos. Neste particular, a Ecologia Industrial advoga a reestruturação da indústria em um modelo de fluxos materiais e energéticos cíclicos, chamado de Ecosistema Industrial. O objetivo deste artigo foi caracterizar os padrões e as tendências da produção científica mundial sobre os Ecosistemas Industriais. O processo da pesquisa abrangeu a composição de um portfólio bibliográfico – contendo 325 artigos publicados entre 1989 e 2015 – e a análise bibliométrica dos textos catalogados. Além de identificar os principais autores e periódicos dedicados à divulgação do tema e os trabalhos mais referenciados na área, este estudo permitiu verificar a emergência dos Ecosistemas Industriais como uma das perspectivas mais influentes na interlocução entre indústria e meio ambiente, particularmente nas Engenharias e Ciências Ambientais.

Palavras-chave: Ecossistemas Industriais. Ecologia Industrial. Produção científica mundial. Bibliometria.

Abstract

Many actors have recognized the interdependence between environmental crisis experienced by humanity and the unsustainable economic activities. By the way, they have advocated changes in production structures for the establishment of development initiatives that could promote the conservation of ecosystem services. In this regard, the Industrial Ecology approach advocates industry restructuring in a cyclical model of material and energy flows, known as Industrial Ecosystem. This paper is aimed at characterizing the patterns and trends of world publication about Industrial Ecosystems. The research included a bibliographic portfolio composition – containing 325 papers published between 1989 and 2015 – and a bibliometric analysis of the cataloged texts. It was possible to identify the main authors and journals dedicated to the subject and the works more referenced in the area. Moreover, this study pointed the emergence of Industrial Ecosystems as one of the most influential perspectives in the dialogue between industry and environment, particularly in Engineering and Environmental Sciences.

Keywords: *Industrial Ecosystems. Industrial Ecology. World Scientific Production. Bibliometrics.*

1. Introdução

O aumento da eficiência na indústria seguiu uma trajetória na qual os avanços técnicos se deram com base na utilização ilimitada de recursos naturais e na disposição irrestrita de resíduos no meio ambiente. Esse modelo – fundamentado em fluxos lineares de matéria e energia – passou a ser concebido como a chave para o desenvolvimento das nações, principalmente a partir da sua difusão durante todo o século XX. Os anos gloriosos do pós-Segunda Guerra Mundial contribuíram para a propagação desse ideário, já que, naquele período, os países industrializados apresentaram altas taxas de crescimento com pleno emprego. No entanto, de acordo com Sachs (2000), os custos ecológicos desses avanços econômicos foram bastante elevados, uma vez que as externalidades geradas pela indústria colocaram em risco a integridade dos ecossistemas naturais.

Diversos atores e correntes teóricas têm questionado a pertinência da reprodução de um modelo de crescimento insustentável como única alternativa possível. É nesse contexto que

alguns estudiosos têm diferenciado “crescimento” de “desenvolvimento”. Segundo Sachs (2000), desenvolvimento é um conceito pluridimensional que abarca três critérios essenciais: o social, o ecológico e o econômico; seu objetivo pauta-se no bem-estar dos grupamentos humanos condicionado à dimensão ecológica. Tal condicionalidade baseia-se no postulado de solidariedade com as gerações futuras, isto é, de garantia das condições para que as gerações vindouras se desenvolvam satisfatoriamente.

Debruçando-se sobre o processo produtivo e as possibilidades de ajuste que este pode ou deve sofrer para adaptar-se aos limites ecossistêmicos, alguns cientistas, em grande parte ligados à Engenharia de Produção e à Engenharia Química, inauguraram o campo conhecido como Ecologia Industrial (EI). Esta corrente aborda o desenvolvimento tecnológico no contexto dos ecossistemas maiores que o suportam, examinando as fontes de recursos utilizados na esfera da produção e a capacidade de o meio ambiente absorver os rejeitos industriais. O sistema econômico é apreendido como um subsistema de um universo maior e mais complexo, uma vez que a indústria depende dos serviços e recursos providos pela biosfera, da qual não pode ser dissociada (Lifset & Graedel, 2002).

A EI advoga a reestruturação da indústria sob o formato de um sistema intrinsecamente ajustado às tolerâncias e características do ambiente natural. Conceitos desenvolvidos no âmbito dessa perspectiva têm sido usados para planejar e conformar arranjos produtivos, com base local ou regional, que apresentam padrões de uso de recursos análogos àqueles observados nos sistemas biológicos. Os Ecossistemas Industriais, como são comumente designados esses arranjos, procuram elevar o desempenho econômico dos negócios e reduzir o desperdício e a poluição por meio de trocas simbióticas entre as empresas. Em outras palavras, os Ecossistemas Industriais constituem estratégias de promoção do desenvolvimento sustentável no nível interfirma.

Importante destacar que a EI abrange tanto aqueles que entendem ser possível avançar via mudanças incrementais da estrutura industrial quanto os defensores de uma ruptura no modo de produção. Sua brevidade enquanto área do conhecimento e estas características fazem a EI estar mais próxima de um amplo espectro de conceitos do que de um marco teórico unificado. Isso justificaria esforços no sentido de mapear o esforço de construção do conhecimento no entorno das ideias do campo, mostrando os rumos que vêm sendo tomados e permitindo a visualização e construção de possíveis novos caminhos.

Neste sentido, o propósito deste trabalho é caracterizar, com base nas técnicas bibliométricas, os padrões e as tendências da produção científica mundial sobre os Ecossistemas Industriais, como foco no ambiente de constituição desse novo programa de pesquisa. Dada a

importância das estratégias de conformação desses tipos de arranjos produtivos para o melhor desempenho ambiental das atividades econômicas, este exercício de investigação reveste-se de relevância particular, pois oferece uma base para quem quer apropriar-se do conhecimento já existente, indicando, entre outras coisas, quais são os principais pesquisadores, artigos e revistas sobre o tema. Ao oferecer um conjunto de técnicas quantitativas que facilitam a mensuração e avaliação do fluxo de conhecimento científico, a bibliometria mostra-se uma ferramenta adequada para esse esforço.

Além desta introdução, o presente artigo está estruturado em mais quatro seções. A segunda seção apresenta as categorias centrais que inspiram a EI, convergentes à conformação dos Ecosistemas Industriais, bem como os elementos conceituais atinentes à reestruturação da indústria sob o formato de arranjos produtivos eco-eficientes. Na sequência, a terceira seção expõe a metodologia de pesquisa, abordando o processo de composição do portfólio bibliográfico e as técnicas utilizadas na análise bibliométrica dos textos catalogados. A quarta seção, por sua vez, discute os resultados da pesquisa. Por fim, na última seção, seguem-se algumas considerações finais.

2. Indústria e meio ambiente na abordagem dos Ecosistemas Industriais

A EI emergiu nos anos recentes como uma das perspectivas mais influentes nas discussões acerca da reestruturação da indústria em padrão compatível com a noção de sustentabilidade ambiental (Heeres et al., 2004; Gibbs & Deutz, 2007; Veiga & Magrini, 2009). O termo foi cunhado no começo dos anos 1990, embora os conceitos atualmente envolvidos na sua concepção sejam originários de décadas anteriores. Um marco importante neste intercurso foi a publicação, em 1989, do artigo *Strategies for Manufacturing* de Robert Frosch e Nicholas Gallopoulos na *Scientific American*, considerado como o momento da criação da EI (Harper & Graedel, 2004; Chew et al., 2009).

No artigo é utilizada a metáfora dos ecossistemas naturais para examinar três setores específicos: plásticos, ferro e platina. Chegou-se à conclusão de que seria possível perseguir um modelo produtivo mais integrado e limpo por meio de práticas como a reciclagem, desmaterialização, descarbonização e a troca de resíduos entre as firmas. Isso exigiria mudanças no comportamento dos agentes econômicos, as quais possibilitassem a conformação de um sistema industrial mais fechado – em termos de fluxos materiais e energéticos – com redução do uso de recursos virgens e mitigação dos problemas de desperdício e poluição (Frosch & Gallopoulos, 1989). Embora tais ideias não fossem estritamente originais, elas inspiraram inúmeros outros trabalhos que contribuíram para a disseminação da EI.

