

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

FELIPE NOGUEIRA DA CRUZ

**ECOSSISTEMAS INDUSTRIALIS:
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA MUNDIAL E BRASILEIRA
SOBRE O TEMA**

**UBERLÂNDIA
2015**

FELIPE NOGUEIRA DA CRUZ

**ECOSSISTEMAS INDUSTRIALIS:
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA MUNDIAL E BRASILEIRA
SOBRE O TEMA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Economia.

Área de Concentração: Desenvolvimento Econômico

Orientador: Prof. Dr. Daniel Caixeta Andrade

Coorientadora: Profª. Dra. Debora Nayar Hoff

**UBERLÂNDIA
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

C957e
2015

Cruz, Felipe Nogueira da, 1990-
Ecossistemas industriais: análise bibliométrica da publicação
científica mundial e brasileira sobre o tema / Felipe Nogueira da Cruz. -
2015.
154 f. : il.

Orientador: Daniel Caixeta Andrade.

Coorientadora: Debora Navar Hoff.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Economia.

Inclui bibliografia.

1. Economia - Teses. 2. Ecologia industrial - Teses. 3. Ecossistemas
- Administração - Teses. 4. Ecossistema - Bibliometria - Teses. I.
Andrade, Daniel Caixeta, 1981-. II. Hoff, Debora Navar. III.
Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em
Economia. III. Título.

CDU: 330

FELIPE NOGUEIRA DA CRUZ

**ECOSSISTEMAS INDUSTRIALIS:
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA MUNDIAL E BRASILEIRA
SOBRE O TEMA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Economia.

Área de Concentração: Desenvolvimento Econômico

Uberlândia, 02 de fevereiro de 2015.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Daniel Caixeta Andrade – IE/UFU

Prof. Dr. Carlos Cesar Santejo Saiani – IE/UFU

Prof^a. Dra. Debora Nayar Hoff – UNIPAMPA

Os serviços ociosos abrangem desde os derivados de recursos que poderiam tornar-se subprodutos, mas que são de fato tratados como resíduos e, como tais, jogados fora ou praticamente doados (pelo fato de a firma não poder organizar a exploração lucrativa deles, nem ter condições para vendê-los) [...] Os subprodutos e alguns tipos de potenciais produtos derivados têm de fato proporcionado uma base importante para a expansão de algumas firmas, depois que as energias de suas administrações puderam ser liberadas da tarefa de expandir suas linhas principais.

PENROSE, Edith. **A teoria do crescimento da firma.** Campinas: Unicamp, 2006, p. 124-25.

RESUMO

Diante do reconhecimento das crises ambientais vividas pela humanidade e da interdependência entre estas e a trajetória insustentável das atividades econômicas, diversos atores têm pontuado a necessidade de modificações nas estruturas produtivas para o estabelecimento de iniciativas de desenvolvimento favoráveis à conservação dos serviços ecossistêmicos. Nesse particular, a corrente conhecida como Ecologia Industrial advoga a reestruturação da indústria em um modelo de fluxos materiais e energéticos cílicos, isto é, sob o formato de um ecossistema industrial. Ao elevar o desempenho econômico dos negócios e atenuar os problemas de desperdício e poluição por meio de trocas simbióticas entre as empresas, os ecossistemas industriais constituem uma estratégia de promoção do desenvolvimento sustentável no nível interfirma. Esta dissertação surge do seguinte problema: quais são os padrões e as tendências da divulgação do conhecimento científico construído acerca dos ecossistemas industriais? Logo, o objetivo geral do trabalho é caracterizar, com base nas técnicas bibliométricas, a publicação mundial e brasileira sobre o tema. Trata-se, portanto, de uma pesquisa descritiva, que se utiliza majoritariamente de métodos quantitativos. A metodologia de composição do portfólio bibliográfico abrangeu procedimentos sequenciais que se iniciaram com a definição dos mecanismos de busca por trabalhos em bases de dados específicas, seguindo pela filtragem das publicações coletadas. Os dados primários para a consecução da análise foram obtidos a partir da extração de elementos bibliográficos dos textos catalogados. Os resultados, de certo modo, corroboram as hipóteses adotadas, denotando que: *i*) de fato, a comunidade científica despertou a sua atenção para as soluções permitidas pelos ecossistemas industriais, verificando-se um aumento da quantidade de trabalhos publicados a partir de meados da década de 1990; e *ii*) apesar da emergência dos ecossistemas industriais como uma das perspectivas mais influentes na interlocução entre indústria e meio ambiente em diversos campos disciplinares, a Economia ainda se mantém reticente à inserção dessas discussões no seu corpo teórico.

Palavras-chave: Ecossistemas Industriais, Ecologia Industrial, 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, i.e., in the form of an industrial ecosystem. Industrial ecosystem raises the economic performance of the business and mitigates waste and pollution problems through symbiotic exchanges between companies; indeed, it constitutes a strategy to promote sustainable development in the interfirm level. This work emerges from the following question: What are the patterns and trends of the dissemination of scientific knowledge built on industrial ecosystems? Based on bibliometric techniques, the overall objective of this study is to characterize global and Brazilian publication about industrial ecosystems. It is a descriptive research which uses quantitative methods. The methodology of the bibliographic portfolio composition covered sequential procedures which began with the definition of search tools for papers in specific databases, followed by filtering the collected publications. The primary data for the bibliometric analysis were obtained from the extraction of bibliographic elements of the cataloged texts. The results corroborate the hypotheses adopted, showing that: *i*) in fact, the scientific community aroused his attention to the solutions provided by industrial ecosystems; there was an increase in the number of papers published since the mid-1990s; and *ii*) despite the emergence of industrial ecosystems as one of the most influential perspectives in the dialogue between industry and environment in various disciplines, economics still remains reticent to insert these discussions in its theoretical body.

Key-words: Industrial Ecosystems, Industrial Ecology, Bibliometrics.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definições de Ecologia Industrial	12
Quadro 2 – Enfoques descritivo e prescritivo da Ecologia Industrial	15
Quadro 3 – Definições de ecossistema industrial.....	19
Quadro 4 – Benefícios obtidos com a implantação de ecossistemas industriais	27
Quadro 5 – Analogias ecológicas da EI e da abordagem dos ecossistemas industriais.....	30
Quadro 6 – Experiências de ecossistemas industriais exploradas pela literatura científica ..	35
Quadro 7 – Características centrais das subáreas da Ciência da Informação	48
Quadro 8 – Leis e princípios bibliométricos, seus focos de estudo e principais aplicações ..	54
Quadro 9 – Aplicação das técnicas bibliométricas e seus resultados em estudos selecionados.....	61
Quadro 10 – Processo de seleção dos artigos científicos publicados em periódicos de circulação internacional	66
Quadro 11 – Variáveis utilizadas no exame bibliométrico das duas amostras de publicações ..	68
Quadro 12 – Síntese dos resultados da pesquisa.....	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Superposição das subáreas da Ciência da Informação.....	47
Figura 2 – Exemplo da aplicação da Lei de Bradford	51
Figura 3 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por países, no subperíodo 1989-1994	77
Figura 4 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por países, no subperíodo 1995-1999	78
Figura 5 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por países, no subperíodo 2000-2004	79
Figura 6 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por países, no subperíodo 2005-2009	80
Figura 7 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por países, no subperíodo 2010-2014	81
Figura 8 – Aplicação da Lei de Bradford na análise das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo da aplicação da Lei de Lotka	50
Tabela 2 – Descrição dos grupos de trabalhos científicos	70
Tabela 3 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por continentes, no período 1989-2014	76
Tabela 4 – Taxa de crescimento das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por subperíodo.....	82
Tabela 5 – Dispersão geográfica dos institutos de pesquisa envolvidos nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014.....	84
Tabela 6 – Dispersão geográfica dos pesquisadores envolvidos nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014.....	89
Tabela 7 – Escolas de investigação sobre o tema “ecossistemas industriais” segundo o número de pesquisadores	90
Tabela 8 – Produtividade e filiação institucional dos pesquisadores envolvidos nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014	93
Tabela 9 – Aplicação da Lei de Lotka na análise das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014	94
Tabela 10 – Produtividade dos periódicos envolvidos nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014	95
Tabela 11 – Palavras-chave utilizadas nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014	98
Tabela 12 – Publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” com maior reconhecimento científico, segundo as citações	100
Tabela 13 – Distribuição das teses e dissertações brasileiras sobre o tema “ecossistemas industriais” por orientadores, no período 2001-2014.....	106

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição temporal das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” no período 1989-2014	72
Gráfico 2 – Avaliação de tendência linear das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” no período 1989-2013	74
Gráfico 3 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por países, no período 1989-2014	75
Gráfico 4 – Participação relativa das regiões nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por subperíodo	82
Gráfico 5 – Composição da natureza das instituições públicas envolvidas nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014	85
Gráfico 6 – Composição da natureza das instituições privadas envolvidas nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014	86
Gráfico 7 – Institutos com maior participação nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014	87
Gráfico 8 – Classificação dos pesquisadores envolvidos nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” em relação às áreas do conhecimento	91
Gráfico 9 – Distribuição temporal das teses e dissertações brasileiras sobre o tema “ecossistemas industriais” defendidas no período 2001-2014	104
Gráfico 10 – Distribuição das teses e dissertações brasileiras sobre o tema “ecossistemas industriais” por nível de pós-graduação, no período 2001-2014	104
Gráfico 11 – Distribuição institucional das teses e dissertações brasileiras sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 2001-2014	105
Gráfico 12 – Distribuição das teses e dissertações brasileiras sobre o tema “ecossistemas industriais” por áreas de concentração, no período 2001-2014	107

SUMÁRIO

<u>INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO 1 - DETERMINANTES E ELEMENTOS CONSTITUINTES DA ABORDAGEM DOS ECOSISTEMAS INDUSTRIALIS</u>	7
1.1 CONCILIANDO INDÚSTRIA E MEIO AMBIENTE: A ECOLOGIA INDUSTRIAL	8
1.2 OS ECOSISTEMAS INDUSTRIALIS	17
1.2.1 METÁFORAS E ANALOGIAS	28
1.2.2 COORDENAÇÃO DE MERCADO VERSUS PLANEJAMENTO PÚBLICO: QUAL O MELHOR CAMINHO PARA A CONFORMAÇÃO DE ECOSISTEMAS INDUSTRIALIS?	33
1.3 CRIAÇÃO DESTRUTIVA OU DESTRUÇÃO CRIADORA?.....	40
<u>CAPÍTULO 2 - O MÉTODO BIBLIOMÉTRICO: ASPECTOS TEÓRICOS E O PROCESSO DA PESQUISA.....</u>	44
2.1 O MÉTODO DE ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA: ASPECTOS TEÓRICOS	44
2.2 EMPREGO DAS TÉCNICAS BIBLIOMÉTRICAS: DISCUSSÃO DAS APLICAÇÕES EM ESTUDOS SELECIONADOS	55
2.3 O PROCESSO DA PESQUISA	63
<u>CAPÍTULO 3 - PADRÕES E TENDÊNCIAS DA PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA CONCERNENTE AO TEMA “ECOSISTEMAS INDUSTRIALIS”</u>	70
3.1 AMBIENTE DE EMERGÊNCIA E CONSTITUIÇÃO DAS AGENDAS DE PESQUISA....	71
3.1.1 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL	72
3.1.2 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL.....	74
3.1.3 DISTRIBUIÇÃO INSTITUCIONAL	84
3.2 APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS BIBLIOMÉTRICAS	88
3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AUTORES E SUA PRODUTIVIDADE.....	89
3.2.2 INCIDÊNCIA DO ASSUNTO SOBRE PERIÓDICOS	95
3.2.3 PALAVRAS-CHAVE	97
3.2.4 RECONHECIMENTO CIENTÍFICO DOS TRABALHOS	99
3.3 A PESQUISA NO BRASIL	102
3.4 RESUMO DOS RESULTADOS.....	108
<u>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</u>	111
<u>REFERÊNCIAS</u>	114

ANEXO A – COLEÇÃO I DE TRABALHOS CIENTÍFICOS (PUBLICAÇÃO MUNDIAL) .. 123

ANEXO B – COLEÇÃO II DE TRABALHOS CIENTÍFICOS (PUBLICAÇÃO BRASILEIRA)

..... 142

INTRODUÇÃO

A história das civilizações é marcada pela apropriação e transformação de ecossistemas relativamente naturais em ecossistemas cada vez mais ocupados e modificados pelo homem. De acordo com Sunkel (2001), os grupamentos humanos constroem um meio ambiente a partir do aperfeiçoamento das técnicas que permitem a extração e o uso dos recursos naturais. Esse movimento ganhou novo ímpeto a partir de meados do século XVIII com a Revolução Industrial. O domínio de novas tecnologias e novos instrumentos de produção tornou as intervenções no meio ambiente ainda mais intensas e amplas.

A Revolução Industrial e seus desdobramentos representaram uma profunda modificação na relação sociedade-natureza. Ao longo do desenvolvimento da indústria, assistiu-se à transformação das unidades de produção artesanal em organizações cada vez mais complexas. A busca por economias de escala promoveu formas de competição interfirma que resultaram em estruturas monopolistas/oligopolistas de mercado¹. Essa concentração produtiva levou, por seu turno, à concentração de resíduos e emissões, negligenciando a incapacidade do meio ambiente de tolerar o volume de rejeitos não biodegradáveis e os componentes tóxicos gerados pelas atividades industriais de larga escala.

O aumento da eficiência na indústria seguiu uma trajetória tecnológica – ou *trajetória natural*, segundo Nelson e Winter (1977) –, na qual os avanços técnicos se deram com base na utilização ilimitada de recursos naturais de baixa entropia e na disposição irrestrita de resíduos no meio ambiente. Estabeleceu-se, assim, um paradigma tecno-produtivo centrado na utilização do capital natural para a geração de bens e serviços comercializáveis, ao mesmo tempo em que se requerem vazadouros para a eliminação dos rejeitos industriais.

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 pelas economias avançadas durante todo o século XX. Os anos gloriosos do pós-Segunda Guerra Mundial contribuíram para a propagação desse ideário. Nesse período, os países industrializados apresentaram altas taxas de crescimento com pleno emprego, consubstanciando o que ficou conhecido como *Estado de Bem-Estar Social*. No entanto, de

¹ Estratégias como diversificação das atividades, formação de redes, fusões e aquisições, bem como a internacionalização, inserem-se no contexto da expansão da empresa para novos mercados (PENROSE, 2006). O resultado é a centralização dos capitais em operações de caráter global.

acordo com Sachs (2000), os custos ecológicos desses avanços foram bastante elevados, uma vez que as externalidades geradas pela indústria colocaram em risco a integridade dos ecossistemas naturais.

Enquanto o sistema industrial apresentava uma dimensão relativamente pequena, seus impactos ambientais eram localizados – ou compreendidos como locais – e as autoridades regulatórias desenvolveram mecanismos para minimizar problemas como a emissão de poluentes nocivos à saúde humana. Entretanto, a expansão contínua da atividade produtiva tem provocado efeitos não intencionais, muitas vezes sistêmicos, que contribuem significativamente para a degradação da natureza. Os exemplos mais destacados por ambientalistas são o aquecimento global e a depleção da camada de ozônio. Dada a escala de produção atual, as emissões não tóxicas, como o dióxido de carbono, tornaram-se uma séria ameaça ao ecossistema global (TIBBS, 1992).

Os acontecimentos ocorridos no início deste novo milênio consolidaram a visão de que a humanidade se depara com importantes desafios. Crises econômicas, sociais e ecológicas interdependentes exigem soluções inovadoras e mecanismos eficazes de intervenção que garantam a reprodução econômica das sociedades em um contexto de limitações ecossistêmicas. Do ponto de vista ambiental, identificam-se problemas relacionados à perda de biodiversidade, mudanças climáticas, necessidade de uma revolução energética, escassez de água. As causas de todos esses problemas partem de um determinante comum: a depleção dos recursos naturais em virtude da expansão insustentável do sistema econômico (UNEP, 2011b).

Diversos atores – organismos internacionais, organizações não governamentais (ONGs), comunidade científica, entre outros – 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. Essa 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.

A ideia de desenvolvimento ambientalmente sustentável popularizou-se em virtude dos diversos foros e conferências promovidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) e, em especial, após a publicação do documento *Our Common Future*, em 1987. As discussões acerca da viabilidade dessa proposta centralizaram o debate no problema da relação entre o progresso material das sociedades humanas e a conservação de recursos,

reconhecendo a necessidade vital de novas estratégias de desenvolvimento. Nesse cenário, teóricos pontuaram a importância da introdução da questão ambiental nas agendas de pesquisa de disciplinas diversas, como Engenharia, Agronomia, Direito, Geografia e Ciência Política.

Na Economia, o estudo sobre as relações entre sistema econômico e sistema natural tem sido dominado pela abordagem neoclássica. Esse enfoque, conhecido como Economia Ambiental, examina os vínculos entre meio ambiente e competitividade a partir do marco teórico da economia do bem-estar, comparando os custos e os benefícios sociais da adoção de medidas de segurança ambiental. Entende-se que os custos constituem um resultado espontâneo do esforço empreendido pelas empresas para atenuar o impacto de suas atividades sobre a natureza², assim como dos recursos necessários ao monitoramento e cumprimento das regulações previamente estabelecidas pelo Estado. Os benefícios, por sua vez, situam-se exclusivamente na esfera social, o que implica negligenciar possíveis vantagens competitivas que as firmas podem obter em termos de redução de custos de produção, melhorias na qualidade de produtos e aumento na participação de mercado (LÓPEZ, 1996; ANDERSEN, 2008).

Amparando-se na aplicação de leis econômicas fundamentais em um contexto estático, a Economia Ambiental propõe a “internalização das externalidades”, isto é, o estabelecimento de compensações monetárias para reparar os prejuízos causados contra a natureza. Predomina-se, então, a noção de que os danos provocados pela atividade econômica, tais como contaminação e poluição em suas inúmeras formas, constituem falhas que devem ser precificadas e, portanto, reduzidas à lógica de mercado. Ademais, não há um questionamento do modelo de indústria historicamente instituído, muito menos do padrão tecnológico vigente como fatores que agravam os problemas ambientais (SOUZA-LIMA, 2004; ANDERSEN, 2008).

A teoria econômica convencional entende que não existem limites ambientais à expansão da atividade produtiva. A metáfora mecânica adotada por esse enfoque implica em não reconhecer os fluxos de matéria e energia no processo industrial. O crescimento é avaliado por meio de uma representação da circulação interna da renda e de bens, sem considerar a absorção de recursos (matéria e energia) e a liberação de resíduos. O processo de produção reduz-se à alocação de fatores e supõe-se que a substituição entre eles seja ilimitada. Nesse arcabouço, o fluxo de recursos naturais pode ser substituído indefinidamente por capital construído.

² A análise econômica tradicional parte da concepção de que, confrontada com um conjunto de combinações insumo-produto, a firma atua racionalmente escolhendo a combinação técnica que garanta lucro máximo. Nesse sentido, qualquer fator que obstaculize a livre atuação da empresa – uma regulação ambiental, por exemplo – fará com que esse agente incorra em ineficiências, elevando seus custos de operação.

A negligência com relação aos fluxos materiais e energéticos e a ideia de plena substituição de fatores constituem as duas maiores distorções do esquema econômico dominante. Em primeiro lugar, o capital natural não pode ser substituído indefinidamente por capital construído, dado que ambos são complementares. Em segundo lugar, a economia é um subsistema da biosfera, que é finita e não crescente. Isso significa que qualquer crescimento econômico resulta em um custo ecológico. O economista romeno Nicholas Georgescu-Roegen foi quem primeiro utilizou os princípios da termodinâmica ou da entropia³ para explicar as barreiras impostas pela natureza à expansão das bases materiais das sociedades. Para Georgescu, a economia é um sistema dissipativo sustentado por um fluxo metabólico. Sua expansão dentro de um sistema finito e materialmente fechado, a biosfera, exige um custo. Se esse custo for maior que o benefício gerado pelo crescimento, este estará sendo *antieconômico* (CECHIN; VEIGA, 2010). A concepção de um crescimento *antieconômico* é inconcebível dentro da escola neoclássica.

Insatisfeitos com o *mainstream* da teoria econômica, alguns estudiosos iniciaram uma reflexão crítica tomando como referência as análises de Georgescu. O resultado foi o desenvolvimento de uma visão sistêmica e integrada de todos os componentes do sistema econômico e suas relações com a biosfera, consubstanciando a corrente conhecida como Economia Ecológica. Essa perspectiva enfatiza os padrões complexos dos fluxos de matéria e energia dentro e fora da atividade de transformação, em contraste com as teorias correntes que consideram a economia em termos de unidades monetárias abstratas.

Os princípios da termodinâmica foram também o ponto de partida para reflexões que surgiram no âmbito da Engenharia. Debruçando-se sobre o processo produtivo e as possibilidades de ajuste que este pode ou tem que sofrer para adaptar-se aos limites ecossistêmicos, alguns cientistas (em grande parte ligados à Engenharia de Produção e à Engenharia Química) desenvolveram o campo conhecido como Ecologia Industrial. Este enfoque 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 do meio ambiente de 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). Nesse sentido, a pauta teórico-analítica proposta pela Ecologia Industrial aproxima-se daquela relativa à Economia Ecológica.

A Ecologia Industrial advoga a reestruturação da indústria sob o formato de um sistema intrinsecamente ajustado às tolerâncias e características do ambiente natural.

³ A termodinâmica fundamenta-se na concepção de que a energia flui em uma só direção e tende a se dissipar em calor de baixa temperatura que não pode ser utilizado. Chama-se *entropia* essa soma de energia não aproveitável (CECHIN; VEIGA, 2010).

Conceitos desenvolvidos no âmbito dessa abordagem 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 uma estratégia de promoção do desenvolvimento sustentável no nível interfirma.

Face aos indícios da gestação de uma crise ambiental, é salutar a valorização de estratégias eco-industriais pelos indivíduos que atuam na construção do conhecimento, uma vez que os frutos do seu trabalho de investigação podem fortalecer o conceito de desenvolvimento sustentável, incentivando sua realização na prática. Mas será que a comunidade científica despertou sua atenção para o fato de que as soluções para muitos dos problemas socioambientais contemporâneos poderiam ser encontradas na emergência de um paradigma tecno-produtivo centrado nos princípios da Ecologia Industrial? Em caso afirmativo, quais são os padrões e as tendências da publicação sobre o tema? Esta dissertação busca responder a esses questionamentos.

Por hipótese, postula-se que, desde meados da década de 1990, a comunidade científica tem se voltado cada vez mais para a pesquisa e divulgação da abordagem dos ecossistemas industriais, fomentando o aumento da quantidade de publicações dedicadas ao assunto. Outra hipótese levantada é a de que, apesar da emergência desse campo de investigação, em especial nas Engenharias e Ciências Ambientais, a sua inserção na Economia parece enfrentar obstáculos, sobretudo quando se focaliza a teoria econômica convencional e o seu corolário, isto é, a inexistência de limites ecossistêmicos à reprodução das bases materiais das sociedades.

Reconhecendo as possibilidades analíticas oferecidas pelos estudos métricos da Ciência da Informação, este trabalho realiza um estudo bibliométrico da publicação científica mundial e brasileira sobre o tema “ecossistemas industriais”. De maneira específica, seus objetivos podem ser enumerados da forma que se segue: *i)* discutir os alicerces teóricos da perspectiva dos ecossistemas industriais; *ii)* apreender os princípios e as técnicas que pautam os estudos métricos da informação; e, *iii)* identificar, com base no método bibliométrico, os padrões e as tendências da publicação científica concernente aos ecossistemas industriais. Tais objetivos específicos dão origem aos três capítulos desta dissertação.

O capítulo 1 apresenta as categorias centrais que inspiram a Ecologia Industrial, convergentes à conformação dos ecossistemas industriais, bem como os elementos

conceituais atinentes à reestruturação da indústria sob o formato de arranjos produtivos ecoeficientes. Na sequência, o capítulo 2 trata da metodologia de pesquisa, abordando os seguintes pontos: *i)* fundamentação teórica do método, com ênfase na Bibliometria, suas leis e emprego na literatura; *ii)* processo de composição dos portfólios bibliográficos; e, *iii)* técnicas utilizadas no exame biométrico dos portfólios. O capítulo 3, por sua vez, restringe-se aos resultados da pesquisa, buscando caracterizar o ambiente de emergência e constituição do campo de investigação referente aos ecossistemas industriais, bem como os padrões e tendências da pesquisa sobre a temática no mundo e no Brasil.

CAPÍTULO 1

DETERMINANTES E ELEMENTOS CONSTITUINTES DA ABORDAGEM DOS ECOSSISTEMAS INDUSTRIAIS

O modelo de indústria historicamente instituído toma o capital natural como um recurso infinito, apoiando-se na concepção errônea de que os bens e serviços “gratuitamente” ofertados pelos ecossistemas são ilimitados. Ao promover a utilização intensiva de insumos (materiais e energia) extraídos diretamente da natureza, assim como a disposição irrestrita de resíduos no meio ambiente, ele não incentiva o reaproveitamento desses recursos nos ciclos produtivos subsequentes. Ademais, a utilização dos combustíveis fósseis instituiu uma estrutura produtiva baseada em energia não renovável, cujos impactos adversos são sentidos por meio da emissão de gases oriundos do processo de combustão.

Face às evidências da gestação de uma crise ambiental, diversos atores têm pontuado a importância das estruturas industriais para o estabelecimento de estratégias de desenvolvimento favoráveis à conservação da qualidade dos serviços ecossistêmicos⁴. Nesse particular, a corrente conhecida como Ecologia Industrial 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 parques ou regiões industriais que apresentam padrões de uso de recursos análogos àqueles observados nos sistemas biológicos. Os ecossistemas industriais, como são comumente chamados esses arranjos produtivos, procuram elevar o desempenho econômico dos negócios e reduzir o desperdício e a poluição por meio do encorajamento de interações simbióticas entre as firmas.

O propósito central deste capítulo é discutir os determinantes e os elementos constituintes da abordagem dos ecossistemas industriais. Os aspectos desse enfoque são examinados em três seções. A primeira delas (1.1) sintetiza as categorias centrais da Ecologia Industrial, enfatizando que os ecossistemas industriais pertencem à ótica prescritiva desse campo de investigação. Em seguida, a segunda seção (1.2) descreve os

⁴ O conceito de serviços dos ecossistemas foi consolidado pela *Millennium Ecosystem Assessment* (MA), um inventário do estado da utilização da natureza desenvolvido e lançado pela ONU em 2005. Neste documento, os serviços ecossistêmicos designam os benefícios que os seres humanos obtêm da natureza e que são produzidos pelas interações que ocorrem no interior dos ecossistemas. “Eles abrangem serviços de provisão, incluindo alimentos, água, madeira e fibras; serviços reguladores, que afetam climas, inundações, doenças, resíduos e a qualidade da água; serviços culturais, que fornecem benefícios recreacionais, estéticos e espirituais; e serviços de suporte, tais como formação do solo, fotossíntese e ciclo de nutrientes” (MA, 2005, p. 10).

alicerces teóricos da abordagem dos ecossistemas industriais, tratando também das analogias ecológicas que inspiram sua concepção (subseção 1.2.1) e dos caminhos para a sua realização na prática (subseção 1.2.2). Por fim, na última seção (1.3), seguem-se algumas notas finais.

1.1 CONCILIANDO INDÚSTRIA E MEIO AMBIENTE: A ECOLOGIA INDUSTRIAL

A Ecologia Industrial (doravante EI) emergiu nos anos recentes como uma das perspectivas mais influentes nas discussões acerca da reestruturação do sistema industrial em um padrão compatível com a noção de sustentabilidade ambiental (DESROCHERS, 2002a; 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 (CARR, 1998).

De acordo com Erkman (1997), a ideia central da EI já existia antes da própria expressão, aparecendo esporadicamente na literatura científica dos anos 1970, no contexto da agitada atividade intelectual que marcou os anos iniciais do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), criado na sequência da Conferência de Estocolmo de 1972. O mesmo autor enumera duas experiências para corroborar o argumento de que as raízes desse enfoque podem ser traçadas há cerca de quatro décadas: *i*) a pesquisa coletiva, realizada em 1983 na Bélgica, acerca dos fluxos materiais e energéticos de cadeias produtivas específicas daquele país; e *ii*) o trabalho inovador de reinterpretação da indústria levado a cabo no Japão desde o final da década de 1960.

No caso da Bélgica, um grupo de pesquisadores produziu uma visão geral da economia do país com base nas estatísticas da atividade industrial, mas expressaram-na em termos de circulação de matéria e energia ao invés de unidades monetárias abstratas. Foram estudados seis setores sob esse ângulo: ferro, vidro, plástico, chumbo, madeira e papel e produção de alimentos. A pesquisa possibilitou um exame da atividade econômica condizente com a realidade biofísica e a maneira na qual os recursos naturais são gerenciados. Entretanto, esse esforço não atingiu a recepção almejada, sendo então esquecido. A experiência do Japão, ao contrário, alcançou relativo êxito (ERKMAN, 1997).

No final dos anos 1960, o Ministério do Comércio Internacional e da Indústria japonês (MITI – do inglês *Ministry of International Trade and Industry*), notando o elevado custo ambiental da industrialização, iniciou uma série de estudos para avaliar as possibilidades de

orientar o desenvolvimento econômico do país para atividades menos dependentes do consumo de matérias-primas e baseadas em informação e conhecimento. Desses estudos resultou a formação de um grupo de trabalho cuja proposta era reinterpretar o sistema industrial em termos ecológicos. Esse movimento incentivou a execução de inúmeros programas de pesquisa tecnológica voltados para a redução das externalidades adversas geradas pela indústria, com destaque para a área energética (ERKMAN, 1997).

Apesar das iniciativas de construção de um marco teórico-analítico compatível com as necessidades de conservação dos recursos naturais, os primeiros estágios do desenvolvimento da EI não alcançaram a abrangência necessária para impulsionar essa perspectiva. Foi somente em 1989, com a publicação do artigo *Strategies for Manufacturing* de Robert Frosch e Nicholas Gallopolous na *Scientific American*, que ela recebeu ampla atenção (ERKMAN, 1997; DESROCHERS, 2002a; DEUTZ; GIBBS, 2004). Alguns estudiosos (entre eles, HARPER; GRAEDEL, 2004; CHEW *et al.*, 2009) consideram esse momento como a própria criação da EI.

Frosch e Gallopolous (1989) utilizaram a metáfora dos ecossistemas naturais para examinar três setores específicos: plásticos, ferro e platina. Esses pesquisadores chegaram à conclusão de que é possível perseguir um modelo produtivo mais integrado e limpo por meio de práticas como a reciclagem, a desmaterialização/descarbonização⁵ e a troca de resíduos entre as firmas. Isso exigiria, de acordo com eles, mudanças no comportamento dos agentes econômicos que possibilitassem a conformação de um sistema industrial mais fechado, com redução do uso de materiais virgens e mitigação dos problemas de desperdício e poluição. Embora tais ideias não fossem estritamente originais, elas inspiraram inúmeros outros trabalhos que contribuíram para a disseminação da EI.

⁵ A desmaterialização refere-se à redução da quantidade de materiais utilizados para realizar determinada tarefa na esfera produtiva. A produção ocorre, portanto, com quantidades menores de insumos ou mesmo de produtos. O *United Nations Environment Programme* (UNEP) define essa estratégia como “redução da taxa de uso de recursos por unidade de atividade econômica” (UNEP, 2011a, p. 4). Importante ressaltar que existe uma iniciativa no âmbito desse programa, conhecida como *Decoupling*, que busca incentivar dois tipos de desmaterialização: *i)* a relativa, quando a taxa de crescimento do uso de recursos é menor que a taxa de crescimento econômico (a associação entre essas duas variáveis é positiva, mas a elasticidade é menor que um); e *ii)* a absoluta, quando a utilização de recursos declina, independentemente da taxa de crescimento da economia (neste caso, a taxa de crescimento da produtividade dos recursos excede a taxa de crescimento econômico). Se, de um lado, alguns países já vêm obtendo êxito na desmaterialização relativa, do outro, uma série de obstáculos, essencialmente de natureza técnica, impedem a realização da desmaterialização absoluta (UNEP, 2011a, 2014). A descarbonização, por sua vez, compreende o estabelecimento de processos industriais menos carbono-intensivos, isto é, com menores emissões de carbono para a biosfera (PACHECO, 2013). A consecução de ambas as ações estratégicas (desmaterialização e descarbonização) requer desenvolvimentos específicos na área científica e tecnológica.

Em 1991, Hardin Tibbs publicou um texto procurando traduzir as ideias de Frosch e Gallopoloulos para a linguagem e a retórica do ambiente corporativo⁶. Rapidamente centenas de cópias xerografadas desse trabalho começaram a circular, difundindo a EI para o mundo dos negócios (ERKMAN, 1997). Em seu texto, Tibbs (1992) advoga que, para além do tratamento individual dirigido pelas empresas e corporações a fim de solucionar problemas ambientais locais – ou compreendidos como locais –, é necessária uma mudança sistêmica para adequar os processos industriais às exigências de conservação do meio ambiente. Para o autor, é primordial entender a coexistência de dois sistemas, o industrial e a biosfera. Assim, a gestão e as práticas das firmas devem não apenas melhorar a eficiência da indústria, mas também encontrar modos mais aceitáveis de interagi-la com a natureza.

Tibbs (1992) defende a adoção de políticas e tecnologias apropriadas para o desenvolvimento de estruturas industriais ambientalmente viáveis, de modo que a escala de produção possa continuar crescendo e atender a demanda mundial sem colocar em risco a qualidade de vida. Neste ínterim, a EI constitui um instrumento essencial, já que busca a conformação de um modelo de industrialização intrinsecamente ajustado às tolerâncias e características dos sistemas naturais, fornecendo uma base para opções de desenvolvimento estratégico e decisões políticas⁷. O autor ainda ressalta que a conciliação entre sistema econômico e meio ambiente e a sobrevivência dos negócios estão intimamente ligadas. Disso apreende-se a importância da emergência do que ele denomina de *corporação verde*, isto é, de uma organização que segue uma postura estratégica proativa, favorecendo o re-design de produtos e processos, a redução da poluição e de efluentes, bem como alianças e cooperação com outras empresas a fim de elevar seu desempenho ambiental.

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 (em muitos casos essa visão limita-se à reciclagem de resíduos), e, em outras

⁶ O texto de Tibbs, *Industrial Ecology. An Environmental Agenda for Industry*, foi primeiramente publicado em 1991 pela companhia norte-americana Arthur D. Little, onde o autor então prestava serviços de consultoria. Em 1992, foi a vez do periódico *Pollution Prevention Review* publicar esse trabalho. A publicação de 1992 é aqui utilizada como referência para explicitar as principais ideias contidas nesse texto.

⁷ A percepção da necessidade de conciliação da indústria com as tolerâncias do sistema natural suscita o conceito de resiliência – apesar de não expressar este último de maneira completa. Resiliência é outra ideia bastante cara à EI. O termo foi criado pelos físicos para designar a capacidade de um material voltar ao seu estado normal depois de ter sofrido tensão. Conforme Gunderson (2000), ele foi introduzido pelo pesquisador canadense C. S. Holling na literatura ecológica, em 1973, para auxiliar o entendimento das dinâmicas não lineares observadas nos ecossistemas. Nesta ocasião, a resiliência foi definida como a magnitude de perturbação que um sistema pode experimentar antes de mover-se para um estado diferente (HOLLING, 1973 *apud* GUNDERSON, 2000). Em outras palavras, resiliência refere-se à capacidade de um sistema restabelecer sua estrutura e funções originais após estas terem sido rompidas por um distúrbio. É lícito supor que uma das principais falhas da teoria econômica dominante é desconsiderar esse conceito nos debates acerca da sustentabilidade. Nesse sentido, os economistas não estarão aptos a discutir desenvolvimento sustentável ou sustentabilidade de uma maneira holística se não entenderem o que é resiliência.

situações, atribui-se uma concepção extremamente ampla. É provável que a ausência de um consenso conceitual 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 advogados 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.