Sagar e Frosch (1997) observam que a difusão da EI nos círculos acadêmicos e de negócios levou a um uso relativamente livre do termo: às vezes atribui-se uma visão estreita ao mesmo (limitada à reciclagem de resíduos), em outras situações, atribui-se uma concepção extremamente ampla. É provável que a ausência de um consenso teórico ocorra devido ao surgimento recente desse campo de investigação. Não obstante, os autores entendem que, dentro de certos limites, a falta de uma definição precisa pode ser útil, pois permite maior abertura e flexibilidade na incorporação de novas ideias.

O'Rourke et al. (1996) destacam que a EI abriga um grupo heterogêneo de pesquisadores, gestores, engenheiros, consultores e analistas políticos. O enfoque abrange tanto aqueles que apostam em mudanças incrementais da estrutura industrial quanto os defensores de uma transformação radical da indústria. Desse modo, a EI pode ser entendida mais como um amplo espectro de conceitos do que um marco teórico unificado, o que explica as diferentes formas em que ela é elucidada. Apesar dessas diferenças, a maioria dos ecologistas industriais converge para algumas ideias centrais, a saber:

– A EI apreende o sistema econômico como um subsistema de um universo maior e mais complexo, uma vez que a atividade de transformação depende do capital natural provido pela natureza. Trata-se de uma perspectiva sistêmica e integrada dos nexos entre indústria e meio ambiente, engendrando uma mudança paradigmática fundamental na organização dessas relações (Sagar & Frosch, 1997; Gibbs & Deutz, 2007);

– A indústria é descrita em termos de distribuição de fluxos de matéria e energia. É nesse sentido que a EI procura entender o metabolismo industrial, isto é, o conjunto de entradas e saídas de matéria e energia presentes na indústria, desde a extração desses recursos da natureza até sua reintegração ao ambiente abiótico (Lifset & Graedel, 2002; Veiga & Magrini, 2009);

– Ao apontar as inconsistências do modelo tradicional de crescimento econômico com as leis que regem os ciclos biogeoquímicos, o objetivo fundamental da EI é reestruturar a indústria em um padrão compatível com as funções dos ecossistemas naturais. Para tanto, os vínculos materiais e energéticos dentro da sociedade industrial precisam ser identificados, entendidos e modificados de modo a minimizar a extração de recursos dos estoques naturais e evitar o desperdício (Ehrenfeld, 1997). Essa estratégia implica no fechamento dos ciclos materiais;

– A EI sugere uma ampla reconceituação dos resíduos como a chave para o fechamento dos ciclos materiais: os subprodutos da atividade de transformação devem ser concebidos como

recursos potenciais para o ciclo produtivo subsequente. Nesse sentido, é necessário identificar novos usos e técnicas inovadoras para a utilização de resíduos materiais (Tibbs, 1992);

– A EI suporta a concepção de que medidas ambientais tomadas em cooperação com diversas empresas têm benefícios maiores do que aquelas tomadas de forma individual, oferecendo estratégias para se buscar uma maior eficiência por meio de sistemas produtivos integrados, onde as firmas compartilham serviços, transporte e infraestrutura. O conceito adiciona valor às unidades produtivas a partir da otimização do uso de energia, matéria e recursos da comunidade (Heeres et al., 2004; Geng et al., 2009).

Em síntese, a EI é o campo de investigação que objetiva harmonizar o volume de transumo – fluxo físico entrópico de matéria e energia proveniente de fontes naturais que passa pela economia humana e regressa à biosfera – requerido por determinada indústria ou sistema econômico à capacidade de suporte e resiliência dos ecossistemas naturais. Muitos dos trabalhos que se utilizam da EI tendem em direção ao aspecto normativo, examinando o que poderia ser feito em circunstâncias industriais particulares. Por essa razão, Gibbs e Deutz (2007) denotam a existência dual dessa abordagem: ela compreende tanto uma teoria acadêmica (análise descritiva dos fluxos de matéria e energia presentes nos sistemas industriais) quanto uma ferramenta política (abordagem prescritiva oferecendo soluções concretas e medidas práticas para *policy makers* e gestores de negócios).

Erkman (1997) cita duas direções principais da evolução da EI no campo prescritivo. De um lado, a desmaterialização e a descarbonização. De outro, a aplicação do conceito ecológico de teias alimentares na criação ou modernização de zonas industriais onde os resíduos de uma empresa são utilizados como insumos por outra – o que a literatura convencionou chamar de Ecossistemas Industriais. No tocante a esta última direção, a publicação do trabalho seminal de Frosch e Gallopoulos, em 1989, induziu o crescente interesse da comunidade científica para o assunto. Veiga e Magrini (2009) indicam que, nos anos recentes, a atenção com relação aos Ecossistemas Industriais tem aumentado também entre os governos e indústrias em muitos países.

Não há uma definição bem delimitada para o termo Ecossistema Industrial. O mesmo encontra-se em evolução e vários estudiosos procuram entender o fenômeno para, assim, caracterizá-lo. Frosch e Gallopoulos (1989) pioneiramente utilizaram essa expressão para descrever determinado tipo de arranjo produtivo no qual os efluentes de um processo servem de insumos para outro. A preocupação fundamental não recai sobre a quantidade absoluta de rejeitos que são gerados na atividade industrial, mas sim nas potencialidades de conversão dos

mesmos em insumos úteis. Por isso, Tibbs (1992) sugere uma ampla reconceituação dos resíduos como a chave para a criação de Ecosystemas Industriais.

Para Gertler (1995), o Ecosystema Industrial consiste de uma comunidade de empresas localizadas em uma determinada região que interagem trocando e utilizando resíduos materiais e energéticos. Sarkis e Rasheed (1995) escrevem que esse modelo de cooperação minimiza a degradação ambiental. Nesse sentido, é lícito considerar os Ecosystemas Industriais como a manifestação da aplicação dos princípios da EI no nível interfirma.

No que tange ao fluxo de matéria, a perspectiva dos Ecosystemas Industriais advoga a manutenção da capacidade sistêmica de reprodução dos recursos naturais e de assimilação de resíduos, o que poderia ser alcançado por meio da reciclagem. Em relação à produção e ao consumo de energia, esta corrente aponta a necessidade de se reduzir o uso de combustíveis fósseis e de outras energias não renováveis. Esse objetivo poderia ser alcançado por meio da utilização eficiente de energias renováveis em diferentes níveis de qualidade (energia em cascata). Um exemplo é o reaproveitamento do calor residual gerado pela produção de eletricidade para atender a demanda por calor na indústria ou para o aquecimento de residências (Korhonen et al., 2001).

Tanto a reciclagem da matéria quanto a ideia de energia em cascata fornecem a base para se pensar as formas de conectar diferentes processos geradores de resíduos, plantas e indústrias em uma rede operacional que minimiza a quantidade total de matéria e energia que é eliminada em vazadouros ou que é perdida em processos intermediários. Essa rede de trocas é o que se convencionou chamar de simbiose industrial, em analogia às relações mutuamente benéficas encontradas na natureza (Lifset & Graedel, 2002). De acordo com Gibbs e Deutz (2007), o conceito chave da abordagem dos Ecosystemas Industriais é a visão dos processos industriais como sistemas interativos ao invés de componentes isolados. Ao fomentar a cooperação entre as firmas, tal enfoque diferencia-se de outras iniciativas que incidem sobre a unidade produtiva individual. Cooperando umas com as outras, as empresas poderiam melhorar seu desempenho econômico e ambiental.