Frosch e Uenohara (1994), por exemplo, apontam que a EI fornece um enfoque sistêmico e integrado que auxilia o manejo dos impactos ambientais provocados pelos processos industriais. Tal abordagem postula a necessidade de um entendimento apropriado dos fluxos de recursos presentes no sistema produtivo e de conhecimentos específicos sobre usos alternativos para os resíduos, além de mecanismos que estimulem o uso ótimo de materiais e energia, como o mercado, incentivos e estruturas regulatórias. Allenby (1992b), por sua vez, percebe a EI como o instrumento por meio do qual um estado de desenvolvimento sustentável é garantido. Ela consiste, segundo esse último autor, em uma visão sistêmica da atividade industrial e de sua inter-relação com os sistemas biológicos, físicos e químicos, com o intuito de sustentar a qualidade de vida indefinidamente, dada a contínua evolução econômica, cultural e tecnológica.

O que se pretende enfatizar com essas duas acepções é que, baseada nas perspectivas dos estudiosos acerca do estado atual da indústria e do meio ambiente, a EI pode assumir traços ideológicos distintos: se, por um lado, ela constitui uma arena de defesa das melhorias de eficiência incrementais em curso na indústria, por outro, ela compreende um paradigma revolucionário que deve ser assimilado pela humanidade de forma a garantir a própria existência econômica das sociedades humanas. O Quadro 1, a seguir, apresenta algumas conceituações relativas à EI encontradas na literatura científica sobre o tema.

Quadro 1 – Definições de Ecologia Industrial

ECOLOGIA INDUSTRIAL / DEFINIÇÃO ^[1]	REFERÊNCIA
“[Abordagem que busca] desenvolver um sistema industrial mais fechado, que seja mais sustentável em face da queda nos estoques de matérias-primas e do aumento dos problemas com resíduos e poluição.”	Frosch e Gallopolous (1989, p. 145)
“(...) abordagem orientada para a integração da atividade econômica e da gestão de recursos com os fundamentos biológicos, químicos e físicos do sistema global.”	Allenby (1992b, p. 47)
“(...) concebe as infraestruturas industriais como um conjunto de ecossistemas artificiais interligados, em interação com o ecossistema global natural, e toma o padrão do ambiente natural como um modelo para a solução de problemas ambientais.”	Tibbs (1992, p. 167)
“(...) abordagem sistêmica e integrada para gerenciar os efeitos ambientais da utilização de energia, materiais e capital nos sistemas industriais.”	Frosch e Uenohara (1994, p. 2)
“(...) conceito emergente no qual as interações entre as atividades humanas e o meio ambiente são sistematicamente analisadas. Aplicada à indústria, a Ecologia Industrial busca otimizar o ciclo material total, desde a matéria virgem até o produto acabado e a disposição final do resíduo.”	Graedel (1994, p. 23)
“(...) meio pelo qual a humanidade pode deliberada e racionalmente abordar e manter uma capacidade de suporte desejável, dada a contínua evolução econômica, cultural e tecnológica. O conceito requer que o sistema industrial seja visto não de forma isolada, mas em conjunto com os sistemas circundantes. Trata-se de uma visão sistêmica na qual se procura otimizar o ciclo total de materiais.”	Graedel e Allenby (1995, p. 9)
“A Ecologia Industrial aplica os princípios dos sistemas naturais – capacidade de suporte, fluxos de materiais, resiliência e conectividade – a sistemas artificiais.”	Kirschner (1995, p. 15)
“(...) conceito de gestão do fluxo material das unidades industriais. Seu foco são os fluxos físicos de matéria e energia que uma companhia utiliza tendo como fonte seu ambiente natural, bem como a cooperação desta firma com empresas parceiras.”	Korhonen (2000, p. 19)
“(...) estudo das populações e distribuições de organismos industriais, seus recursos e suas interações com os ambientes circundantes.”	Harper e Graedel (2004, p. 435)
“(...) noção que sugere as potencialidades de conversão dos resíduos industriais em insumos produtivos, reduzindo assim os custos econômicos, sociais e ambientais de descarte de resíduos, e evitando, simultaneamente, a necessidade de utilizar um volume maior de matérias-primas na produção.”	McManus e Gibbs (2008, p. 527)

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Frosch e Gallopolous (1989); Allenby (1992b); Tibbs (1992); Frosch e Uenohara (1994); Graedel (1994); Graedel e Allenby (1995); Kirschner (1995); Korhonen (2000); Harper e Graedel (2004); McManus e Gibbs (2008).

Nota: [1] Os excertos contidos no quadro foram traduzidos pelo autor.

Apesar da EI não constituir um corpo teórico unificado, visualizam-se elementos convergentes nas definições acima replicadas: a EI constitui uma abordagem sistêmica da interação do sistema produtivo com o ecossistema global que utiliza o ambiente natural como modelo para analisar os fluxos de recursos presentes na indústria (metabolismo industrial); seu intuito é otimizar a circulação de matéria e energia (fechamento do ciclo) por

meio da cooperação entre os agentes econômicos e da reinterpretação dos resíduos como insumos potenciais. É lícito refletir sobre cada um desses elementos.

I. 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. Especificamente, ela refere-se a uma perspectiva de análise sistêmica e integrada acerca dos nexos entre indústria e meio ambiente, engendrando uma mudança paradigmática fundamental na organização dessas relações (SAGAR; FROSCH, 1997; GIBBS; DEUTZ, 2007). Este elemento está inteiramente de acordo com a visão pré-analítica da chamada Economia Ecológica e se afasta da visão predominante da teoria econômica convencional, segundo a qual o sistema econômico contém a natureza.

II. A EI utiliza a analogia com os ecossistemas naturais para avaliar a produtividade de recursos e os impactos ambientais da atividade de transformação. Assim como os ecossistemas naturais, o sistema industrial é descrito em termos de distribuição de fluxos de matéria e energia⁸. 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; GRADEL, 2002; VEIGA; MAGRINI, 2009). Do ponto de vista da utilização da energia, a EI não deve prescindir dos conhecimentos oferecidos pela termodinâmica, já que este é o ramo científico que busca compreender os movimentos da energia entre níveis tróficos distintos dos ecossistemas, além de suas transformações. A consideração explícita dos princípios termodinâmicos afasta a EI do esquema analítico convencional da teoria econômica, já que isto requer a compreensão de fenômenos irreversíveis.

III. 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 relacionado com a eliminação de resíduos (EHRENFELD, 1997). De acordo com Cohen-Rosenthal (2004) e Heeres *et al.* (2004), essa estratégia implica no *fechamento dos ciclos materiais*.

IV. A EI suporta a concepção de que medidas ambientais tomadas em cooperação com diversas empresas têm benefícios maiores do que aquelas tomadas de forma

⁸ Korhonen (2004) escreve que a EI tem alertado os economistas e *policy makers* acerca da relevância dos fluxos físicos de matéria e energia. A economia neoclássica dominante enxerga o fluxo circular de valores de troca (e fatores de produção) entre empresas e famílias como um sistema isolado dos ecossistemas naturais. Contudo, os fluxos físicos de matéria e energia constituem a base de operação tanto dos ecossistemas naturais quanto do subsistema econômico, revelando a interdependência entre esses dois sistemas.

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). Deutz e Gibbs (2004) apontam a instituição de parques industriais baseados nesses princípios como um exemplo de cooperação entre os agentes econômicos em localidades específicas.

V. 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; ROBERTS, 2004). Gertler (1995) denota que, se os materiais deslocassem-se ciclicamente nos sistemas industriais como acontece nos ecossistemas naturais, então os subprodutos de um processo tornar-se-iam os insumos de outro processo e o conceito de resíduo deixaria de existir. Como resultado, custos ambientais e produtivos são reduzidos.

A descrição desses elementos permite concluir que a EI busca estratégias viáveis para a conformação de um sistema produtivo eco-eficiente⁹. Em outras palavras, a EI é o campo de investigação que objetiva harmonizar o volume de transumo¹⁰ requerido por determinada indústria ou sistema econômico à capacidade de suporte e resiliência dos ecossistemas naturais. Muitos dos trabalhos que se utilizam desse marco teórico-analítico tendem em direção ao aspecto normativo, examinando o que poderia ser feito em circunstâncias industriais particulares. Considerando que a transição em direção a uma estrutura industrial ambientalmente segura envolve problemas socioeconômicos e tecnológicos (KRONES, 2007), visualiza-se a importância desse enfoque prescritivo. A propósito, é exatamente o instrumental prescritivo que diferencia a EI da Ecologia Biológica.

A Ecologia Biológica estuda os ecossistemas como eles são, com o objetivo de entendê-los, mas não com o intuito de transformá-los (exceto talvez nos casos de introdução de uma nova espécie ou erradicação de espécies invasoras). A EI, em contraste, procura

⁹ A eco-eficiência significa produzir a mesma quantidade de produto, como antes, mas com menos recursos materiais e energéticos (as entradas de insumos e as saídas de efluentes são reduzidas) (KORHONEN, 2004). Nesse sentido, o conceito relaciona-se diretamente com a desmaterialização, sendo possível distinguir, assim como no caso dessa última estratégia, dois tipos de eco-eficiência: *i) a relativa*, quando o produto e o uso de recursos naturais elevam-se, porém a utilização de recursos aumenta a uma taxa menor do que o acréscimo no produto; e *ii) a absoluta*, quando o produto aumenta ao mesmo tempo em que se reduz, em termos absolutos, a quantidade de recursos utilizados. A eco-eficiência absoluta é um fenômeno raro, pois uma série de obstáculos, essencialmente de ordem técnica, inviabiliza sua realização.

¹⁰ Transumo, do original inglês *throughput*, pode ser entendido como o fluxo físico entrópico de matéria e energia proveniente de fontes naturais que passa pela economia humana e regressa à biosfera. Trata-se de um conceito análogo ao metabolismo industrial, diferenciando-se deste último por seu foco holístico, sem circunscrever-se à indústria.

entender o funcionamento e os impactos ambientais da indústria a fim de reestruturá-la em um padrão compatível com a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Em outras palavras, a EI procura influenciar a trajetória dos sistemas industriais (HARPER; GRAEDEL, 2004). Por essa razão, alguns autores (GIBBS; DEUTZ, 2007, por exemplo) 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). O Quadro 2, a seguir, sintetiza as categorias centrais que inspiram os dois enfoques (descritivo e prescritivo) da EI.

Quadro 2 – Enfoques descritivo e prescritivo da Ecologia Industrial

ENFOQUE DESCRIPTIVO DA EI	ENFOQUE PRESCRITIVO DA EI
<ul style="list-style-type: none"> ■ Abordagem holística, examinando as questões ambientais no contexto de viabilidade econômica; ■ Foco nas interações entre os sistemas de produção e os sistemas ecológicos; ■ Simpatia por pesquisas e análises multi e interdisciplinares, ligando áreas como Ecologia, Economia, Engenharia, Administração de Empresas, Administração Pública e Direito; ■ Ênfase nos fluxos de recursos naturais e de informação que ligam os agentes econômicos entre si e com os sistemas produtivo, social e ecológico circundantes; ■ Utilização de uma perspectiva de ciclo de vida; ■ Percepção da indústria como um conjunto de sistemas interativos. Os impactos no nível da firma ainda são importantes, mas devem estar conectados ao sistema industrial mais amplo. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dinâmicas e princípios dos ecossistemas naturais como poderosa fonte de orientação para a concepção e gestão dos sistemas industriais; ■ Reestruturação do desenvolvimento industrial para incluir atividades com menos impactos ecológicos; ■ Operação da atividade de transformação dentro dos limites ou da capacidade de suporte (<i>carrying capacity</i>) de seus ecossistemas locais e da biosfera; ■ Mudança de um sistema industrial linear para um sistema de circuito fechado; ■ Eficiência energética e material como estratégia competitiva e fonte de benefícios ambientais; ■ Conexão das estruturas industriais em uma rede operacional (ecossistema industrial) que minimiza a quantidade total de matéria que é eliminada em vazadouros ou que é perdida em processos intermediários.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Lowe e Evans (1995); Lifset e Graedel (2002); Roberts-Herbert (2004); Gibbs e Deutz (2005); Korhonen e Snäkin (2005).

Cabe ressaltar, como assim fazem Sagar e Frosch (1997), que a EI não deve ser tomada como uma prescrição de soluções e ações fixas. Deve-se considerá-la uma abordagem para examinar as questões indústria-meio ambiente com alguns objetivos em mente. Por exemplo, um objetivo principal pode ser promover o desenvolvimento de um novo paradigma de operação do sistema produtivo a fim de concebê-lo em ciclos materiais fechados e, em última instância, conservar o capital natural. Desse modo, espera-se que a análise integrada sugerida conduza a um conjunto mais robusto e efetivo de soluções para avançar na consecução desse objetivo (SAGAR; FROSCH, 1997).

No que tange ao enfoque normativo da EI, Lifset e Graedel (2002) afirmam que essa perspectiva parte do paradigma centrado na sustentabilidade, buscando estratégias de ação em escalas diferentes. Ao nível intrafirma, ela inspira a modificação de produtos e processos para práticas “verdes”, reduzindo as externalidades negativas ao meio ambiente e elevando a eco-eficiência da unidade produtiva individual. Ao nível interfirma, destacam-se iniciativas conduzidas pelo setor industrial no sentido de conformar arranjos produtivos imbuídos de técnicas que minimizam a quantidade total de matéria que é eliminada em vazadouros ou que é perdida em processos intermediários. Por fim, no que se refere à escala regional ou global, a compreensão dos ciclos biogeoquímicos e sua interface com os processos de transformação é fundamental para ações de desmaterialização e descarbonização, implicando na redução das entradas e saídas do conjunto da indústria.

Erkman (1997) cita duas direções principais da evolução da EI no campo prescritivo. De um lado, a desmaterialização e a descarbonização, isto é, o desenvolvimento de conceitos e estratégias para a otimização dos fluxos de matéria e energia na atividade produtiva. Do 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 autor reporta que uma série de projetos de distritos industriais com essas características está em curso nos EUA, na Europa e na Ásia, em torno de atividades específicas, como usinas termelétricas, siderúrgicas, papel e celulose e cana-de-açúcar.

As observações de Lifset e Graedel (2002) e de Erkman (1997) permitem inferir que, nos últimos anos, conceitos desenvolvidos no âmbito da EI têm sido usados para planejar e conformar parques ou regiões industriais que apresentam padrões de uso de recursos análogos àqueles observados nos sistemas naturais. Isso porque a co-localização e a integração de empresas que podem usar ou reprocessar os resíduos de outras indústrias é fundamental para o sucesso da EI. Os ecossistemas industriais, como são comumente chamados esses sistemas produtivos integrados, buscam elevar o desempenho econômico dos negócios enquanto reduzem o desperdício e a poluição por meio do encorajamento de trocas entre as firmas em localidades ou regiões específicas. A próxima seção dedica-se a esse tema.

1.2 OS ECOSSISTEMAS INDUSTRIAIS

Face às evidências da gestação de uma crise ambiental, estudiosos pontuaram a importância das estruturas industriais para o estabelecimento de estratégias ambientalmente seguras. Nessa mesma direção, vários atores despertaram a atenção para o fato de que as soluções para muitos dos problemas socioambientais contemporâneos seriam encontradas na emergência de um paradigma tecno-produtivo centrado na perspectiva dos ecossistemas industriais. A publicação do trabalho seminal de Frosch e Gallopolous, 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. Da mesma maneira que nos países desenvolvidos, o conceito tem se propagado para as nações em desenvolvimento e de industrialização recente como uma estratégia de promoção do desenvolvimento sustentável. Segundo as autoras, a principal força por trás desse movimento é que os ecossistemas industriais fornecem resultados econômicos, ambientais e sociais melhores do que quando as unidades produtivas atuam de forma independente.

No conjunto de países desenvolvidos, a literatura identifica iniciativas de constituição de ecossistemas industriais nos Estados Unidos (CARR, 1998; HEERES; VERMEULEN; WALLE, 2004; DEUTZ; GIBBS 2004), Canadá (CÔTÉ; COHEN-ROENTHAL, 1998), Países Baixos (BAAS, 1998; BAAS; BOONS, 2004), Áustria (SCHWARZ; STEININGER, 1997), Dinamarca (EHRENFELD; GERTLER, 1997), Finlândia (KORHONEN; WIHERSAARI; SAVOLAINEN, 2001; KORHONEN, 2001a), Reino Unido (MIRATA, 2004), Austrália (ROBERTS-HERBERT, 2004) e Alemanha (STERR; OTT, 2004). Em alguns países asiáticos e latino-americanos, o rápido processo de industrialização tem aumentado o consumo de recursos e a degradação ambiental. Nestes últimos, particularmente China (ZHU; CÔTÉ, 2004; FANG; CÔTÉ; QIN, 2007; SHI; CHERTOW; SONG, 2010), Tailândia (CHAVALPARIT *et al.*, 2006), Singapura (YANG; LAY, 2004), Coréia do Sul (OH; KIM; JEONG, 2005; PARK *et al.*, 2008), Índia (SINGHAL; KAPUR, 2002), Porto Rico (ASHTON, 2008) e Brasil (VEIGA; MAGRINI, 2009), os ecossistemas industriais são considerados como uma alternativa possível para superar os danos ambientais e, ao mesmo tempo, melhorar o bem-estar da comunidade econômica e social.