De acordo com Gibbs e Deutz (2007), as oportunidades para a aplicação dos princípios de Ecosystema Industrial são mais evidentes ao nível dos distritos ou parques industriais, já que a aglomeração de firmas que podem usar ou reprocessar os resíduos de outras unidades produtivas na mesma localidade é fundamental para o sucesso dessa estratégia. Ademais, a proximidade geográfica possibilita a utilização conjunta de instalações e serviços (transporte de bens e pessoas, tratamento de efluentes) e o acesso compartilhado a fornecedores, distribuidores, mercados e sistemas de apoio, ao mesmo tempo em que facilita a comunicação

e o intercâmbio de informação, resultando em parcerias mais seguras (Carr, 1998; Tudor et al., 2007).

Roberts (2004) escreve que a proximidade geográfica gera externalidades positivas e economias de escala, reduzindo os custos operacionais para as empresas que compartilham infraestrutura e serviços. Além disso, de acordo com o autor, ela incentiva a inovação e o compartilhamento de conhecimento entre as organizações, levando a oportunidades para o desenvolvimento de novas indústrias capazes de utilizar resíduos e subprodutos.

É importante advertir que a opção teórica pelos parques/distritos industriais não impede a análise e aplicação dos princípios de Ecosistema Industrial em níveis sistêmicos ou geográficos mais amplos. Nessa direção, Sterr e Ott (2004) salientam que a região industrial parece constituir um campo promissor para a criação e manutenção de projetos eco-industriais, dada a maior variedade de atores.

Embora os ganhos econômicos e ambientais – possibilitados pela maior eficiência material e energética – sejam mais visíveis no âmbito das estratégias de Ecosistemas Industriais, estas últimas também promovem benefícios sociais, aprimorando a qualidade de vida da população. Neste ínterim, Deutz e Gibbs (2004) consideram o uso potencial dos ecossistemas industriais como um meio de promoção sustentável dos recursos locais (naturais e humanos). Para esses autores, a gestão dos fluxos locais de matéria e energia incentiva novos negócios, criando empregos de maior qualidade em plantas industriais mais limpas e, por conseguinte, uma base econômica mais ampla e diversificada na localidade ou região. As iniciativas de desenvolvimento eco-industrial são vistas não apenas como um meio de elevar a eco-eficiência das firmas participantes, mas também como a base para um novo modelo de desenvolvimento local/regional.

3. O processo da pesquisa

A bibliometria compreende o exame dos aspectos quantitativos da produção, disseminação e uso da informação registrada, contendo medidas e modelos matemáticos que auxiliam os exercícios de prospecção e tomada de decisão. Publicações, autores, palavras-chave, usuários, citações e títulos de periódicos são alguns parâmetros da investigação bibliométrica. O tratamento estatístico desses indicadores permite identificar a dinâmica da produção científica em domínios específicos, contribuindo para a discussão do papel da pesquisa em cada área temática (Tague-Sutcliffe, 1992; Araújo, 2006; Guedes, 2012).

O desenvolvimento da bibliometria como disciplina fundamenta-se na busca de comportamentos estatisticamente regulares nos diferentes elementos relacionados com a

produção e o consumo da informação científica. As explicações globais dos fenômenos observados são obtidas mediante um conjunto de leis e princípios empíricos. Neste particular, três pesquisadores se destacaram por suas importantes descobertas: Lotka, Bradford e Zipf. Cada um deles é associado a uma lei específica: a Lei de Lotka trata da produtividade dos cientistas; a Lei de Bradford aborda a incidência de um assunto sobre periódicos; e a Lei de Zipf relaciona-se com a distribuição e frequência de palavras nos textos (Vanti, 2002; Guedes, 2012).

Uma vez que este trabalho procurou delinear os padrões e as tendências da produção científica mundial sobre os Ecosistemas Industriais, as técnicas bibliométricas revelaram-se satisfatórias para a sua consecução. A primeira fase da pesquisa consistiu na identificação dos artigos científicos publicados em revistas com difusão internacional. Para tanto, foram estabelecidas as seguintes expressões de busca para consulta aos bancos de dados: *industrial ecosystem*, *eco-industrial park*, *eco-industrial system* e *eco-industrial cluster*. O procedimento utilizado para a definição de tais palavras-chave foi uma pesquisa exploratória em uma amostra de artigos com reconhecimento científico. Estes mesmos artigos serviram de referência para a revisão teórica apresentada na seção 2. Nas fases posteriores da investigação, verificou-se que os termos definidos, de fato, discriminaram os trabalhos referentes à área temática considerada.

Para a definição das bases de dados alinhadas com a área de conhecimento referida, procedeu-se a uma busca preliminar com as palavras-chave no Portal de Periódicos da CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (07 de fevereiro de 2016). Como resultado, verificou-se que 17 bases internacionais indexavam periódicos com publicações sobre os Ecosistemas Industriais. Tendo em conta o recorte desta pesquisa e que parte considerável dos periódicos eram indexados em mais de uma base, optou-se por circunscrever a coleta de artigos científicos as três bases que apresentavam maior cobertura do tema, a saber: *ScienceDirect*, *Gale Academic OneFile* e *Wiley Online Library*.

O processo de busca nas três bases selecionadas possibilitou a construção de um banco de artigos bruto, totalizando 420 trabalhos. Os aspectos considerados na filtragem dessa coleção foram: (i) a presença de artigos redundantes; (ii) o alinhamento dos títulos com o tema; e (iii) o alinhamento dos resumos com o tema. Como resultado, obteve-se um montante de 325 trabalhos, os quais compreendem o portfólio bibliográfico final deste estudo. Esse portfólio cobre um período de 26 anos (1989-2015), abrangendo as publicações pioneiras acerca dos Ecosistemas Industriais e a produção científica subsequente que fundamentou o novo programa de pesquisa.

Cumprir mencionar que o presente trabalho é fruto de uma dissertação de mestrado desenvolvida em 2014 e atualizada em fevereiro de 2016 para contemplar os textos publicados até 2015. Considerando que o seu objetivo é caracterizar o ambiente de emergência do campo de estudos centrado nos Ecossistemas Industriais, entende-se que restringir a análise ao intervalo de 1989 a 2015 possibilita uma demarcação mais nítida desse movimento.

Na segunda fase da pesquisa, realizou-se o exame bibliométrico dos textos catalogados com o objetivo de quantificar suas informações bibliográficas. As variáveis consideradas foram: frequência de publicações por ano, por periódico e por autor; procedência geográfica e institucional dos pesquisadores; palavras-chave; e quantidade de citações recebidas pelos textos.

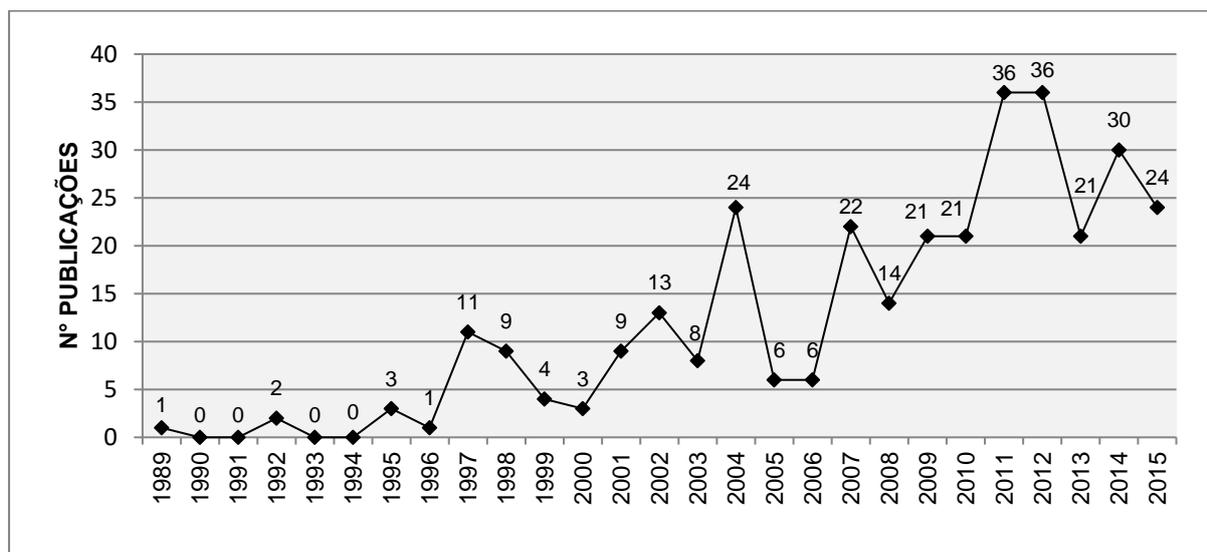
Aplicou-se a bibliometria em dois níveis, um mais intuitivo e outro mais sofisticado. O emprego de técnicas bibliométricas mais intuitivas (análises de distribuição, frequência *ranking*) permitiu caracterizar o ambiente de emergência da agenda de pesquisa na esfera mundial, fornecendo perspectivas sobre o estado da arte dos Ecossistemas Industriais nesse âmbito. Os métodos bibliométricos mais sofisticados (leis de Lotka e Bradford) foram utilizados para mensurar a produtividade de autores e periódicos. Por fim, a análise de citações foi usada para ponderar o reconhecimento científico das publicações. A terceira e última fase da pesquisa envolveu a organização, sistematização e análise dos resultados obtidos com o estudo bibliométrico. Tais resultados são apresentados na seção 4.

4. Padrões e tendências da produção científica mundial sobre os Ecossistemas Industriais

Os resultados das análises bibliométricas foram organizados em três blocos: ambiente de emergência e constituição das agendas de pesquisa, aplicação das leis bibliométricas e reconhecimento científico dos trabalhos. Os indicadores analisados são classificados como de uma dimensão, já que não se buscou estabelecer ligações ou elos entre estudiosos, organizações e sistemas científicos e tecnológicos dos países.

4.1 Ambiente de emergência e constituição das agendas de pesquisa

O Gráfico 1 apresenta a distribuição temporal do conjunto de artigos. O período de publicação dos textos abrange 27 anos, compreendendo o ano de 1989, quando foi encontrado o primeiro trabalho sobre o tema, até o final de 2015. Considerando que o ponto de partida do portfólio bibliográfico foi o texto de Frosch e Gallopoulos de 1989, é razoável supor que a coleção de artigos conseguiu abranger o período de emergência e constituição da abordagem dos Ecossistemas Industriais.

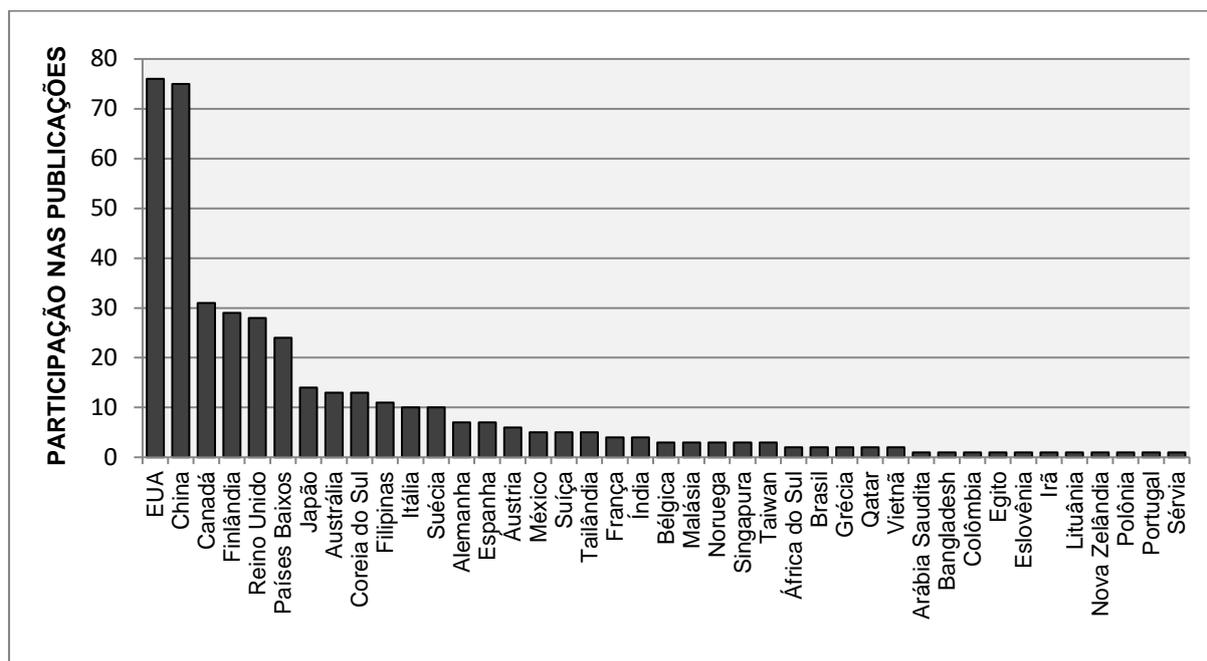
Gráfico 1 – Distribuição temporal das publicações sobre os Ecossistemas Industriais

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da pesquisa.

Não se verifica uma distribuição uniforme da produção científica ao longo do tempo: as publicações são modestas nos primeiros anos da série; há um incremento significativo em 1997, iniciando uma tendência de crescimento da quantidade de textos publicados; o movimento de expansão observado a partir de 1997 é acompanhado por algumas oscilações, com destaque para as quedas mais severas ocorridas em 1999-2000 e 2005-2006.

O hiato ou descontinuidade que marca os anos iniciais da série é um indício do pioneirismo dos textos publicados nesse período. Não obstante a ocorrência de oscilações, observa-se um aumento expressivo do número de publicações a partir de 1997. É provável que esse crescimento seja explicado, em parte, pela difusão dos avanços obtidos com os trabalhos seminais, além do surgimento e consolidação de periódicos especializados no assunto, como é o caso do *Journal of Cleaner Production*, criado em 1993, e do *Journal of Industrial Ecology*, criado em 1997.

A análise da distribuição espacial dos artigos (Gráfico 2) considera as nacionalidades dos institutos que abrigavam os autores no momento da realização de suas pesquisas. Verificase o envolvimento de 41 países, dispersos nos cinco continentes. A maior concentração é observada nos Estados Unidos (EUA), cujas participações totalizaram 76 trabalhos, seguidos por China (75), Canadá (31), Finlândia (29), Reino Unido (28), Países Baixos (24), Japão (14), Austrália (13), Coreia do Sul (13), Filipinas (11), Itália (10) e Suécia (10). Os demais países apresentam participações que variam entre 7 e 1.

Gráfico 2 – Distribuição das publicações sobre os Ecossistemas Industriais por países

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da pesquisa.

Nota: O somatório de participação dos países nas publicações (413) excede a quantidade de artigos publicados (325) porque, em vários casos, a realização da pesquisa envolveu dois ou mais institutos localizados em nações distintas.