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. No entanto, algumas considerações podem ser feitas. Como definido por

Frosch e Gallopolous (1989) e posteriormente desenvolvido por Tibbs (1992), Gertler (1995), Sarkis e Rasheed (1995), o esforço do conceito de ecossistema industrial é construir um sistema produtivo integrado e eficiente no consumo de recursos naturais, engendrando relações entre indústria e meio ambiente que sejam sustentáveis. Para tanto, procura estabelecer redes de empresas que coletivamente reduzam suas externalidades adversas utilizando materiais reciclados e minimizando a geração de rejeitos que requerem disposição final.

Frosch e Gallopolous (1989) pioneiramente promoveram a metáfora de um ecossistema industrial para explicar um 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 úteis¹¹. Por essa razão, Tibbs (1992) sugere uma ampla reconceituação dos resíduos como a chave para a criação de ecossistemas industriais. Nesse particular, os subprodutos da atividade de transformação devem ser concebidos como recursos potenciais para o ciclo produtivo subsequente. Isso requer o estabelecimento de complexas redes de alimentação entre organizações e indústrias.

Para Gertler (1995), o ecossistema 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 – assim como fazem Lifset e Graedel (2002), Mirata (2004), Roberts-Herbert (2004), Gibbs e Deutz (2007) –, os ecossistemas industriais como a manifestação da aplicação dos princípios da EI no nível interfirma. Os ecossistemas industriais fundamentam-se nas diretrizes da EI, sugerindo que as empresas e indústrias, tradicionalmente separadas, podem operar em um modelo coletivo cuja troca de recursos promove benefícios econômicos e sociais.

O *President's Council on Sustainable Development* dos EUA (USPCSD) estabeleceu, em 1997, duas definições para o termo. A primeira delas entende o ecossistema industrial como uma rede de empresas que colaboram entre si e com a comunidade local para compartilhar insumos produtivos de forma eficiente, resultando na valorização dos recursos humanos para ambas as comunidades (empresarial e local). A segunda definição toma o ecossistema industrial como um sistema planejado de trocas de matéria e energia que procura construir relações econômicas, ecológicas e sociais sustentáveis (USPCSD, 1997). Embora as duas acepções sejam coincidentes, Lambert e Boons (2002) chamam a atenção

¹¹ Segundo Frosch e Gallopolous (1989), um processo produtivo que gera quantidades relativamente grandes de resíduos que podem ser utilizados em outro processo pode ser preferível a outro que produz pequenas quantidades de resíduos para os quais não há nenhum uso.

para a diferença essencial entre elas: a primeira concentra-se em processos organizacionais e sociais, enquanto que a segunda enfatiza aspectos técnicos.

Segundo Lambert e Boons (2002), essa distinção não é acidental, refletindo antes os diferentes problemas que surgem de tipos distintos de ecossistemas industriais. O foco nos aspectos técnicos tem suas raízes nos complexos industriais clássicos (*industrial complexes*), isto é, nas indústrias pesadas intrinsecamente relacionadas. Um exemplo são os complexos químicos, compostos de classes de indústria relativamente homogêneas ligadas através de seus fluxos de produtos e subprodutos. O enfoque organizacional, por sua vez, inspira-se nos problemas relacionados com os distritos industriais que geralmente abrigam uma variedade de pequenas e médias empresas (*mixed industrial parks*), cujos desafios são mais diversificados e não se limitam à troca de fluxos (neste caso, relativamente pequenos e diversos). Os autores denotam, portanto, a relevância de se distinguir os tipos de ecossistemas industriais e a implicação disso na definição do próprio conceito.

Além das duas concepções introduzidas pelo USPCSD em 1997, o Quadro 3, a seguir, apresenta outras conceituações relativas aos ecossistemas industriais encontradas na literatura científica sobre o tema. A maioria delas converge para uma tese nodal: os ecossistemas industriais constituem arranjos produtivos, com base local ou regional, alicerçados nos princípios da EI (fechamento do ciclo por meio de trocas simbióticas).

Quadro 3 – Definições de ecossistema industrial

ECOSSISTEMA INDUSTRIAL / DEFINIÇÃO ^[1]	REFERÊNCIA
“(...) o modelo tradicional de atividade industrial – em que os processos de fabricação individual utilizam matérias-primas e geram produtos comercializáveis mais resíduos a serem eliminados – deve ser transformado em um modelo mais integrado: um ecossistema industrial. Em tal sistema, o consumo de energia e materiais é otimizado, a geração de resíduo é minimizada e os efluentes de um processo (...) servem como matéria-prima para outro processo.”	Frosch e Gallopolous (1989, p. 145)
“[Os ecossistemas industriais] representam uma reciclagem multidimensional ou a criação de complexas redes de alimentação entre organizações e indústrias. Talvez a chave para a criação de ecossistemas industriais seja a reconceituação de resíduos como produtos. Isso sugere não só a procura de formas de reutilização de resíduos, mas também a seleção ativa de processos cujos resíduos sejam reutilizáveis.”	Tibbs (1992, p. 270)
“[Um sistema industrial que] conserva os recursos naturais e econômicos; reduz produção, matéria, energia, insegurança e custos de tratamento; melhora a eficiência operacional, qualidade, saúde do trabalhador e imagem pública; e oferece oportunidades para a geração de renda a partir do uso e venda de materiais residuais.”	Côté e Hall (1995, p. 42)

(continua ...)

(... continuaçao)

“(...) comunidade ou rede de empresas e outras organizações localizadas em uma determinada região que interagem trocando e utilizando subprodutos e/ou energia para obter uma ou mais das seguintes vantagens: redução do uso de materiais virgens como insumos; redução da poluição; aumento da eficiência energética, levando a um menor uso de energia no sistema como um todo; redução do volume de resíduos que requerem disposição (com o benefício adicional de se prevenir a poluição relacionada com a eliminação de rejeitos); e aumento da quantidade e tipos de *outputs* com valor de mercado.”

Gertler
(1995, p. 16)

“Da mesma forma que um ecossistema natural consiste de uma rede de organismos interdependentes e seu ambiente em um estado de equilíbrio dinâmico por meio do intercâmbio permanente de recursos, o ecossistema industrial consiste de uma rede de organizações que coletivamente minimizam a degradação ambiental utilizando os resíduos e subprodutos umas das outras.”

Sarkis e Rasheed
(1995, p. 21)

“(...) comunidade de empresas industriais e do setor de serviços que buscam um melhor desempenho ambiental e econômico por meio da colaboração na gestão de assuntos ambientais e relacionados a recursos. Ao trabalhar em conjunto, a comunidade de negócios alcança um benefício coletivo maior do que a soma de cada desempenho individual obtido na ausência de cooperação.”

Lowe, Moran e Holmes
(1996, p. 2)

“Uma comunidade de empresas que cooperaram entre si e com a comunidade local, compartilhando recursos (informação, materiais, água, energia, infraestrutura, *habitat* natural) de forma eficiente, levando a ganhos econômicos, ganhos de qualidade ambiental e aprimoramento equitativo de recursos humanos para a comunidade empresarial e local.”

U.S. President's Council on Sustainable Development (1997)

“Um sistema industrial de trocas materiais e energéticas planejadas a fim de minimizar o uso de matérias-primas e energia, reduzir o desperdício e construir relações econômicas, ecológicas e sociais sustentáveis.”

U.S. President's Council on Sustainable Development (1997)

“(...) comunidade de unidades produtivas independentes, porém interligadas, que voluntariamente formam elos simbóticos para tornar as entradas e saídas do processo de transformação compatíveis com a capacidade de suporte do meio ambiente. (...) Ao trabalhar em conjunto, as empresas buscam maior desempenho econômico e ambiental por meio de uma gestão eficiente de energia, água e materiais.”

Carr
(1998, p. 242)

“(...) uma comunidade de empresas, localizadas em uma determinada região, que trocam e utilizam os subprodutos e energia umas das outras.”

Desrochers
(2001, p. 2001)

“(...) comunidade de empresas localizadas em uma propriedade comum. (...) Seu objetivo é melhorar o desempenho econômico das companhias participantes enquanto minimiza seus impactos ambientais. (...) Também busca benefícios para as comunidades vizinhas para assegurar que o impacto líquido de seu desenvolvimento seja positivo.”

Lowe
(2001, p. 1)

“(...) território claramente delimitado onde, por meio da cooperação, cada empresa ajusta suas atividades em relação às demais a fim de diminuir o impacto ambiental total sem afetar a viabilidade econômica das companhias individuais.”

van Leeuwen,
Vermeulen e
Glasbergen
(2003, p. 148)

“(...) conceito emergente da aplicação dos princípios ecológicos aos sistemas industriais. (...) Ele incentiva *design*, arquitetura e construção ambientalmente sustentáveis; cooperação e inovação; novas tecnologias e compartilhamento de conhecimentos entre as firmas. (...) [Reconhece que] a co-localização promove novas sinergias e ganhos de eficiência, com fortes perspectivas de agregar valor à firma individual e aos negócios da indústria coletiva. Ao incentivar a co-localização de unidades produtivas com processos vinculados ou interdependentes, resíduos ou energia desperdiçada podem ser utilizados por outras indústrias nas mesmas ou em localidades próximas.”

Roberts-Herbert
(2004, p. 1000-1001)

(continua ...)

(... continuação)

“(...) uma comunidade industrial na qual população, indústrias de transformação e setor de serviços compartilham um senso comum de pertencimento e recursos básicos (informação, materiais e prevenção da poluição) para maximizar os benefícios sociais e econômicos enquanto minimiza seus impactos ambientais.”

Oh, Kim e Jeong
(2005, p. 271)

“Um ecossistema industrial é uma simbiose de muitas indústrias, onde o produto/subproduto/resíduo gerado por uma indústria pode ser usado como um recurso por outra indústria. Essas atividades de troca de massa/energia não apenas contribuem para o melhoramento do *status econômico* da indústria, ao gerar receita adicional oriunda do aproveitamento de resíduos e subprodutos, mas também reduz o *stress ambiental*, ao reduzir o consumo de recursos brutos e minimizar a eliminação de rejeitos.”

Singh e Lou
(2006, p. 3265)

“(...) proporciona uma base experimental para se pensar as formas de conectar diferentes processos geradores de resíduos, fábricas ou indústrias, bem como os consumidores, em uma rede operacional que minimize a quantidade de materiais que vão para vazadouros de eliminação ou que são perdidos em processos intermediários em escalas regionais maiores.”

Fang, Côté e Qin
(2007, p. 319)

“(...) um aglomerado de vários processos industriais que não são necessariamente parte de uma mesma companhia ou organização, mas compartilham uma infraestrutura comum que é projetada e operada essencialmente para induzir a integração da troca de materiais e do tratamento e eliminação de resíduos. A participação de múltiplas plantas industriais normalmente fornece vantagens econômicas atrativas e outros benefícios em relação ao modelo corrente de processamento individual.”

Lovelady e El-Halwagi
(2009, p. 265)

(conclusão)

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Frosch e Gallopolous (1989); Tibbs (1992); Côté e Hall (1995); Gertler (1995); Sarkis e Rasheed (1995); Lowe, Moran e Holmes (1996); *U.S. President's Council on Sustainable Development* (USPCSD, 1997); Carr (1998); Desrochers (2001); Lowe (2001); van Leeuwen, Vermeulen e Glasbergen (2003); Roberts-Herbert (2004); Oh, Kim e Jeong (2005); Singh e Lou (2006); Fang, Côté e Qin (2007); Lovelady e El-Halwagi (2009).

Nota: [1] Os excertos contidos no quadro foram traduzidos pelo autor.

As concepções acima replicadas fornecem alguns elementos constituintes da abordagem dos ecossistemas industriais que ora necessitam de maiores reflexões. Primeiramente, os ecossistemas industriais incorporam uma estratégia concreta para o desenvolvimento dos princípios da EI, isto é, para a transformação da indústria em um modelo de circuito fechado que se assemelhe aos fluxos cílicos dos sistemas naturais. Nesse sentido, sua prioridade é promover uma maior eficiência material e energética dos processos produtivos¹². Algumas ações de caráter normativo podem então ser enumeradas.

¹² Uma maior eficiência material e energética implica na redução do consumo de recursos naturais. Com base nos princípios da termodinâmica, Connelly e Koshland (1997) propõem uma definição de consumo mais precisa para avançar na consecução desse objetivo. De acordo com os cientistas, embora a maioria dos estudos sobre a emissão de resíduos industriais forneça informações relevantes sobre o uso e descarte final de recursos, ela aborda apenas um aspecto do consumo: a transferência de matéria ou *throughput*. Para tomar o processo de consumo em sua plenitude, é necessário considerar também a extensão da degradação do recurso, isto é, a utilidade perdida ou o grau em que um material consumido teria que ser regenerado antes que pudesse ser reutilizado. Esforços para diminuir o consumo de recursos pela redução somente do *throughput* podem aumentar a taxa de consumo se houver um aumento suficiente na degradação. Assim, conhecer o grau de degradação permite medir e comparar diferentes graus de qualidade de matérias-primas e resíduos, proporcionando uma base para o estabelecimento de redes de cascata e reciclagem eficientes (CONNELLY; KOSHLAND, 1997).

No que tange ao fluxo de matéria, a perspectiva dos ecossistemas industriais advoga que a extração de insumos brutos da natureza e a eliminação de resíduos materiais devem manter-se dentro da capacidade de renovação do meio ambiente. Para tanto, algumas ações são indispensáveis: limitação do uso de materiais não renováveis a um nível que considere a equidade intergeracional; utilização eficiente dos materiais virgens e dos produtos gerados a partir deles; e redução ou formatação dos resíduos materiais oriundos das atividades de produção e de consumo para que os mesmos sejam assimilados pelo meio ambiente sem prejudicar a integridade deste. Em outras palavras, a capacidade de reprodução dos recursos naturais deve ser assegurada, bem como a capacidade de assimilação de resíduos. Isso pode ser alcançado por meio da reciclagem da matéria, que constitui uma forma eficiente de usar recursos e reduz o volume de efluentes (KORHONEN; WIHERSAARI; SAVOLAINEN, 2001).

No caso da produção e consumo de energia, é necessário reduzir o uso de combustíveis fósseis – e a emissão de gases danosos que a combustão deles provoca – e de outras energias não renováveis¹³. Esse objetivo pode ser alcançado por meio da utilização eficiente de energias renováveis (solar, hidrelétrica, eólica ou biomassa) em diferentes níveis de qualidade (energia em cascata), minimizando o aumento da entropia. 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 residências¹⁴ (KORHONEN; WIHERSAARI; SAVOLAINEN, 2001).

A reciclagem da matéria e a 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 e rotuladas como simbióticas pelos biólogos e ecologistas (LIFSET; GRAEDEL, 2002). De acordo com Gibbs e Deutz (2007), o conceito chave da abordagem dos ecossistemas industriais é a visão dos processos industriais como sistemas interativos ao invés de componentes isolados. Ao fomentar a cooperação entre as

¹³ A mudança climática é talvez uma ameaça maior do que a manutenção dos estoques de combustíveis fósseis. A capacidade dos ecossistemas naturais de tolerar as emissões de gás carbônico vem sendo apontada como um dos principais problemas ambientais.

¹⁴ Há uma tendência de que os ecossistemas industriais possuam uma *espécie focal* (usualmente uma usina de energia ou um biodigestor) que se encontra conectada à quase todas as outras *espécies* da rede. Muitos sistemas eco-industriais são designados em torno dessa *espécie focal*, que frequentemente é chamada de *anchor tenant* (HARDY; GRAEDEL, 2002). Korhonen (2001a) sugere que uma usina de energia que usa o método de co-produção de calor e eletricidade poderia servir como âncora de um ecossistema industrial. Isso porque o reaproveitamento do calor residual resultante da produção de eletricidade fornece um modelo ou uma hipótese inicial a partir da qual uma redução considerável no uso de combustíveis fósseis e na geração de efluentes possa ser atingida.

firms, tal enfoque diferencia-se de outras iniciativas que incidem sobre a unidade produtiva individual. Cooperando umas com as outras, as empresas podem melhorar seu desempenho combinando medidas que aumentem suas margens de lucro com ações que tornem a produção mais limpa e ambientalmente segura.

Uma vez que os ecossistemas industriais referem-se às ligações entre empresas através do espaço, eles implicam na adoção de uma perspectiva geográfica. Contudo, há um consenso de que o ecossistema industrial precisa ser mais do que uma coleção de indústrias espacialmente concentradas que utilizam tecnologias ambientais, mas que não interagem entre si. As definições (como aquelas apresentadas por CARR, 1998; LOWE, 2001; OH; KIM; JEONG, 2004; SINGH; LOU, 2006; FANG; CÔTÉ; QIN, 2007) incorporam a necessidade de elos interativos entre as firmas participantes, constituindo uma espécie de rede. Porém, é necessário qualificar essas interações. É razoável supor, assim como fazem Boons e Baas (1997), que um sistema em que são estabelecidas interações *ad hoc* não fornece uma base estável. Fronteiras sistêmicas estabelecidas sem referência ao ciclo de vida do produto ou do material parecem menos desejáveis.

Chertow (2000) elaborou uma taxonomia para os tipos possíveis de relação interativa envolvendo a troca de recursos materiais e energéticos. São eles: *i) trocas de resíduos simples*: o foco é a troca de produtos já no fim de sua vida útil, sem escala específica para a sua realização, como doação de roupas e coleta de papéis; *ii) trocas intrafirma*: ocorrem dentro de uma firma específica, mormente de uma grande empresa, explorando a reciclagem e a reutilização; *iii) trocas entre firmas localizadas em um parque industrial*: trocas de recursos entre firmas distintas espacialmente concentradas em um parque industrial; *iv) trocas entre firmas locais que não estão concentradas em um parque industrial*: trocas de recursos entre firmas distintas, mas que não estão concentradas em um parque industrial, embora localizem-se em uma área delimitada; e *v) trocas entre firmas organizadas em uma região*: as trocas inserem-se em uma área geográfica maior, envolvendo maior número de empresas e setores e dependendo mais de vínculos virtuais.

Considerando as implicações organizacional e geográfica da perspectiva dos ecossistemas industriais, isto é, a coordenação das atividades dos diferentes agentes econômicos em um determinado espaço, percebe-se que a relação interativa que mais se aproxima da ideia de um ecossistema industrial é o terceiro tipo identificado por Chertow (2000): trocas entre firmas localizadas em um parque industrial. De acordo com Gibbs e Deutz (2007), as oportunidades para a aplicação do conceito 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).

O aumento da distância entre as firmas reduz as oportunidades de troca porque não é eficiente transportar materiais específicos para além das fronteiras regionais. O calor e o vapor, por exemplo, se dissipam rapidamente, enquanto que a água necessita de tubulações especiais, envolvendo custos adicionais. É importante considerar também a degradação energética que envolve o transporte dos subprodutos (CHERTOW, 2000; PACHECO, 2013). Conforme descreve Ayres (2002), os benefícios resultantes das estratégias de colaboração e das possibilidades sinérgicas oferecidas pela proximidade geográfica podem ser entendidos como *economias de integração* não negligenciáveis, com impactos positivos na elevação da eficiência das operações industriais. Roberts-Herbert (2004), por sua vez, 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 dos ecossistemas industriais em níveis sistêmicos ou geográficos mais amplos. Nessa direção, Sterr e Ott (2004) salientam que a região industrial (esta semelhante ao quinto tipo identificado por CHERTOW, 2000) parece constituir um campo promissor para a criação e manutenção de projetos eco-industriais¹⁵. Deve-se ter em mente que, embora a preocupação central continue sendo a coordenação de atividades no nível interfirma, a forma em que ela se dá em um contexto regional adquire novos formatos. Conforme lembram Boons e Baas (1997), a coordenação de atividades diferencia-se de acordo com as fronteiras assumidas por distintos tipos de ecossistemas industriais.

¹⁵ A região industrial caracteriza-se por maior variedade de atores, aumentando a probabilidade de que as empresas encontrem parceiros adequados. Ademais, as quantidades maiores de resíduos que podem ser recolhidas em um contexto regional atraem recicladores e produtores que demandam materiais secundários. Entretanto, encontrar parceiros adequados em um espaço maior envolve custos de transação mais elevados (STERR; OTT, 2004).

Levando em conta esses aspectos, Veiga e Magrini (2009) distinguem dois tipos de ecossistemas industriais: os *eco-parques industriais*¹⁶ e as *redes eco-industriais*. Os primeiros exigem um maior grau de proximidade geográfica, resultando na concentração das empresas em localidades específicas. No caso das redes eco-industriais, as unidades produtivas encontram-se espalhadas em uma região e experimentam maiores possibilidades de sinergia, em virtude da maior diversidade de atores e recursos. Em relação aos eco-parques, as autoras ainda diferenciam os projetos que são construídos em um distrito industrial já existente, onde há algum tipo de interação entre as empresas preestabelecidas, daqueles que são planejados e desenvolvidos do princípio, isto é, em uma região sem tradição no desenvolvimento eco-industrial (estes últimos são conhecidos como *greenfield development*).

Chega-se à conclusão de que os ecossistemas industriais não constituem um modelo singular. Sua própria definição depende de uma abordagem geográfica, aplicada a nível local ou regional¹⁷. A fronteira desse sistema é, portanto, formada pela rede local ou regional das empresas e os fluxos de recursos organizados dentro dessa rede específica (SEURING, 2004). Uma característica comum a todos os tipos de redes refere-se à interdependência entre os seus membros. Pode-se afirmar então que a interdependência constitui um elemento central, mas não exclusivo, de um modelo genérico de ecossistema industrial.

As atividades intensivas de troca de recursos em um ecossistema industrial resultam em uma forte interdependência entre os atores, uma vez que o desempenho econômico e ambiental de cada um deles encontra-se fortemente relacionado com a conduta dos demais. Uma pequena mudança no comportamento de um membro pode provocar um impacto significativo no desempenho de outros participantes e, eventualmente, na sustentabilidade de todo o ecossistema industrial por meio de reações em cadeia (SINGH; LOU, 2006). Por essa razão, alguns estudiosos (YANG; LAY, 2004; OH; KIM; JEONG, 2005; KORHONEN; SNÄKIN, 2005) salientam que a uniformidade nas formas construídas de parques e regiões industriais deve ser substituída pela diversidade em atores e atividades. O argumento central reside no fato de que essa diversidade possibilita maior resiliência aos ecossistemas

¹⁶ Liwarska-Bizukojc *et al.* (2009) consideram os eco-parques industriais como uma forma organizada de conformação dos ecossistemas industriais. Com efeito, os autores entendem que o modelo conceitual de eco-parque industrial foi construído a partir da concepção de ecossistema industrial.

¹⁷ A visão de que a definição de um ecossistema industrial depende da delimitação de suas fronteiras está presente em Peck (2002).

industriais, ou seja, estes últimos são capazes de absorver e se recuperar mais facilmente de choques inesperados¹⁸.

Já foi dito que o conceito de ecossistema industrial procura construir um sistema produtivo integrado e eficiente no consumo de recursos naturais. Cabe agora enumerar os benefícios da aplicação de uma abordagem ecológica no projeto e operação da indústria. Côté e Hall (1995) sugerem que um ecossistema industrial conserva os recursos naturais e financeiros; reduz custos de produção e de tratamento; melhora a eficiência operacional, qualidade de vida do trabalhador e imagem do negócio; e oferece oportunidades para a geração de renda a partir da comercialização e uso de resíduos. Em última instância, esse arranjo reduz o impacto ambiental da indústria por meio de uma maior eficiência das empresas. Para tanto, induz o estabelecimento de mecanismos cooperativos no nível interfirma, já que “ao trabalhar em conjunto, a comunidade de negócios alcança um benefício coletivo maior do que a soma de cada desempenho individual obtido na ausência de cooperação” (LOWE *et al.*, 1996, p. 2, traduzido). Esse benefício coletivo pode assumir as três dimensões do desenvolvimento sustentável, configurando-se em ganhos econômicos, ambientais e sociais, conforme reportado no Quadro 4.

Os ecossistemas industriais buscam a conformação de estruturas produtivas intrinsecamente ajustadas às tolerâncias e características do ambiente natural. Os ganhos ambientais podem então ser sintetizados na conservação dos serviços ecossistêmicos. Além disso, ganhos substanciais em produtividade são possíveis. Em primeiro lugar, a necessidade de se alterar o *design* e o ciclo de vida dos produtos traduz-se no surgimento de bens com melhor desempenho ou qualidade superior. Para a firma, isso pode implicar diferenciação de produto e aumento da participação no mercado. Em segundo lugar, mudanças nos processos de produção induzem uma maior eficiência dos recursos empregados. Esse ganho de eficiência pode ser resultado de menores gastos com tratamento de materiais e com penalidades regulatórias, economia de matérias-primas por meio do reuso ou reciclagem, utilização de subprodutos, menor consumo de energia e disposição mais segura de resíduos¹⁹.

¹⁸ Korhonen e Snäkin (2005) exemplificam essa situação com a saída de uma firma do sistema de reciclagem. Neste caso, a diversidade em atores permite que o ecossistema industrial se recupere (se adapte) aumentando a escala de operação das outras empresas que exercem a mesma função daquela que não pertence mais a esse arranjo produtivo.

¹⁹ Desses resultados, infere-se que os vínculos entre meio ambiente e competitividade não constituem *trade-offs*. Para uma discussão da situação ganha-ganha resultante de estratégias empresariais voltadas para a redução das externalidades adversas ao meio ambiente, ver Porter e van der Linde (1995).

Quadro 4 – Benefícios obtidos com a implantação de ecossistemas industriais

BENEFÍCIOS DE UM ECOSSISTEMA INDUSTRIAL		
GANHOS ECONÔMICOS	GANHOS AMBIENTAIS	GANHOS SOCIAIS
<ul style="list-style-type: none"> ■ Redução dos custos de produção (aumento da eficiência energética e material; compartilhamento de custos relacionados com transporte, infraestrutura, P&D, manutenção de sistemas de informação); ■ Produtos mais competitivos; ■ Disposição mais estável dos resíduos, evitando custos de tratamento e de controle das emissões e prolongando a vida útil dos aterros sanitários; ■ Geração de renda adicional em virtude da adição de valor de mercado aos subprodutos; ■ Redução de custos relacionados com penalidades regulatórias; ■ Surgimento de novos produtos e novos negócios que utilizam materiais residuais; ■ A necessidade de financiamento das atividades eco-industriais institui um novo segmento de crédito atrativo para os bancos e demais instituições financeiras; ■ Melhora da imagem pública, bem como das relações das unidades produtivas com as partes externas; ■ Criação de um ambiente econômico mais seguro e mais limpo. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Reestruturação do sistema industrial em um padrão compatível com a noção de sustentabilidade ambiental; ■ Entradas e saídas do processo de transformação condizentes com a capacidade de suporte do meio ambiente (minimização do uso de recursos naturais e do volume de resíduos e emissões); ■ Preservação dos serviços ecossistêmicos; ■ Redução das fontes de poluição; ■ Menor dependência em relação aos recursos não renováveis, incluindo os combustíveis fósseis; ■ Redução das descargas de resíduos materiais e energéticos; ■ Criação de abordagens inovadoras para a prevenção da poluição, eficiência energética, recuperação de recursos e outras tecnologias de gestão ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ As iniciativas de produção eco-industrial fornecem a base para uma nova forma de desenvolvimento local/regional: aumento da cooperação e participação de atores locais; a gestão dos fluxos locais de matéria e energia pode incentivar novas áreas de negócio, criando empregos de maior qualidade em plantas industriais mais limpas; oportunidades para a inovação em sistemas regionais; criação de uma base econômica mais ampla e diversificada na localidade; ■ Melhoria dos empregos e das condições de trabalho; ■ Ganhos na qualidade de vida alcançados pela possibilidade de distâncias comunitárias mais curtas; ■ Provisão a todos os níveis de governo de condições para a criação de políticas e regulações ambientais mais eficazes e menos onerosas para as firmas; ■ Maior consciência coletiva acerca da integração entre meio ambiente e sistema econômico; ■ Desempenho dos agentes em um ecossistema industrial torna este último uma ferramenta interessante para o desenvolvimento socioeconômico.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Côté e Hall (1995); Lowe e Evans (1995); Schwarz e Steininger (1997); Korhonen (2001b, 2004); Deutz e Gibbs (2004); Mirata (2004); Gibbs e Deutz (2005, 2007); Park *et al.* (2008); Lovelady e El-Halwagi (2009).

Embora os ganhos econômicos e ambientais – possibilitados por maior eficiência material e energética – sejam mais visíveis no âmbito das estratégias de ecossistemas industriais, estas últimas também promovem benefícios sociais, aprimorando a qualidade de vida da população. Deutz e Gibbs (2004), por exemplo, 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. Essa percepção enseja um enfoque que reúna indústria e meio ambiente com uma perspectiva social ou de comunidade, objetivando a valorização do capital social de determinada localidade.

Para além da troca de resíduos, o enfoque dos ecossistemas industriais pode ser desenvolvido para incluir os aspectos sociais do desenvolvimento sustentável²⁰. Embora o foco nos fluxos físicos de matéria e energia seja importante, essa abordagem deve considerar também a dimensão humana, isto é, os atores envolvidos com esses fluxos. Isso porque atores sociais diferentes (e seus valores e preferências) direcionam e afetam a circulação de recursos. Nesse sentido, os aspectos da EI relacionados com as Ciências Naturais e Engenharias precisam estar ligados aos aspectos comumente abordados pelas Ciências Sociais (CÔTÉ; COHEN-ROENTHAL, 1998; KORHONEN *et al.*, 2004; GIBBS; GEUTZ, 2007). Oh, Kim e Jeong (2005) observam que aumentar o senso de pertencimento (ou identidade cultural) da comunidade é um dos princípios chaves para o desenvolvimento de um ecossistema industrial, já que ele constitui um dos fatores mais relevantes para garantir o compromisso dos atores locais. Tal observação corrobora a defesa da inclusão das Ciências Sociais para o fortalecimento da abordagem dos ecossistemas industriais.

1.2.1 Metáforas e analogias

Nas últimas décadas houve um interesse crescente pela forma na qual a atividade econômica poderia ser projetada para aproximar-se da eficiência dos sistemas naturais. Na natureza, há pouco ou nenhum desperdício: os organismos produzem resíduos que se tornam insumos de um processo metabólico contínuo que se move ao longo da cadeia alimentar e da reprodução biológica. Vários estudiosos defendem que se o sistema econômico se aproximasse desse *modus operandi*, então o problema associado com a quantidade, cada vez maior, de rejeitos oriundos da produção e do consumo seria atenuado (ROBERTS-HERBERT, 2004). A proposta de aplicação dos princípios que organizam o funcionamento do meio ambiente no sistema econômico fundamenta a própria existência da EI, assim como a proposição de conformação de um ecossistema industrial. Importante lembrar que esse movimento foi ensejado pelos desenvolvimentos teórico-analíticos no

²⁰ Partindo da hipótese de que a abordagem dos ecossistemas industriais tende a contemplar apenas elementos técnicos-econômicos-ambientais, Pacheco (2013) propõe uma estrutura de análise que abarca características do enfoque territorial, inserindo, desse modo, aspectos sociais ou de comunidade no modelo analítico. Essa estrutura é então utilizada para se avaliar a capacidade do complexo sucroalcooleiro do Triângulo Mineiro de gerar desenvolvimento ambiental, social e econômico.

campo de investigação da Ecologia Biológica, especialmente a definição do conceito de ecossistema.

Yang e Lay (2004) realizaram uma retrospectiva da origem e evolução do termo ecossistema. De acordo com eles, o mesmo surgiu na primeira metade do século XX, quando a teoria da termodinâmica forneceu a base científica para uma visão sistemática do meio ambiente. Ao propor o conceito pela primeira vez em 1935, Transley enfatizou que os ecossistemas são sistemas físicos imbuídos de estrutura (composição dos organismos biológicos em uma dada área) e função (o ciclo da matéria e da energia). Levando em conta a ação e atividades humanas, Odum aplicou essa noção para o conjunto do meio ambiente, incluindo o processo urbano e industrial. Odum sugeriu que cada ecossistema apresenta um padrão específico de fluxo energético, sendo que este se inicia com a energia solar, que é captada por meio da fotossíntese e distribuída para todos os demais organismos. Os fluxos de matéria e energia são, portanto, fenômenos gerais em ambientes distintos. No caso dos sistemas construídos pela atividade humana, a velocidade e quantidade desses fluxos são relativamente superiores e incompletas em comparação com aquelas observadas na natureza (YANG; LAY, 2004).

Frosch e Gallopolous (1989) pioneiramente introduziram a metáfora de um ecossistema industrial para esclarecer as vantagens da constituição de um arranjo produtivo com características semelhantes às dos sistemas naturais. Boons e Baas (1997) enumeraram algumas dessas características: *i)* os efluentes da indústria e os materiais descartados pós-consumo são usados como recursos nos processos produtivos subsequentes de uma maneira análoga à ciclagem de nutrientes nos ecossistemas biológicos; *ii)* assim como os sistemas naturais, a estrutura industrial é diversificada, facilitando a absorção de choques ou distúrbios. Com base em Korhonen, Wiherasaari e Savolainen (2001), é lícito acrescentar o fluxo energético em cascata a essa lista: *iii)* a cadeia alimentar é organizada em uma conexão do tipo hierárquica, onde a energia solar incorporada na biomassa transita de um organismo ou de um nível trófico para outro; em analogia, o ecossistema industrial utiliza energias renováveis em diferentes níveis de qualidade, aproveitando o calor residual gerado nas diversas etapas de produção.

Alguns pesquisadores exploraram outros aspectos da metáfora, estabelecendo relações entre certos objetos estudados pela Ecologia Biológica (metabolismo, relações ecológicas interespecíficas, teias alimentares, ciclo carbono-oxigênio, biodiversidade, evolução) e os sistemas industriais. O Quadro 5, a seguir, sintetiza os esforços empreendidos por esses estudiosos, apresentando as principais analogias ecológicas abarcadas pela literatura da EI e dos ecossistemas industriais.

Quadro 5 – Analogias ecológicas da EI e da abordagem dos ecossistemas industriais

ANALOGIAS ECOLÓGICAS

1. Metabolismo industrial

O metabolismo industrial constitui uma das analogias mais influentes no campo da EI, enfatizando que, assim como os sistemas naturais, as atividades econômicas baseiam-se na circulação de matéria e energia. Uma vez que o tipo de fluxo de recursos (linear, cílico ou em cascata) afeta o uso do capital natural e a geração de efluentes, o conceito tem sido útil para descrever os impactos ambientais da indústria e sugerir maneiras de compatibilizá-la com a noção de sustentabilidade (ERKMAN, 1997; KORHONEN; VON MALMBORG; STRACHAN; EHRENFELD, 2004; KORHONEN; SNÄKIN, 2005).

2. Mutualismo e comensalismo industriais

Não obstante a ênfase na independência e na competitividade dos negócios, as empresas encontram-se envolvidas em cadeias e redes de fornecedores e de consumidores. Os ecologistas industriais advogam que essas interações são similares àquelas encontradas nos ecossistemas biológicos, uma vez que as firmas dependem umas das outras e dos demais agentes econômicos para sobreviver. Assim, esses estudiosos têm estabelecido analogias com as relações interespecíficas (entre indivíduos de espécies diferentes) observadas nos sistemas naturais a fim de examinar as interações envolvendo as firmas dentro de uma indústria. Glavic e Lukman (2007), por exemplo, desenvolveram o conceito de *mutualismo industrial* para descrever a situação em que empresas, funcionários e comunidade coexistem e todos eles desfrutam de benefícios por meio da utilização mais eficiente dos recursos naturais. Liwarska-Bizukojc *et al.* (2009), por sua vez, definiram o *comensalismo industrial* como a interação na qual uma empresa beneficia-se enquanto as demais não são afetadas. Esse caso pode ser observado quando as companhias possuem uma fonte comum de insumos ou compartilham uma infraestrutura ou serviço, sem que o metabolismo das mesmas encontre-se acoplado. Ambas as interações (mutualismo e comensalismo) são tomadas como modelos desejáveis para a conformação de ecossistemas industriais.