Considerando-se a participação relativa dos continentes no volume de publicações, observa-se uma prevalência da Europa (34,62%), seguida por Ásia (33,41%), América (27,84%), Oceania (3,4%) e África (0,73%). É interessante avaliar o envolvimento dessas regiões na produção científica ao longo do tempo. Isso porque a evolução dos estudos sobre os Ecossistemas Industriais pode apresentar tendências intertemporais que se distanciam das características observadas no exame da distribuição geográfica das publicações no período como um todo. Assim, da análise dos dados depreende-se que:

– Os primeiros esforços direcionados ao entendimento da abordagem dos Ecossistemas Industriais foram realizados, sobretudo, por pesquisadores filiados a institutos localizados nos EUA, país que se manteve como um dos principais polos de pesquisa nos anos subsequentes. Isso explica a supremacia da América do Norte na primeira década do surgimento da temática (1989-99). Entretanto, quando se analisa o período como um todo (1989-2015), essa região fica atrás da Europa e da Ásia. Pode-se argumentar que a liderança inicial da América do Norte não implica em uma maior concentração no caso de uma análise temporal integrada porque a primeira fase (1989-99) é marcada por um número de publicações modesto em comparação com os demais subperíodos;

– Com a difusão da agenda de investigação para a Europa em meados dos anos 1990, cresceu a participação relativa dessa região nas publicações até 2004. Ao longo do tempo, novas nações europeias passaram a se envolver com as atividades de pesquisa, evidenciando uma expansão dentro do próprio continente. Esse movimento explica a liderança europeia na primeira metade dos anos 2000 (América permanece atrás da Europa a partir de então). É razoável supor que essa dinâmica também explique a prevalência europeia verificada no caso de uma análise temporal integrada;

– A Ásia inseriu-se nos esforços de pesquisa no começo dos anos 2000. A expansão que se seguiu dentro do próprio continente asiático foi suficiente para garantir a liderança dessa região na última década (2005-15). Nessa trajetória, a China despontou como um dos mais importantes polos de pesquisa;

– América Latina e África se envolveram nas investigações a partir de meados dos anos 2000, mas apresentaram uma participação modesta. Esse é também o caso da Oceania, embora esta última região tenha se envolvido um pouco antes, já em meados da década de 1990;

– O Brasil foi o primeiro país latino-americano a participar das publicações internacionais. Seu envolvimento restringe-se a dois trabalhos publicados, respectivamente, em 2009 e 2012.

A trajetória delineada por esses movimentos corrobora o argumento de emergência da temática “Ecosistema Industrial” nas últimas décadas. Em primeiro lugar, visualiza-se um crescimento significativo dos trabalhos publicados em cada subperíodo, com a expansão da atividade de pesquisa para novos continentes e no interior destes – a dinâmica de expansão é notável no caso da Europa e da Ásia. Segundo, a permanência da agenda de investigação em muitos países é um indício da manutenção do interesse pelo assunto.

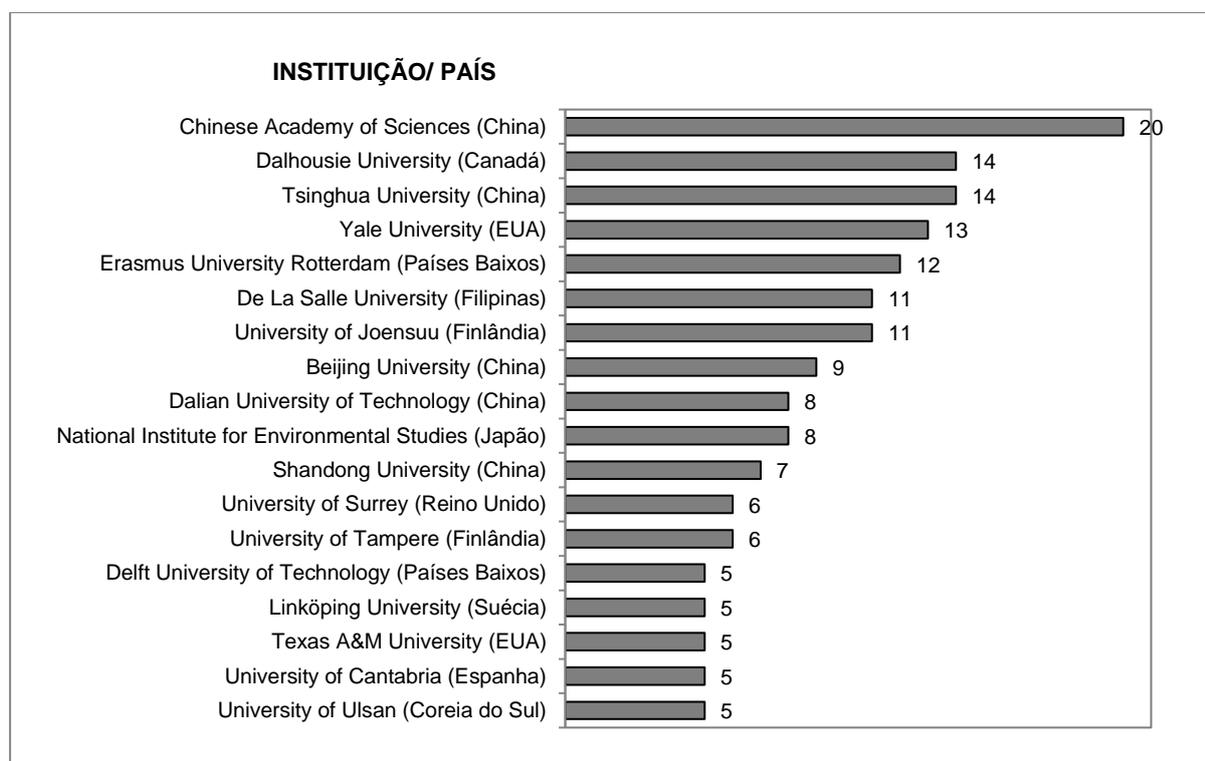
No tocante à distribuição institucional, os esforços de investigação entre 1989 e 2015 contaram com a participação de 252 organizações. A Europa é a região que abriga a maior parcela delas (34,92%), seguida por América (31,35%), Ásia (26,98%), Oceania (5,16%) e África (1,59%). As duas maiores concentrações nacionais são verificadas nos EUA (55) e na China (31) – juntas hospedam 34,12% dos institutos.

Constata-se que 73,01% das entidades pertencem ao setor público, sendo que, dentre estas últimas, há universidades (88,04%), órgãos governamentais (6,52%), laboratórios/centros de P&D (3,80%) e agências da ONU (1,63%). Observando-se as entidades do setor privado (20,63% do total de organizações), estas são constituídas por universidades (67,31%), consultorias (21,15%), laboratórios/centros de P&D (5,77%) e outros tipos de companhias

(5,77%). Por fim, 3,97% das organizações pertencem ao terceiro setor, enquanto que 2,38% não podem ser especificadas em virtude da ausência de informações.

Verifica-se, assim, uma prevalência do setor público nos esforços de investigação. Além disso, as universidades concentram as atividades de pesquisa tanto no âmbito público quanto no privado. As instituições de ensino superior (públicas e privadas) abrangem 78,57% do total de organizações. Uma dinâmica similar é encontrada quando se analisa as instituições com maior participação nas publicações (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Participação de institutos nas publicações sobre os Ecossistemas Industriais



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da pesquisa.

Nota: O critério de exclusão utilizado foi o de participação em pelo menos cinco publicações distintas.