3. Simbiose industrial

A simbiose descreve a relação biológica em que pelo menos dois organismos diferentes realizam trocas que são mutuamente benéficas. Aplicado à EI, esse conceito refere-se à cooperação entre atores geograficamente próximos, trocando ou compartilhando matéria, energia, informação ou subprodutos. Nesse processo, o benefício coletivo é maior do que a soma dos benefícios individuais quando cada agente age isoladamente. O benefício compartilhado é resultado de ganhos sinérgicos obtidos com os usos alternativos para os subprodutos, com o compartilhamento de estruturas físicas e com a prestação conjunta de serviços (CHERTOW, 2000, 2004). Para distinguir a simbiose industrial dos demais tipos de trocas, Chertow (2007) adota uma *heurística 3-2*: pelos menos três entidades diferentes devem estar envolvidas na troca de pelo menos dois recursos distintos. Esse critério considera as interações complexas ao invés de uma forma de intercâmbio linear. Uma estação de tratamento de água residual que fornece esse recurso para uma termelétrica que, por sua vez, fornece vapor para um usuário industrial constitui uma rede que atende aos requisitos da heurística, compreendendo, portanto, um exemplo de simbiose industrial. Liwarska-Bizukojc *et al.* (2009) lembram que a simbiose pode ser obrigatória (um organismo é incapaz de existir na ausência de outro) ou facultativa (os organismos podem existir independentemente). No caso dos ecossistemas industriais, a simbiose facultativa é o tipo dominante.

4. Redes industriais de alimentação

Hardy e Graedel (2002) aplicaram a teoria quantitativa de cadeias alimentares em eco-parques industriais. Os pesquisadores observaram que muitos desses arranjos assemelhavam-se às teias alimentares encontradas na natureza, uma vez que eles continham *organismos industriais* (instalações ou empresas) interligados por fluxos de matéria e energia. Liwarska-Bizukojc *et al.* (2009) partiram dessa concepção para classificar as firmas de maneira análoga às funções exercidas pelas diversas espécies dentro de uma cadeia alimentar. Na taxonomia desenvolvida por esses autores, os *produtores industriais* constituem as empresas que geram bens com valor de mercado, incluindo água e energia, mais subprodutos e resíduos. Os *consumidores industriais*, por sua vez, são formados pelas empresas de comércio e serviços que utilizam os bens manufaturados pelos produtores, gerando apenas resíduos (não produzem bens materiais). Por fim, os *decompositores industriais* compreendem as firmas que transformam, reciclam e neutralizam os subprodutos e resíduos gerados pelos produtores e consumidores industriais, transformando-os em materiais ambientalmente seguros, desejáveis ou não pelo mercado (usinas de tratamento de água residual, plantas de incineração e empresas de reciclagem exemplificam este último caso). Essa classificação sugere a relevância de instalações processadoras de resíduos materiais para o estabelecimento de ecossistemas industriais. Ayres (2002), por exemplo, adverte que o desenvolvimento de sistemas eco-industriais requer o envolvimento de pelo menos um decompositor industrial.

(continua ...)

(... continuação)

5. Ciclagem de nutrientes

O reaproveitamento de resíduos materiais e energéticos nas operações industriais é, muitas vezes, elucidado como uma analogia da ciclagem de nutrientes presente nos sistemas naturais. Um exemplo comumente utilizado é o ciclo carbono-oxigênio: as plantas consomem dióxido de carbono e produzem oxigênio como resíduo metabólico; os animais requerem oxigênio para a respiração e produzem dióxido de carbono como resíduo metabólico (KORHONEN; WIHERSAARI; SAVOLAINEN, 2001). Os ecossistemas industriais procuram imitar esse ciclo, utilizando os efluentes da indústria e os materiais descartados pós-consumo nos processos produtivos subsequentes.

6. Diversidade

A biodiversidade é um elemento crucial para a sobrevivência dos ecossistemas naturais. A EI entende que a diversidade pode contribuir também para a sustentabilidade de um ecossistema industrial, aumentando a quantidade de interações nas quais os recursos são compartilhados e facilitando a absorção de choques. Essa concepção sustenta o ideário de que a uniformidade nas formas construídas de parques e regiões industriais deve ser substituída pela diversidade em atores (grandes indústrias, pequenas e médias empresas, organizações governamentais, consumidores finais) e atividades. Além disso, uma vez que o foco recai sobre os componentes sistêmicos e suas relações interdependentes, a política ambiental ou os instrumentos de gestão dessa política diferem das ferramentas tradicionais que se concentram em uma firma ou em um produto/processo individuais (KORHONEN; SNÄKIN, 2005). Korhonen (2001a) adverte que as dificuldades envolvidas no esforço de cooperação se elevam quando a diversidade do sistema aumenta, reforçando a necessidade de políticas próprias para o incentivo das práticas eco-industriais.

7. Fechamento do ciclo

Partindo de simplificações oriundas da biologia, Allenby (1992a) e Jelinski *et al.* (1992) descrevem o funcionamento de três tipos de sistemas ecológicos. O sistema tipo I ou modelo linear ilustra formas ineficientes de metabolismo, a exemplo das formas mais primitivas de vida; os recursos são tidos como ilimitados e as consequências do despejo de rejeitos são negligenciadas. Quando surgem limites, ele evolui para um modelo mais complexo e menos dissipador. Nesse modelo, denominado de sistema tipo II ou modelo *quasi-cíclico*, as interações entre os seus componentes já não são simplesmente um conjunto de fluxos lineares desligados, observando-se a realização de trocas simbióticas mais complexas. Apesar de mais eficiente, esse esquema ainda não é estritamente sustentável. Assim, para que o crescimento e a acumulação da biomassa prossigam, as interações ecossistêmicas necessitam atingir a ciclicidade completa, conforme demonstrado pelo sistema tipo III ou modelo cíclico. Tal sistema caracteriza-se pela reciclagem de toda a matéria, com nenhuma demanda por recursos exógenos e sem geração de resíduos. Ele é energeticamente aberto na medida em que depende de um fluxo contínuo de radiação solar para manter os fluxos de energia no seu interior. Com base nesses três modelos conceituais, a EI advoga o fechamento do ciclo, isto é, a transformação dos sistemas industriais lineares (tipo I) em sistemas de circuito fechado (tipo III) ou sistemas *roundput*, conforme denominado por Korhonen (2001c).

8. Perspectiva evolucionária

A trajetória evolutiva dos ecossistemas biológicos é marcada pela confluência de dois fatores: diversidade e interdependência. Nesse processo, o surgimento de novas espécies promoveu uma competição por recursos que induziu interações mais complexas entre os componentes ecossistêmicos. Como resultado, estabeleceu-se um sistema de circuito fechado, com recursos e resíduos sendo usados indefinidamente. A EI toma essa evolução como um modelo metafórico, estendendo-o para a atividade industrial (KORHONEN; SNÄKIN, 2005). A abordagem evolucionária da EI deriva, portanto, dos modelos conceituais de ecossistemas naturais (sistemas tipo I, II e III) e da analogia que se realiza com os sistemas industriais (linear, *quasi-cíclico* e cíclico). Boons e Baas (1997) salientam que essa perspectiva reverbera a concepção segundo a qual a conformação de ecossistemas industriais requer uma ação intencional ou planejada. Os autores argumentam que o ajuste de diferentes processos produtivos em relação aos demais e ao seu ambiente não se dá por meio de operações autônomas, como no caso dos sistemas naturais (nestes últimos, o mecanismo evolucionário opera autonomamente por meio dos fenômenos de variação, seleção e reprodução ao nível dos organismos).

(conclusão)

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Allenby (1992a); Jelinski *et al.* (1992); Boons e Baas (1997); Erkman (1997); Chertow (2000, 2004, 2007); Korhonen (2001a, 2001c); Korhonen, Wiherasaari e Savolainen (2001); Ayres (2002); Hardy e Graedel (2002); Korhonen, von Malmborg, Strachan e Ehrenfeld (2004); Korhonen e Snäkin (2005); Glavic e Lukman (2007); Liwarska-Bizukojc *et al.* (2009).

A EI supõe que as analogias acima descritas são apropriadas para investigar como as atividades produtivas poderiam ser reorganizadas e integradas entre si e com o ambiente natural, assemelhando-se às características dos ecossistemas biológicos (CÔTÉ; HALL, 1995; HARPER; GRAEDEL, 2004). Com efeito, essas analogias mantêm uma relação estreita com a ideia de ecossistema industrial, isto é, com a proposição central da EI para a aplicação dos seus princípios no nível interfirma. Contudo, alguns pesquisadores salientam problemas envolvendo a utilização desse enfoque analógico.

McManus e Gibbs (2008) relatam que a literatura da EI frequentemente parece confundir analogias com conceitos. De acordo com os autores, um conceito é uma abstração, uma ideia, sendo, portanto, discutível. As analogias, por seu turno, são comparações designadas para destacar semelhanças relevantes; quando empregadas apropriadamente, elas podem ilustrar argumentos, tornando uma conceituação mais inteligível. No caso da EI, seus proponentes derivam o conceito de uma analogia – os sistemas industriais como ecossistemas –, confundido, assim, esses dois termos. Hess (2010) aponta esse mesmo problema, indicando a relevância epistemológica da distinção dessas categorias para o desenvolvimento da abordagem dos ecossistemas industriais.

Jensen *et al.* (2011) sustentam que a EI não deveria ser vista como uma metáfora. Para os autores, esse enfoque constitui a própria *ecologia da indústria* e deve ser apreendido sob essa perspectiva. Yang e Lay (2004) partilham dessa visão, enfatizando que a ideia de ecossistemas industriais não deve ser simplesmente uma metáfora dos sistemas naturais, já que as atividades econômicas encontram-se embutidas na biosfera e, por conseguinte, os ecossistemas industriais constituem outra forma de ecossistema.

Korhonen (2004) discorda do argumento de que a EI e os ecossistemas industriais – porque subsistemas do ecossistema global – não compreendem uma metáfora. Para ele, a negação dessa metáfora permite que os ecossistemas naturais e a indústria sejam apreendidos como sistemas similares, acarretando dois problemas principais. Primeiro, toma-se a noção de que um ecossistema industrial perfeito é alcançável. No entanto, esse resultado é impossível, uma vez que a natureza não possui cultura como os grupamentos humanos²¹. Segundo, a noção de unicidade entre os sistemas naturais e o sistema industrial enseja a utilização das mesmas metodologias de pesquisa para o exame de ambos, quais sejam os métodos das Ciências Naturais e da Biologia. Mais uma vez a existência da cultura

²¹ Korhonen (2004) adverte que os princípios ecossistêmicos devem ser usados no máximo como direções iniciais para o desenvolvimento de ecossistemas industriais. Por exemplo, o reaproveitamento de materiais residuais nem sempre constitui uma solução ótima do ponto de vista ambiental, pois o processamento de resíduos e as atividades de recuperação da matéria também podem gerar efluentes e consumir energia. A diversidade de empresas, por sua vez, eleva o risco de interesses econômicos ou sociais conflitantes, dificultando a cooperação. Ademais, enquanto que no meio ambiente os organismos reagem a estímulos naturais (falta de alimentos, condições climáticas, presença de um predador), os atores econômicos reagem a preços/custos que não refletem os problemas ambientais em sua integridade.

humana é negligenciada. A análise da indústria deve englobar também as Ciências Sociais, mormente os estudos culturais, organizacionais e de gestão.

Daly (1968) entende que as analogias são fundamentais para a sistematização do pensamento, constituindo “a essência do lado indutivo da ciência” (DALY, 1968, p. 392, traduzido). A fim de ilustrar seu argumento, o estudioso escreve que a primeira escola da Economia, a fisiocracia, enfatizou a supremacia da natureza; isso significa que os estudos econômicos originaram-se de uma analogia biológica. A Economia, por sua vez, também reverberou na construção de analogias na Biologia, como é o caso da influência que a teoria da população de Thomas Malthus exerceu sobre os estudos evolucionários de Charles Darwin. De acordo com o autor, “longe de serem superficiais, essas analogias estão profundamente enraizadas no fato de que o tema final da biologia e da economia é um só, o processo da vida” (DALY, 1968, p. 392, traduzido).

A viabilidade metodológica das metáforas e analogias ecossistêmicas reside na utilização das mesmas para a consecução de objetivos específicos. Os instrumentos analógicos podem, por exemplo, auxiliar a compreensão de um sistema dependente da circulação de matéria e energia. Acredita-se que esse fator deve balizar a aceitação desses instrumentos. Com efeito, são as metáforas e analogias que permitem conciliar indústria e meio ambiente e, desse modo, buscar estratégias viáveis para o estabelecimento de estruturas produtivas eco-eficientes.

1.2.2 Coordenação de mercado *versus* planejamento público: qual o melhor caminho para a conformação de ecossistemas industriais?

De acordo com Ayres (2002), a transição em direção a um ecossistema industrial pode ser induzida por meio de ações voluntárias e proativas do setor privado (firmas preexistentes em uma localidade ou região optam pela cooperação, trocando e utilizando resíduos materiais e energéticos) ou a formação desse arranjo pode ser dirigida por órgãos governamentais. Um aspecto relevante refere-se, pois, à questão dos condicionantes para a realização do ecossistema industrial na prática. A literatura científica sobre o tema revela que *coordenação de mercado* e *planejamento público* foram comparados como caminhos alternativos para a consecução dessa estratégia.

O Quadro 6, a seguir, enumera as diversas experiências de ecossistemas industriais relatadas por pesquisadores, com indicações de suas respectivas referências bibliográficas. O quadro também indica se a origem e evolução desses sistemas deram-se com base em

iniciativas do setor privado e/ou foram induzidas por políticas públicas. No caso de estratégias eco-industriais baseadas em algum tipo de consórcio entre as esferas privada e pública, entende-se que as mesmas contaram com mecanismos de mercado e planejamento público. Cabe ressaltar que, em alguns casos, os agentes da esfera privada optaram voluntariamente (sem a participação do Estado) por essa estratégia como resposta às regulações ambientais, isto é, o mercado foi coordenado pelo setor público. Além disso, alguns ecossistemas industriais criados por meio de planejamento público partiram de parques ou regiões industriais já existentes, os quais foram adaptados de modo a elevar seu desempenho ambiental. Tais particularidades não são identificadas no quadro.

Quadro 6 – Experiências de ecossistemas industriais exploradas pela literatura científica

ECOSISTEMA INDUSTRIAL	PAÍS	COORDENAÇÃO DE MERCADO	PLANEJAMENTO PÚBLICO	REFERÊNCIAS
<i>Synergy Industrial Park</i>	Austrália		X	Roberts-Herbert (2004)
<i>Ecopark Hartberg</i>	Áustria		X	Liwarska-Bizukojc <i>et al.</i> (2009)
<i>Recycling Network of Styria</i>	Áustria	X		Schwarz e Steininger (1997)
<i>Paracambi Eco-Industrial Park</i>	Brasil		X	Veiga e Magrini (2009)
<i>Santa Cruz Eco-Industrial Park</i>	Brasil		X	Veiga e Magrini (2009)
<i>Burnside Industrial Park</i>	Canadá	X		Côté e Hall (1995); Côté e Smolenaars (1997)
<i>Guitang Sugarcane Eco-Industrial Park Project</i>	China		X	Zhu e Côté (2004); Chertow (2007); Zhu <i>et al.</i> (2007); Fang, Côté e Qin (2007)
<i>Guiyang City</i>	China		X	Fang, Côté e Qin (2007)
<i>Lubei Group</i>	China		X	Fang, Côté e Qin (2007)
<i>Tianjin Economic-Technological Development Area (TEDA)</i>	China		X	Shi, Chertow e Song (2010); Geng, Zhu e Haight (2007)
<i>Daedok Technovalley Development Project</i>	Coréia do Sul		X	Oh, Kim e Jeong (2005)
<i>Ulsan Industrial Complexes</i>	Coréia do Sul	X	X	Park <i>et al.</i> (2008)
<i>Kalundborg Industrial Symbiosis</i>	Dinamarca	X		Tibbs (1992); Lowe e Evans (1995); Gertler (1995); Ehrenfeld e Gertler (1997); Chertow (2007)
<i>Dallas Eco-Industrial Park</i>	EUA		X	Gibbs e Deutz (2005, 2007)

(continua ...)

(... continuaçāo)

<i>Gulf Coast By Product Sinergy Project, Freeport</i>	EUA	X	X	Gibbs e Deutz (2005, 2007)
<i>Londonderry Eco-Industrial Park</i>	EUA	X		Deutz e Gibbs (2004); Gibbs e Deutz (2005, 2007)
<i>Port of Cape Charles Sustainable Technology Park</i>	EUA		X	Carr (1998); Deutz e Gibbs (2004); Gibbs e Deutz (2005, 2007)
<i>Jyväskylä Industrial Ecosystem</i>	Finlândia	X		Korhonen (2001a)
<i>Uimaharju Forest Industry Park</i>	Finlândia	X		Korhonen e Snäkin (2005)
<i>Industrial EcoSystems Project (INES)</i>	Países Baixos	X	X	Baas (1998); Lambert e Boons (2002); Baas e Boons (2004)
<i>Barceloneta</i>	Porto Rico	X		Ashton (2008)
<i>Humber Region Industrial Symbiosis Programme</i>	Reino Unido	X	X	Mirata (2004)
<i>Mersey Banks Industrial Symbiosis Programme</i>	Reino Unido	X	X	Mirata (2004)
<i>West Midlands Industrial Symbiosis Programme</i>	Reino Unido	X	X	Mirata (2004)
<i>Jurong Island Petrochemical Industrial Park</i>	Singapura	X		Yang e Lay (2004)

(conclusāo)

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tibbs (1992); Côté e Hall (1995); Gertler (1995); Lowe e Evans (1995); Côté e Smolenaars (1997); Ehrenfeld e Gertler (1997); Schwarz e Steininger (1997); Baas (1998); Carr (1998); Korhonen (2001a); Lambert e Boons (2002); Baas e Boons (2004); Deutz e Gibbs (2004); Mirata (2004); Roberts-Herbert (2004); Yang e Lay (2004); Zhu e Côté (2004); Gibbs e Deutz (2005, 2007); Korhonen e Snäkin (2005); Oh, Kim e Jeong (2005); Chertow (2007); Fang, Côté e Qin (2007); Geng, Zhu e Haight (2007); Zhu et al. (2007); Ashton (2008); Park et al. (2008); Liwarska-Bizukojc et al. (2009); Veiga e Magrini (2009); Shi, Chertow e Song (2010).

A partir das experiências anteriormente elencadas (Quadro 6), verifica-se que 44% delas envolveram apenas planejamento público, enquanto que 32% basearam-se tão somente na coordenação de mercado. O restante (24%) resultou de um consórcio entre Estado e setor privado. Observa-se, portanto, uma prevalência de estratégias eco-industriais induzidas com o apoio – único ou em conjunto com outras iniciativas – do setor público (este último participou de 68% dessas estratégias). Tais dados fornecem indícios da relevância da intervenção estatal na condução de projetos eco-industriais. No entanto, não há um consenso acerca da centralidade do Estado nesse processo, já que alguns estudiosos apontam as forças de mercado como principal condicionante para a conformação de ecossistemas industriais.

O exemplo clássico de ecossistema industrial é o distrito industrial de Kalundborg, na Dinamarca. Sterr e Ott (2004) afirmam que a simbiose de Kalundborg foi dirigida pelos mecanismos de mercado, pois resultou de acordos bilaterais entre as empresas da localidade sem a participação de fatores externos. Desrochers (2002b, 2004) utiliza esse caso para ilustrar o fato de que as próprias pressões competitivas levam as firmas a procurarem formas de reduzir o desperdício e extrair valor dos resíduos.

Apesar da percepção relativamente comum de que o aumento da eficiência na indústria seguiu uma trajetória tecnológica que instituiu um padrão linear de fluxos de matéria e energia, Desrochers (2002b) postula que esse argumento não está de acordo com a evidência histórica. Por meio de análises empíricas dos primeiros estágios da era industrial e de atividades industriais específicas, ele revela que muitas práticas de produção do final do século XIX e começo do XX envolveram reciclagem extensiva e uso de subprodutos. De acordo com o autor, a história da indústria não corrobora a ideia da prevalência de um processo linear de extração, uso e disposição de recursos naturais²². As próprias forças de mercado incentivaram a introdução de técnicas inovativas para a utilização de subprodutos, uma vez que a reciclagem e o reaproveitamento são mais rentáveis no longo prazo.

Se o reaproveitamento de materiais existiu no passado, por que essa característica não é apontada pela maioria dos teóricos da EI? Desrochers (2002b) enumera duas razões: *i)* uma interpretação equivocada dos efeitos de longo prazo da competição de mercado sobre o comportamento relacionado ao desperdício; e *ii)* a introdução progressiva e cumulativa de distorções de mercado e de barreiras regulatórias ao longo do século XX (inúmeras políticas adotadas nesse período desincentivaram o reaproveitamento de recursos, tais como a discriminação do custo de transporte de materiais secundários e os

²² Desrochers (2002b) escreve que, no final do século XIX, as relações interfirmas baseadas no reaproveitamento de materiais se tornaram suficientemente importantes para garantir a criação da *American Industrial Waste Trade Industry Association* nos EUA.

subsídios ao setor primário). O autor conclui que a construção de um arcabouço institucional que force as firmas a internalizar suas externalidades, mas as mantenha livres para descobrir usos novos e mais rentáveis para os resíduos, deve ser a prioridade das medidas prescritivas relativas à conformação de ecossistemas industriais.

Em uma publicação mais recente, Desrochers (2004) aponta que uma série de ligações de reciclagem interindústria desenvolveu-se na Europa e na América do Norte nas últimas décadas. Ele considera a constituição dessas redes como resultados espontâneos de acordos bilaterais entre empresas que buscaram reduzir os custos de tratamento e de eliminação de rejeitos, assim como ter acesso a materiais e energia mais baratos e gerar renda a partir da comercialização de subprodutos. Sendo assim, o autor advoga que o movimento em direção ao planejamento público de ecossistemas industriais é errôneo, uma vez que ele reflete um conhecimento insuficiente de como as forças de mercado historicamente promoveram a recuperação de recursos²³.

Van Leeuwen *et al.* (2003) compartilham a concepção de que a troca de recursos entre as firmas não é inteiramente nova, sobretudo nos complexos da indústria química. Contudo, esses complexos existem dentro de classes de indústria relativamente homogêneas ligadas através de seus fluxos de produtos e subprodutos, enquanto que os desafios atuais residem no estabelecimento de interações novas e inesperadas entre classes heterogêneas de indústrias. No caso destas últimas, alguns estudiosos têm sugerido que o aumento do planejamento público pode produzir melhores resultados do que a evolução espontânea baseada na coordenação de mercado. O argumento central, conforme Korhonen, Wihsaari e Savolainen (2001), é que os atores econômicos reagem a preços/custos que não refletem todas as carências ou problemas nos estoques e fluxos de capital natural. A fraqueza dos preços em sinalizar os problemas ambientais pode ser entendida como uma falha de mercado, corroborando a necessidade de instrumentos políticos para a criação de práticas econômicas ambientalmente seguras.

Alguns pesquisadores salientam a existência de inúmeras barreiras para a implantação de projetos eco-industriais. Nesse particular, Heeres *et al.* (2004) descrevem cinco obstáculos principais: *i) barreiras técnicas*, quando as atividades produtivas não podem ser ajustadas em um modelo integrado porque as trocas não são viáveis; *ii) barreiras econômicas*, quando as trocas são economicamente insustentáveis ou envolvem riscos elevados (por exemplo, a inexistência de um mercado sólido para a comercialização de subprodutos); *iii) barreiras relacionadas à informação*, quando os agentes não detêm informações acerca das possibilidades de reaproveitamento dos resíduos materiais e

²³ Comparando os diferentes casos da Inglaterra na época vitoriana e da Hungria comunista, Desrochers (2004) conclui que a constituição de redes de reciclagem interindústria mostrou-se muito mais difundida e bem sucedida nas economias de mercado do que nas de planejamento central.

energéticos; iv) *barreiras relacionadas à regulação*, quando as trocas não estão autorizadas a ocorrer; e v) *barreiras organizacionais*, quando empresas, órgãos públicos e outros atores locais relevantes não se dispõem a cooperar. A observação desses autores reverbera a noção segundo a qual o mercado apresenta falhas, dificultando a adoção voluntária de estratégias sustentáveis pelas firmas. Com efeito, a própria qualificação das barreiras organizacionais supõe parcerias público-privadas para o êxito dos ecossistemas industriais.

Partindo da hipótese de que a intervenção pública produz resultados satisfatórios no esforço de implantação de ecossistemas industriais, Côté e Smolenaars (1997) enumeram três ferramentas políticas fundamentais: informação técnica, instrumentos econômicos e regulações²⁴. Para os autores, tais ferramentas sustentam um fluxo de informação e incentivos para o estabelecimento de cadeias e redes simbióticas no nível interfirma. Tudor *et al.* (2007) ponderam que, embora o desenvolvimento eco-industrial deva ser facilitado, os “ingredientes” básicos para a sua conformação necessitam existir no local ou região, essencialmente um *mix* correto de empresas e a vontade das mesmas em cooperar. Tais ingredientes podem então ser aprimorados por meio de uma estrutura de suporte correta, incluindo legislação apropriada, planejamento financeiro, participação ativa de um conjunto de *stakeholders* (agências governamentais, líderes dos setores industrial e financeiro, representantes dos trabalhadores, instituições de ensino, profissionais com formação adequada, organizações ambientais e comunidade) e cooperação em P&D.

É importante considerar, assim como fazem Sagar e Frosch (1997), os efeitos das políticas nos níveis sistêmico e individual, dado que seus impactos podem se mostrar distintos em ambas as esferas. A Biologia revela que os ecossistemas com maior biodiversidade são geralmente mais estáveis e produtivos, embora as flutuações nas populações de espécies individuais possam ser mais amplas do que aquelas em sistemas menos diversos. Isso significa que o que é bom para o ecossistema pode não ser necessariamente bom para as suas espécies individuais. É interessante verificar se isso tem implicações para os ecossistemas industriais. Sagar e Frosch (1997) salientam que as políticas podem muitas vezes ser conduzidas pelas necessidades de grupos de interesse, os quais representam uma espécie no interior do ecossistema industrial. Nesses casos, ao proteger as necessidades de um determinado grupo, as políticas podem elevar a estabilidade deste último em detrimento da produtividade e estabilidade de todo o ecossistema. Segundo os autores, se o foco é a estabilidade do conjunto do sistema, a

²⁴ Côté e Smolenaars (1997) exemplificam os instrumentos econômicos: imposto sobre recursos virgens e não renováveis, taxas para contabilizar os impactos ambientais, empréstimos e subsídios, políticas e metas de contratação e cotas. Com base em Korhonen (2004) é possível ampliar essa lista, acrescentando os instrumentos econômicos usados para induzir práticas inovativas em direção a tecnologias ambientalmente sustentáveis.

estratégia poderia ser a de promover a diversidade do ecossistema industrial, exigindo prescrições políticas diferentes.

Mais uma advertência se faz necessária. Chiu e Yong (2004) afirmam que existe uma grande variação nas políticas ambientais, econômicas e sociais, bem como na disponibilidade de recursos (financeiros e tecnológicos) entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Os modelos de ecossistemas industriais devem, portanto, ser adaptados de acordo com as condições de cada país. Nesse sentido, os esforços para a criação de um ambiente favorável ao desenvolvimento eco-industrial irão variar dependendo dos contextos geográfico, social, político, ambiental, econômico e institucional.

Retomando a indagação acerca do melhor caminho para a implantação de ecossistemas industriais, entende-se que nenhuma solução ideológica ou monolítica para um conjunto tão complexo de questões que envolvem essa estratégia pode ser antecipada. Com efeito, visualiza-se a necessidade de combinações entre políticas governamentais e ações proativas do setor privado. Nesse ponto, cabe considerar os resultados da pesquisa realizada por van Hemel e Cramer (2002), os quais constataram que as oportunidades de inovação, a capacidade de aumentar a qualidade do produto e novas oportunidades de mercado (em suma, o desejo/necessidade de elevar as vantagens competitivas) foram os fatores internos mais influentes para o *eco-design*. As demandas dos clientes e as políticas e regulamentações governamentais, por sua vez, foram os principais estímulos externos. É razoável supor que os ecossistemas industriais sejam influenciados pelos mesmos fatores. Nesse sentido, as políticas públicas devem alterar o comportamento das empresas, sem tolher-lhes os benefícios da coordenação de mercado, deixando-lhes a liberdade necessária para desenvolver novas e lucrativas aplicações para os subprodutos.

1.3 CRIAÇÃO DESTRUTIVA OU DESTRUÇÃO CRIADORA?

É possível conceber o modelo de indústria vigente – baseado em fluxos lineares – como um processo de *criação destrutiva*, já que a produção de bens e serviços (atividade de criação) resulta em destruição. Essa destruição se expressa no esgotamento das fontes de recursos naturais, bem como na geração de efluentes que requerem vazadouros²⁵. Face às evidências da gestação de uma crise ambiental, a manutenção dessa estrutura produtiva é insustentável.

²⁵ A termodinâmica entende essa destruição como o aumento da entropia.

Nesse cenário, há o consenso de que a conformação de ecossistemas industriais é altamente benigna, dado o melhor desempenho ambiental proporcionado por esses arranjos. No entanto, uma série de obstáculos impedem sua implementação. Em primeiro lugar, tem-se a ideologia econômica prevalecente. A metáfora mecânica adotada pelos neoclássicos implica em não reconhecer os fluxos de matéria e energia que perpassam as atividades produtivas. O progresso das sociedades é avaliado em termos da circulação de renda e de bens, sem considerar a absorção de materiais e a liberação de resíduos. O processo produtivo reduz-se à alocação de fatores e supõe-se que a substituição entre eles seja ilimitada. Toma-se, assim, a concepção errônea de que o fluxo de recursos naturais pode ser substituído indefinidamente por capital construído (CECHIN; VEIGA, 2010).

Percebe-se que a teoria neoclássica tende para a direção oposta daquilo que propõe a EI, favorecendo a abertura dos ciclos de recursos e a obsolescência dos produtos. Ademais, não há um questionamento do modelo de indústria historicamente instituído, muito menos do padrão tecnológico corrente como fatores que agravam os problemas ambientais. Em outras palavras, as ideias econômicas dominantes não constituem um amparo teórico para o desenvolvimento e a operação de ecossistemas industriais. De acordo com Sachs (2000), a eficiência econômica não pode ser mais avaliada unicamente com base na rentabilidade da empresa, mas sim com base nas externalidades sociais e ecológicas. É necessário um tratamento holístico para que haja um equilíbrio entre as necessidades de progresso material e de conservação do capital natural. Para tanto, como observam Frosch e Gallopolous (1989), o conceito de EI deve ser reconhecido e valorizado pelo Estado, por líderes da indústria e da mídia e pelo sistema educacional.

Os rejeitos e efluentes oriundos da atividade produtiva representam o lado da oferta do ecossistema industrial. Assim, um segundo obstáculo para a implantação desse arranjo comprehende o lado da demanda, isto é, o papel do consumidor. Os resíduos gerados pelo consumo das famílias também devem ser minimizados e utilizados nos próximos ciclos de produção. Mudanças na produção, portanto, devem ser acompanhadas por alterações nos padrões de demanda dos consumidores e no tratamento dos materiais, uma vez comprados e utilizados (FROSCH; GALLOPOULOS, 1989). Aqui, mais uma vez, a valorização do conceito de EI pelos *policy makers* e formadores de opinião exerce um papel fundamental, uma vez que pode influenciar o comportamento relacionado ao consumo, tornando-o condizente com a noção de sustentabilidade ambiental.

Uma terceira barreira para a implantação de ecossistemas industriais refere-se ao padrão tecnológico vigente. Sachs (2000) pondera que a tecnologia é uma variável fundamental, pois corresponde à maneira de relacionar o meio ambiente com os objetivos de crescimento econômico. Desse modo, grande esforço deve ser empreendido em direção

a tecnologias que permitam aproveitar melhor a oferta potencial de recursos em bases sustentáveis, o que exige avanços em diversas áreas do conhecimento, especialmente daquelas relacionadas às Ciências da Natureza. Para Tibbs (1992), a interface entre indústria e meio ambiente requer uma expansão do conhecimento sobre as dinâmicas dos ecossistemas naturais tanto a nível local quanto global, bem como o entendimento detalhado da capacidade de assimilação de resíduos pela biosfera e informações em tempo real das condições ambientais.

Muitos estudiosos visualizam a inovação tecnológica como o instrumento central para a solução dos problemas socioambientais²⁶. Nesse particular, Lifset e Graedel (2002) destacam o papel das empresas: como *lócus* de expertise tecnológica, elas são agentes cruciais para a reestruturação da indústria em um modelo ajustado às características dos sistemas naturais. Longe de uma oposição axiomática entre meio ambiente e competitividade, os ecossistemas industriais fornecem fortes evidências de que os esforços inovativos na direção de tecnologias ambientalmente seguras podem induzir ganhos de competitividade não negligenciáveis. Nesse sentido, as proposições da EI constituem ferramentas relevantes para o direcionamento das atividades de P&D, bem como das políticas que buscam incentivar o avanço técnico.

Frosch e Gallopolous (1989) salientam que harmonizar os desejos de desenvolvimento industrial com o imperativo de segurança ambiental é um grande desafio. No entanto, os incentivos são óbvios: as empresas minimizarão seus custos e aumentarão sua competitividade ao aderirem a uma abordagem mais racional. Para além da retórica do desenvolvimento sustentável, uma motivação para a implantação de ecossistemas industriais é o incremento da competitividade: esse modelo é uma forma das empresas explorarem seus recursos, incluindo os resíduos, com maior eficiência. A criação de um ecossistema industrial, além de altamente vantajosa do ponto de vista ambiental, é também lucrativa.

Em *Capitalismo, Socialismo e Democracia*, Schumpeter (1961) cunhou a expressão *destruição criadora* para explicitar o entendimento do capitalismo como um sistema que se transforma em virtude do processo de inovação engendrado pelas próprias forças da

²⁶ Este é, por exemplo, o fulcro da Economia Verde (*Green Economy*). A *Green Economy Initiative* é coordenada pelo UNEP e integra as nove iniciativas conjuntas adotadas pela ONU em resposta à crise econômica e financeira de 2008. De acordo com esse órgão internacional, a Economia Verde é aquela “que resulta em melhorias no bem-estar e equidade social, reduzindo significativamente os riscos ambientais e a escassez ecológica” (UNEP, 2010, p. 5). Ademais, fundamenta-se na ideia de que muitos setores “verdes”, como energia renovável e transporte sustentável, oferecem oportunidades de investimento e emprego com potencial para liderar a recuperação das nações afetadas pela recente instabilidade do capitalismo mundial (UNEP, 2011b). Nesse sentido, os principais pilares sobre os quais se sustenta a transição para a Economia Verde são a realocação de investimentos e a crescente utilização de tecnologias ambientalmente seguras. A mudança técnica na direção de tecnologias mais limpas e eficientes no uso dos recursos naturais constitui, portanto, um instrumento central para a consecução dessa estratégia.

concorrência. Supondo que a transformação dos sistemas industriais lineares em ecossistemas industriais seja decorrente de esforços inovativos engendrados pelas limitações ecossistêmicas – ou maior competição por recursos –, é lícito considerar a capacidade da *destruição criadora* de gestar a conciliação entre indústria e meio ambiente. Isso porque as próprias forças que movem e modificam o capitalismo podem ser conduzidas de modo a assegurar uma maior racionalidade no uso do capital natural. É provável que a manutenção de uma *criação destrutiva* ou a opção por um movimento de *destruição criadora* em direção a um sistema produtivo ambientalmente benigno influenciará a reprodução econômica das sociedades.