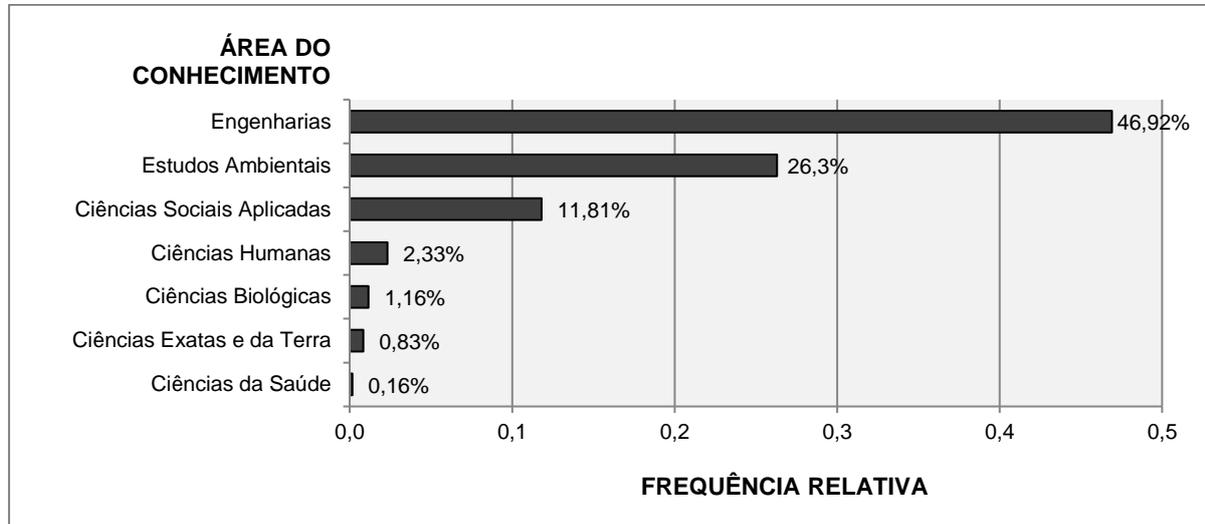
Observa-se que 7,14% dos institutos de pesquisa participam de pelo menos cinco publicações. Dentre estes últimos, 83,33% pertencem ao setor público, enquanto que 16,67% ao setor privado. As instituições de ensino superior (públicas e privadas) totalizam 94,44%. Como centros de ensino e pesquisa por definição, apreende-se a predominância das universidades públicas na constituição da agenda de pesquisa acerca dos Ecossistemas Industriais. Esse resultado pode corroborar o argumento de que a conformação desses arranjos não ocorre de maneira espontânea. Pelo contrário, estratégias eco-industriais exigiriam a

implementação de políticas governamentais, cujo início se dá justamente na pesquisa universitária financiada com recursos públicos.

4.2 Aplicação das leis bibliométricas

As leis de Lotka, Bradford e Zipf foram utilizadas neste estudo para mensurar a produtividade de autores e periódicos, bem como a recorrência de palavras-chave. Antes de descrever a participação dos autores, cabe caracterizá-los. As atividades de pesquisa contaram com a participação de 601 pesquisadores, distribuídos geograficamente do seguinte modo: Ásia (38,60%), Europa (35,44%), América (21,63%), Oceania (3,5%) e África (0,83%). As maiores concentrações nacionais são verificadas na China (152) e nos EUA (93) – juntas abrigam 40,76% dos estudiosos. A formação acadêmica e/ou a atuação profissional dos pesquisadores foi classificada conforme a tabela de áreas do conhecimento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – apenas a rubrica Estudos Ambientais não consta na referida tabela (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Classificação dos pesquisadores envolvidos nas publicações sobre os Ecossistemas Industriais conforme as áreas do conhecimento



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da pesquisa.

Nota: Em razão da ausência de informações biográficas em alguns artigos, 10,48% dos pesquisadores não constam na classificação.

Nota-se o predomínio de estudiosos ligados às Ciências Naturais e às Engenharias (particularmente Engenharia Química) – juntas representam 73,22% da formação dos autores. Isso pode ser resultado do foco de pesquisa nos fluxos físicos de matéria e energia. É lícito destacar que, embora a circulação de recursos seja importante, a abordagem dos Ecossistemas

Industriais deve considerar também a dimensão humana, isto é, os atores envolvidos com esses fluxos. Nesse sentido, apreende-se o papel das Ciências Humanas e Sociais (já respondendo por 14,14% das publicações) para o fortalecimento dessa perspectiva.

Sobre os autores e coautores com maior envolvimento nas publicações (Tabela 1), observa-se que apenas 1,83% participam de pelo menos seis publicações. Os principais expoentes são Jouni Korhonen (18), Raymond P. Côté (13), Yong Geng (13), Tsuyoshi Fujita (10), Anthony Shun Fung Chiu (6), Frank A. Boons (6), Jinping Tian (6), Lujun Chen (6), Marian Chertow (6), Qinghua Zhu (6) e Raymond R. Tan (6). Como esperado, esses estudiosos são filiados às entidades mais envolvidas nas atividades de pesquisa.

Tabela 1 – Produtividade e filiação institucional dos pesquisadores envolvidos nas publicações sobre os Ecossistemas Industriais (1989-2015)

PESQUISADOR	FILIAÇÃO INSTITUCIONAL / PAÍS	PUBLICAÇÕES
KORHONEN, Jouni	University of Joensuu / Finlândia	18
CÔTÉ, Raymond P.	Dalhousie University / Canadá	13
GENG, Yong	Chinese Academy of Sciences / China	13
FUJITA, Tsuyoshi	National Institute for Environmental Studies / Japão	10
BOONS, Frank A.	Erasmus University Rotterdam / Países Baixos	06
CHEN, Lujun	Tsinghua University / China	06
CHERTOW, Marian	Yale University / EUA	06
CHIU, Anthony Shun Fung	De La Salle University / Filipinas	06
TAN, Raymond R.	De La Salle University / Filipinas	06
TIAN, Jinping	Tsinghua University / China	06
ZHU, Qinghua	Dalian University of Technology / China	06

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da pesquisa.

Nota: O critério de exclusão utilizado foi o de participação em pelo menos seis publicações distintas.

O percentual relativamente baixo de pesquisadores envolvidos na publicação de pelo menos seis artigos (1,83%) revela que há uma distribuição da produção científica entre poucos teóricos que publicaram mais e muitos que publicaram menos. Isso significa que a avaliação da produtividade dos autores segue a trajetória prevista pela Lei de Lotka. Essa lei enuncia que, no universo de autores em um campo científico maduro, o elevado número de pesquisadores que publicaram pouco se iguala, em proporção, ao pequeno número de pesquisadores que publicaram muito (Araújo, 2006).

Para o conjunto de artigos científicos, discrimina-se a quantidade de pesquisadores envolvidos na produção de um, dois, três, quatro e “cinco ou mais” artigos (Tabela 2). Observa-se que, ao longo do período examinado (1989-2015), o número de cientistas que escreveram dois trabalhos corresponde a 18,14% da quantidade de cientistas que escreveram apenas um. O

número de cientistas que escreveram três trabalhos corresponde a 6,86% da quantidade de cientistas que escreveram um, e assim sucessivamente.

Tabela 2 – Aplicação da Lei de Lotka nas publicações sobre os Ecossistemas Industriais

Nº DE ARTIGOS CIENTÍFICOS	Nº DE AUTORES	PROPORCIONALIDADE DE AUTORES
01 artigo	452	---
02 artigos	82	18,14%
03 artigos	31	6,86%
04 artigos	19	4,20%
05 artigos ou mais	17	3,76%

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da pesquisa.

Guedes (2012) aponta que a utilidade da Lei de Lotka se verifica no reconhecimento da solidez de uma área científica: quanto mais madura for uma disciplina, maior a probabilidade de seus pesquisadores produzirem múltiplos trabalhos em um dado período. A ocorrência de pesquisadores com múltiplos artigos na análise das publicações sobre Ecossistemas Industriais é evidência da emergência desse campo de investigação, uma vez que essa ocorrência indica a manutenção do interesse pelo assunto ao longo do tempo.

Ao se analisar os veículos de publicação, constata-se que esta ocorre dentro de 79 periódicos. Organizando-os pela quantidade de textos publicados (Tabela 3), é possível aplicar a Lei de Bradford. De acordo com Araújo (2006), Bradford postula que a disposição dos periódicos em ordem decrescente de produtividade sobre um determinado tema possibilita distinguir um núcleo de periódicos mais particularmente devotados ao assunto e vários grupos/zonas – com a mesma quantidade de publicações que o núcleo –, sendo que o número de revistas aumenta em cada zona enquanto que sua produtividade diminui.

Tabela 3 – Produtividade dos periódicos envolvidos nas publicações sobre os Ecossistemas Industriais

ZONAS / PERIÓDICOS	Nº DE PUBLICAÇÕES
NÚCLEO	103
<i>Journal of Cleaner Production</i>	103
ZONA 1	118
<i>Journal of Industrial Ecology</i>	65
<i>Business Strategy and the Environment</i>	13
<i>Resources, Conservation and Recycling</i>	12
<i>Journal of Environmental Management</i>	10
<i>Ecological Economics</i>	06
<i>Energy</i>	06
<i>Energy Procedia</i>	06
ZONA 2	104
<i>Waste Management</i>	05
<i>Energy Policy</i>	04
<i>Minerals Engineering</i>	04
<i>Sustainable Development</i>	04
05 Periódicos	03 publicações cada
10 Periódicos	02 publicações cada
52 Periódicos	01 publicação cada

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da pesquisa.

A Tabela 3 exibe a composição de três grupos (Núcleo, Zona 1 e Zona 2), cada um contendo aproximadamente um terço do volume total de publicações. Esses grupos são também conhecidos como zonas de Bradford. O primeiro grupo (Núcleo) contém apenas um periódico altamente produtivo, o *Journal of Cleaner Production* (103 trabalhos). Isso equivale a dizer que 1,26% das revistas foram responsáveis pela publicação de 31,69% dos artigos. O segundo grupo (Zona 1) contém uma quantidade maior de periódicos menos produtivos, onde sete revistas (8,86%) publicaram 118 textos (36,3%). Finalmente, o terceiro grupo (Zona 2) inclui mais revistas ainda, 71 no total, embora com uma produtividade menor; esses 71 periódicos (89,87%) publicaram 104 artigos (32%).

Verifica-se um conjunto menor de periódicos relacionados de maneira próxima ao assunto, com destaque para o *Journal of Cleaner Production* e o *Journal of Industrial Ecology*. De fato, esses dois periódicos constituem os principais veículos de disseminação do conhecimento construído sobre os Ecossistemas Industriais, contribuindo para o avanço e amadurecimento desses estudos. Segundo Guedes (2012), a existência de um núcleo de revistas altamente produtivas e especializadas na publicação de temas específicos constitui uma forte evidência de maturidade do referido campo de pesquisa. Nesse sentido, a aplicação da Lei de Bradford também sustenta a hipótese de emergência da agenda de pesquisa relativa aos Ecossistemas Industriais.

A Lei de Zipf foi formulada em 1949 para medir a frequência do aparecimento de palavras em textos longos, gerando uma lista ordenada de termos de uma determinada disciplina ou assunto. Ao analisar a obra “Ulisses” de Jayme Joyce, Zipf encontrou uma correlação entre a quantidade de vezes que um termo aparecia no livro e sua posição na lista de palavras ordenadas segundo sua frequência de ocorrência e concluiu que existia uma regularidade na seleção e uso das palavras (Vanti, 2002; Araújo, 2006). A fim de identificar as expressões de alto conteúdo semântico nos trabalhos catalogados, efetuou-se uma análise das palavras-chave constantes nos mesmos.

O exame das palavras-chave revela a incidência de 572 expressões diferentes. Conforme a Tabela 4, 14 delas ocorrem em pelo menos 11 textos, enquanto que 558 apresentam ocorrências iguais ou inferiores a 10. Os termos mais recorrentes são: *Industrial Ecology* (124), *eco-industrial parks* (98), *industrial symbiosis* (86), *industrial ecosystems* (40), *energy* (25), *sustainable development* (23), *China* (18), *recycling* (16), *sustainability* (15), *by-product* (14), *circular economy* (13), *cleaner production* (12), *eco-industrial development* (12) e *material flow* (11).

Tabela 4 – Palavras-chave utilizadas nas publicações sobre os Ecosistemas Industriais

RANKING	PALAVRA-CHAVE	TOTAL DE OCORRÊNCIAS
01	Industrial Ecology	124
02	Eco-industrial parks	98
03	Industrial symbiosis	86
04	Industrial ecosystems	40
05	Energy	25
06	Sustainable development	23
07	China	18
08	Recycling	16
09	Sustainability	15
10	By-product	14
11	Circular economy	13
12	Cleaner production	12
12	Eco-industrial development	12
13	Material flow	11
---	558 Palavras-chave	Igual ou menor que 10

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da pesquisa.

É lícito considerar que a incidência das expressões *Industrial Ecology*, *sustainable development* e *sustainability* seja explicada pelo fato de os Ecosistemas Industriais comporem o enfoque prescritivo da EI. A recorrência dos termos *eco-industrial parks*, *industrial ecosystems* e *eco-industrial development* decorre das denominações imputadas aos Ecosistemas Industriais e encontradas na literatura sobre o tema. Tal inferência corrobora

inclusive a escolha desses termos, na etapa de construção do portfólio bibliográfico, para a busca dos trabalhos nas bases consultadas.

A ocorrência das expressões *energy*, *recycling*, *cleaner production*, *material flow*, *circular economy*, *industrial symbiosis* e *by-product* não implica um mecanismo conceitual *per se*, isto é, tais termos não explicam por si só a formulação dos discursos concernentes aos Ecossistemas Industriais. Pelo contrário, essas palavras geralmente adquirem significado quando situadas no arcabouço teórico mais amplo da temática, afinal comportam conceitos correlatos que sustentam o seu argumento central. Por fim, a incidência da palavra-chave “China” resulta do despontamento atual deste país nos esforços de investigação, e não porque constitui um termo específico da área.

4.3 Reconhecimento científico dos trabalhos

A verificação do reconhecimento científico dos artigos consistiu na determinação da quantidade de citações recebida por cada um deles. Para tanto, utilizou-se o *Scholar Google*. A Tabela 5 lista os dez trabalhos mais referenciados.

Tabela 5 – Publicações sobre os Ecossistemas Industriais com maior reconhecimento científico

AUTOR(ES)	TÍTULO	PERIÓDICO	ANO	CITAÇÕES
FROSC, R. A.; GALLOPOULOS, N. E.	<i>Strategies for manufacturing</i>	<i>Scientific American</i>	1989	2052
EHRENFELD, J. R.; GERTLER, N.	<i>Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg</i>	<i>J. of Industrial Ecology</i>	1997	874
CHERTOW, M. R.	<i>"Uncovering" industrial symbiosis</i>	<i>J. of Industrial Ecology</i>	2007	812
ERKMAN, S.	<i>Industrial ecology: an historical view</i>	<i>J. of Cleaner Production</i>	1997	811
CÔTÉ, R. P.; COHEN-ROSENTHAL, E.	<i>Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences</i>	<i>J. of Cleaner Production</i>	1998	520
HEERES, R. R.; VERMEULEN, W. J. V.; WALLE, F. B.	<i>Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons</i>	<i>J. of Cleaner Production</i>	2004	430
LOWE, E. A.	<i>Creating by-product resource exchanges: strategies for eco-industrial parks</i>	<i>J. of Cleaner Production</i>	1997	401
TIBBS, H.	<i>Industrial Ecology. An agenda for environmental management</i>	<i>Pollution Prev. Review</i>	1992	398
JELINSKI, L.; GRAEDEL, T.; LAUDISE, R.; MCCALL, D.; PATEL, C. K. N.	<i>Industrial ecology: concepts and approaches</i>	<i>Proc. National Academy of Sci. of the USA</i>	1992	387
ZHU, Q.; CÔTÉ, R. P.	<i>Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group</i>	<i>J. of Cleaner Production</i>	2004	381

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da pesquisa.

Nota: A contabilização das citações considera as menções recebidas por cada texto até 19 de fevereiro de 2019.

As principais reflexões acerca do reconhecimento científico dos trabalhos são:

– Os trabalhos seminais de Frosch e Gallopoulos (1989), Jelinski et al. (1992) e Tibbs (1992) estão entre os nove textos mais referenciados na literatura. Tal reconhecimento deriva do próprio pioneirismo desses artigos;

– O volume de citações recebido pelo trabalho de Ehrenfeld e Gertler (1997) é evidência da utilização do distrito industrial de Kalundborg, na Dinamarca, como exemplo clássico de Ecossistema Industrial. Outro caso muito usado para fins de ilustração é o Guitang *Sugarcane Eco-Industrial Project* na China, examinado inicialmente por Zhu e Côté (2004);

– No conjunto de pesquisadores mais produtivos (ver Tabela 1), três deles encontram-se associados à produção dos textos com maior reconhecimento científico: Marian Chertow, Qinghua Zhu e Raymond P. Côté;

– O *Journal of Cleaner Production* foi responsável pela publicação de 50% dos artigos listados na Tabela 5. Isso revela a importância desse periódico para a disseminação do conhecimento construído sobre os Ecossistemas Industriais.

5. Considerações finais

Com base no estudo bibliométrico das publicações catalogadas neste trabalho, apreendeu-se os principais movimentos da disseminação do conhecimento construído acerca dos Ecossistemas Industriais entre 1989 e 2015. Tais movimentos compreendem indícios significativos de que a comunidade científica tem se voltado cada vez mais para a pesquisa e divulgação desse enfoque, fomentando o aumento da quantidade de publicações internacionais dedicadas ao assunto. Em suma, os resultados auferidos sustentam a ideia de que os Ecossistemas Industriais emergiram nos anos recentes como uma das abordagens mais influentes nas discussões acerca da reestruturação da indústria em padrão compatível com a noção de sustentabilidade ambiental. Contudo, essa trajetória de expansão é marcada por diferenças que denotam regularidades geográficas.

Existem países que apresentam uma participação numérica considerável nos esforços de investigação, como é o caso de algumas nações europeias, da América do Norte, da China e do Japão. Em contraste, há também países que se envolveram tardiamente nessas atividades e, até então, não alcançaram expressividade na produção científica internacional. O Brasil se insere nesta última situação: ele foi o primeiro país latino-americano a participar das publicações mundiais; entretanto, seu envolvimento foi reduzido, restringindo-se a dois trabalhos.

É possível afirmar que o fraco desempenho da ciência brasileira neste campo se deve a uma cultura de abundância que não incentiva o aproveitamento de resíduos ou mesmo a simbiose industrial? De forma quase análoga, o caso europeu também parece imprimir as suas especificidades: o fato de tratar-se de um continente com recursos naturais limitados pode ter instigado o avanço mais intenso de pesquisas em soluções como as permitidas pelos Ecossistemas Industriais? Em termos gerais, as estiagens, escassez de água, aumento da temperatura global, entre outros fenômenos atuais que indicam o esgotamento dos serviços ecossistêmicos tendem a estimular pesquisas na área? Os questionamentos ora levantados abrem a possibilidade de novos exercícios de investigação, demonstrando a relevância do exame bibliométrico realizado neste trabalho.

Referências

- Araújo, C. A. (2006). Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. *Em Questão*, 12(1), 11-32.
- Carr, A. J. P. (1998). Choctaw eco-industrial park: an ecological approach to industrial land-use planning and design. *Landscape and Urban Planning*, 42(2), 239-257.
- Chertow, M. R. (2007). "Uncovering" industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 11-30.
- Chew, I. M. L., Tan, R. R., Foo, D. C. Y., & Chiu, A. S. F. (2009). Game theory approach to the analysis of inter-plant water integration in an eco-industrial park. *Journal of Cleaner Production*, 17(18), 1611-1619.
- Côté, R. P., & Cohen-Rosenthal, E. (1998). Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences. *Journal of Cleaner Production*, 6(3), 181-188.
- Deutz, P., & Gibbs, D. (2004). Eco-industrial development and economic development: industrial ecology or place promotion? *Business Strategy and the Environment*, 13(5), 347-362.
- Ehrenfeld, J. R. (1997). Industrial ecology: a framework for product and process design. *Journal of Cleaner Production*, 5(1), 87-95.
- Ehrenfeld, J. R., & Gertler, N. (1997). Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg. *Journal of Industrial Ecology*, 1(1), 67-79.
- Erkman, S. (1997). Industrial ecology: an historical view. *Journal of Cleaner Production*, 5(1), 1-10.
- Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 189(3), 144-152.
- Geng, Y., Zhu, Q., Doberstein, B., & Fujita, B. (2009). Implementing China's circular economy concept at the regional level: A review of progress in Dalian, China. *Waste Management*, 29(2), 996-1002.
- Gertler, N. (1995). *Industrial ecosystems: developing sustainable industrial structures*. Thesis (Master of Science in Technology and Policy and Master of Science in Civil and Environmental Engineering) – Technology and Policy Program and the Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Gibbs, D., & Deutz, P. (2007). Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development. *Journal of Cleaner Production*, 15(17), 1683-1695.
- Guedes, V. L. S. (2012). A bibliometria e a gestão da informação e do conhecimento científico e tecnológico: uma revisão da literatura. *Ponto de Acesso*, 6(2), 74-109.
- Harper, E. M., & Graedel, T. E. (2004). Industrial ecology: a teenager's progress. *Technology in Society*, 26(2), 433-445.
- Heeres, R. R., Vermeulen, W. J. V., & Walle, F. B. (2004). Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons. *Journal of Cleaner Production*, 12(8), 985-995.
- Jelinski, L. W., Graedel, T. E., Laudise, R. A., McCall, D. W., & Patel, C. K. (1992). Industrial ecology: concepts and approaches. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89(3), 793-797.

- Korhonen, J., Wihersaari, M., & Savolainen, I. (2001). Industrial ecosystem in the Finnish forest industry: using the material and energy flow model of a forest ecosystem in a forest industry system. *Ecological Economics*, 39(1), 145-161.
- Lifset, R., & Graedel, T. E. (2002). Industrial Ecology: goals and definitions. In Ayres, R. U., & Ayres, L. W. (eds). *A Handbook of Industrial Ecology*. Reino Unido. Edward Elgar Publishing, 3-15.
- Lowe, E. A. (1997). Creating by-product resource exchanges: strategies for eco-industrial parks. *Journal of Cleaner Production*, 5(1), 57-65.
- O'Rourke, D., Connelly, L., & Koshland, C. (1996). Industrial Ecology: a critical review. *International Journal of Environment and Pollution*, 6(2), 89-112.
- Roberts, B. H. (2004). The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study. *Journal of Cleaner Production*, 12(8), 997-1010.
- Sachs, I. (2000). Sociedade, cultura e meio ambiente. *Mundo & Vida*, 2(1), 7-13.
- Sagar, A. D., & Frosch, R. A. (1997). A perspective on industrial ecology and its application to a metals-industry ecosystem. *Journal of Cleaner Production*, 5(1), 39-45.
- Sarkis, J., & Rasheed, A. (1995). Greening the manufacturing function. *Business Horizons*, 38(5), 17-27.
- Sterr, T., & Ott, T. (2004). The industrial region as a promising unit for eco-industrial development – Reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology. *Journal of Cleaner Production*, 12(8), 947-965.
- Tague-Sutcliffe, J. (1992). An Introduction to Informetrics. *Information Processing & Management*, 28(1), 1-3.
- Tibbs, H. B. (1992). Industrial Ecology – An agenda for environmental management. *Pollution Prevention Review*, 2(2), 167-180.
- Tudor, T., Adam, E., & Bates, M. (2007). Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): a literature review. *Ecological Economics*, 61(2), 199-207.
- Vanti, N. A. P. (2002). Da bibliometria à webmetria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. *Ciência da Informação*, 31(2), 152-162.
- Veiga, L. B. E., & Magrini, A. (2009). Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 17(7), 653-661.
- Zhu, Q., & Côté, R. P. (2004). Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group. *Journal of Cleaner Production*, 12(8), 1025-1035.