Este capítulo discutiu os alicerces teóricos que dão suporte à abordagem dos ecossistemas industriais, os quais compreendem o enfoque normativo da corrente conhecida como Ecologia Industrial. Observou-se que os ecossistemas industriais buscam a conformação de estruturas produtivas intrinsecamente ajustadas às tolerâncias e características dos sistemas naturais, promovendo ganhos substanciais em produtividade. Verificou-se que o escopo desse enfoque pode ser ampliado de modo a abarcar perspectivas relacionadas com os aspectos sociais do desenvolvimento sustentável, e que uma estratégia eco-industrial exige a participação da ampla gama de atores econômicos (governo, empresas, setor financeiro, grupos de interesse, famílias). Partindo desta fundamentação teórica, os próximos capítulos concentram-se no objetivo central desta dissertação: caracterizar as tendências e os padrões da produção científica mundial e brasileira cuja temática reside nos ecossistemas industriais. O capítulo que se segue descreve os procedimentos metodológicos utilizados para tal fim.

CAPÍTULO 2

O MÉTODO BIBLIOMÉTRICO: ASPECTOS TEÓRICOS E O PROCESSO DA PESQUISA

Marconi e Lakatos (2003) apontam que o método científico refere-se ao conjunto de abordagens, técnicas e processos utilizados pela ciência para formular e resolver problemas de aquisição objetiva do conhecimento de uma maneira sistemática. Amparando-se nessa definição, o presente capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para a elaboração desta dissertação.

Em síntese, a atividade de investigação consistiu no exame bibliométrico da publicação científica mundial e brasileira sobre o tema “ecossistemas industriais”. Isso significa que as metrias da informação, particularmente a Bibliometria, constituem âncoras conceituais relevantes para a descrição do método de pesquisa; por isso, elementos conceituais e teóricos referentes a esta técnica se fazem presentes neste capítulo.

A primeira seção (2.1) aborda a origem e o desenvolvimento dos estudos métricos no âmbito da Ciência da Informação, bem como as leis e os princípios bibliométricos. A fim de ilustrar a relevância desse instrumental analítico, a segunda seção (2.2) discute o emprego da Bibliometria em alguns estudos selecionados. Finalmente, a última seção (2.3) descreve o processo da pesquisa, isto é, os trajetos percorridos ao longo deste trabalho de investigação.

2.1 O MÉTODO DE ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA: ASPECTOS TEÓRICOS

Santos e Kobashi (2009) salientam que o uso de métodos quantitativos para mapear informações a partir de registros bibliográficos não constitui um fato recente. Os autores recorrem ao trabalho de Joumana Boustany para ilustrar o argumento de que essa prática vem sendo realizada há pelo menos duzentos anos. Em sua tese de doutoramento em Ciência da Informação na *Michel de Montaigne University*, França, Boustany faz referência a um autor desconhecido – citado no *Manuel du Bibliophile ou traité du Choix des livres* editado em 1823 –, que pesquisou a produção universal de livros no período compreendido entre a segunda metade do século XV e o início do século XIX (BOUSTANY, 1997 *apud*

SANTOS; KOBASHI, 2009). No entanto, foi no século XX que a análise estatística de dados bibliográficos ganhou densidade e legitimidade.

Em 1922, Edward Wyndham Hulme usou o termo *Statistical Bibliography* com a conotação de esclarecimento dos processos científicos e tecnológicos por meio da contagem de documentos²⁷. A expressão foi escassamente empregada nas décadas seguintes. Somente em 1962 ela foi mencionada novamente, desta vez por Miles Raisig. Raisig apresentou uma revisão da literatura sobre métodos quantitativos de pesquisa na área das ciências da saúde, apreendendo a Bibliografia Estatística como reunião e interpretação de estatísticas relacionadas a livros e periódicos (GUEDES, 2012). Em 1969, Allan Pritchard propôs a utilização da palavra *Bibliometria* em substituição à *Bibliografia Estatística*, expressando o desejo de que a primeira fosse usada explicitamente nos estudos que buscasse quantificar os processos de comunicação escrita (PRITCHARD, 1969).

Fonseca (1986) assinala, porém, que o francês Paul Otlet cunhou o termo várias décadas antes, em sua obra intitulada *Traité de documentation: le libre sur le libre*, de 1934. Nesse trabalho, a Bibliometria foi definida como a área que se ocupa da medida ou da quantidade aplicada a livros. Verifica-se, portanto, uma divergência quanto à origem da palavra Bibliometria: a maioria dos estudiosos anglo-saxões atribui sua criação a Pritchard; os historiadores franceses, por seu turno, consideram Otlet como o verdadeiro criador da expressão, cabendo a Pritchard a popularização do uso desta (VANTI, 2002; SANTOS; KOBASHI, 2009, GUEDES, 2012).

A Bibliometria comprehende, de acordo com Tague-Sutcliffe (1992), o exame dos aspectos quantitativos dos processos de produção, disseminação e uso da informação registrada, contendo medidas e modelos matemáticos que auxiliam os exercícios de prospecção e tomada de decisão. Guedes (2012) sublinha que as publicações, autores, palavras-chave, usuários, citações e títulos de periódicos são alguns parâmetros pesquisados em exames bibliométricos da comunicação escrita. Esses indicadores podem explicar a dinâmica da produção científica em domínios específicos, contribuindo para a discussão do papel da pesquisa em cada área temática, além de servir como ferramentas para a descrição de questões que surgem no âmbito da ciência.

Araújo (2006) escreve que a Bibliometria promove uma avaliação objetiva da produção científica por meio de técnicas estatísticas e matemáticas. Os aspectos analisados englobam a frequência de publicações por ano, por periódico, por autor, assim como o número de citações dos artigos em bases de dados tecno-científicas. Para o entendimento

²⁷ Hulme apresentou o termo em uma conferência na Universidade de Cambridge, reportando-se a um estudo pioneiro de Cole e Eale, de 1917, referente à análise estatística de uma bibliografia sobre anatomia comparada (VANTI, 2002).

da produtividade e do avanço do conhecimento é muito útil verificar quais são os pesquisadores e centros de pesquisa que mais contribuem para o desenvolvimento de um campo de investigação.

Os estudos biométricos podem ser divididos em dois planos. De um lado, o *macroplano* busca encontrar as unidades básicas estruturais de uma ciência, suas inter-relações e redes. De outro, o *microplano* procura estabelecer o melhor conhecimento possível de um domínio específico para informar o seu estado da arte. A busca de indicadores orienta esses dois processos. Os indicadores, por sua vez, são classificados como sendo de *i*) uma dimensão de atividade (contagem de publicações) e de impacto (contagem das citações); ou de *ii*) duas dimensões, as quais estabelecem ligações ou elos entre pesquisadores, instituições e sistemas científicos e tecnológicos dos países (MORETTI; CAMPANARIO, 2009).

O processo histórico de constituição das análises voltadas para a contagem de livros e periódicos revela que a Bibliometria antecedeu a criação da própria Ciência da Informação. Por uma exigência da evolução tecnológica do conhecimento, novos métodos de mensuração e avaliação do fluxo de informação surgiram. Os objetos dos estudos métricos passaram, gradativamente, da contagem de livros e revistas, para fins de gestão, para a interpretação da atividade científica e para a orientação de políticas científicas e tecnológicas. Entre essas novas abordagens, encontram-se a Cientometria²⁸, a Informetria e a Webmetria. Essas nomenclaturas são muitas vezes tratadas como sinônimos, mas é importante destacar que elas objetivam atingir, respectivamente, diferentes campos: avanços quantitativos da ciência, informação em qualquer formato, e conteúdos da *World Wide Web*. Cada uma delas possibilita medir sob diferentes enfoques um *corpus* de conhecimento (VANTI, 2002; BERNARDINO; CAVALCANTE, 2011; GUEDES, 2012).

A Cientometria é definida por Tague-Sutcliffe (1992) como o estudo dos aspectos quantitativos da ciência enquanto disciplina ou atividade econômica aplicada no desenvolvimento de políticas científicas. De acordo com Vanti (2002), a Cientometria investiga, por meio de indicadores quantitativos, uma determinada disciplina da ciência, sendo que esses indicadores são aplicados no desenvolvimento de políticas científicas. Ela busca medir os incrementos de produção e produtividade de uma disciplina ou de um grupo de pesquisadores a fim de delinear o crescimento de determinado ramo do conhecimento. Nesse sentido, a Cientometria sobrepõe-se às técnicas biométricas, apesar de também empregá-las.

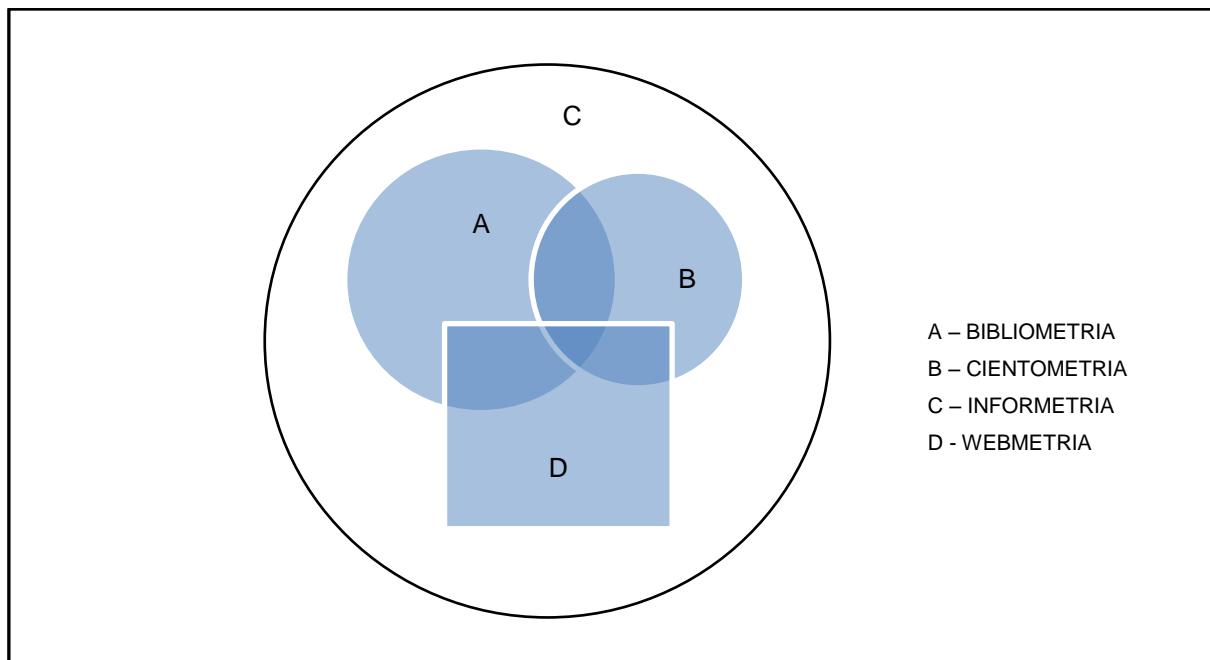
²⁸ Alguns autores usam o termo Cienciometria. No entanto, a expressão Cientometria vem ganhando mais notoriedade entre os acadêmicos (BERNARDINO; CAVALCANTE, 2011).

A Informetria possui um escopo mais abrangente do que as duas metrias anteriores. Segundo Tague-Sutcliffe (1992), ela refere-se ao estudo dos aspectos quantitativos da informação, em qualquer formato, voltada para a comunicação, oral ou escrita, bem como para as necessidades e usos de qualquer indivíduo ou grupo social, e não apenas de uma elite intelectual. Percebe-se, então, que a Informetria incorpora os estudos de avaliação da informação que estão fora dos limites das demais subáreas da Ciência da Informação.

Com os avanços tecnológicos, as metrias da informação encontraram novos e estimulantes campos de atuação. Este é o caso das análises atualmente desenvolvidas sobre o conteúdo e a estrutura das *home-pages* na *Web*, consubstanciando o que se convencionou chamar de Webmetria. Os motores de busca, como o *Alta Vista*, *Yahoo* ou *Google*, compreendem instrumentos fundamentais para a realização das análises webométricas, uma vez que facilitam a avaliação dos fluxos de intercâmbio de dados na rede mundial de computadores (VANTI, 2002).

Para Guedes (2012), as quatro subáreas de metrias da informação constituem domínios estreitamente relacionados. Em conjunto, elas possibilitam a mensuração dos fluxos de informação, da comunicação e da difusão do conhecimento. A Figura 1 ilustra um esquema de superposição dessas subdisciplinas.

Figura 1 – Superposição das subáreas da Ciência da Informação



Fonte: Vanti (2002) e Guedes (2012).

Macias-Chapula (1998) reporta uma tabela que apresenta os objetos de estudo, as variáveis, os métodos e objetivos da Bibliometria, Cientometria e Informetria. Vanti (2002) agregou a essa tabela informações complementares, incluindo elementos relacionados à Webmetria. O Quadro 7 reproduz esse esforço comparativo, uma vez que ele facilita o entendimento das aplicações e das semelhanças e diferenças entre estes subcampos.

Quadro 7 – Características centrais das subáreas da Ciência da Informação

SUBCAMPO	OBJETOS DE ESTUDO	VARIÁVEIS	MÉTODOS	OBJETIVOS
BIBLIOMETRIA	Livros, documentos, revistas, artigos, autores, usuários	Número de empréstimos (circulação) e de citações, frequência de extensão de frases	Ranking, frequência, distribuição	Alocar recursos: pessoas, tempo, dinheiro
CIENTOMETRIA	Disciplinas, assuntos, áreas e campos científicos e tecnológicos; patentes, dissertações e teses	Fatores que diferenciam as subdisciplinas; como os cientistas se comunicam	Análise de conjunto e de correspondência, co-ocorrência de termos, expressões, palavras-chave	Identificar domínios de interesse; onde os assuntos estão concentrados; compreender como e quanto os cientistas se comunicam
INFORMETRIA	Palavras, documentos, bases de dados, comunicações informais (inclusive em âmbitos não científicos), <i>home-pages</i> na Web	Difere da Cientometria no propósito das variáveis, por exemplo, medir a recuperação, a relevância, a revocação ²⁹	Modelo vetor-espaco, modelos booleanos de recuperação, modelos probabilísticos; linguagem de processamento, abordagens baseadas no conhecimento, tesouros ³⁰	Melhorar a eficiência da recuperação da informação, identificar estruturas e relações dentro dos diversos sistemas de informação
WEBMETRIA	Sítios na WWW (URL, título, tipo, domínio, tamanhos e <i>links</i>), motores de busca	Número de páginas por sítio, número de <i>links</i> por sítio, número de <i>links</i> que remetem a um mesmo sítio, número de sítios recuperados	Fator de Impacto da Web, densidade dos <i>links</i> , estratégias de busca	Avaliar o sucesso de determinados sítios, detectar a presença de países, instituições e pesquisadores na rede e melhorar a eficiência dos motores de busca na recuperação das informações

Fonte: Adaptado de Macias-Chapula (1998) e Vanti (2002).

²⁹ Revocação é um coeficiente utilizado para avaliar a qualidade de um sistema de busca e recuperação de informação. Ela mede a proporção de documentos relevantes recuperados (LANCASTER, 2003).

³⁰ Currás (1995, p. 85) define *tesauro* como “uma lista autorizada, que pode conduzir o usuário de um conceito a outro, por meio de relações heurísticas ou intuitivas”. Trata-se, portanto, de um vocabulário de termos relacionados que cobrem um domínio específico do conhecimento.

Considerando o exercício comparativo contido no quadro anterior, Vanti (2002) descreve, em termos genéricos, algumas possibilidades de aplicação das subdisciplinas da Ciência da Informação. Dentre elas: *i*) identificação de tendências e do crescimento do conhecimento em uma área; *ii*) reconhecimento dos periódicos do núcleo de uma disciplina; *iii*) estudo da dispersão e da obsolescência da literatura científica; *iv*) prospecção da produtividade de autores, organizações e países; *v*) avaliação dos aspectos estatísticos da linguagem, das palavras e das frases; *vi*) análise de desempenho dos sistemas de recuperação de informação; *vii*) exame dos processos de citação e co-citação; e *viii*) verificação da expansão de determinadas áreas e do surgimento de novos temas.

As inúmeras aplicações das metrias da produção científica e tecnológica ocorrem por meio do emprego de leis e princípios formulados ao longo do desenvolvimento da Ciência da Informação, como é o caso das três leis clássicas da Bibliometria: *Lei de Lotka*, que trata da produtividade dos cientistas; *Lei de Bradford*, que aborda a incidência de um assunto sobre periódicos; e *Lei de Zipf*, relacionada à distribuição e frequência de palavras nos textos. Existem ainda outras abordagens bibliométricas, como a análise de citações, o fator de impacto, a frente de pesquisa e a obsolescência da literatura. Uma vez que o presente estudo adota a Bibliometria como método analítico, é lícito descrever os princípios e as abordagens dessa metria da informação.

O desenvolvimento da Bibliometria como disciplina fundamenta-se na busca de comportamentos estatisticamente regulares ao longo do tempo nos diferentes elementos relacionados com a produção e o consumo da informação científica. As explicações globais dos fenômenos observados são obtidas mediante a formulação de leis. Nesse sentido, a Bibliometria é constituída por um conjunto de leis e princípios empíricos que contribuem para o estabelecimento da fundamentação teórica da Ciência da Informação. Três pesquisadores se destacaram por suas importantes descobertas: Lotka, Bradford e Zipf. Cada um deles é associado a uma lei específica (VANTI, 2002; ARDANUY, 2012; GUEDES, 2012).

A *Lei de Lotka* ou *Lei do Inverso do Quadrado* aponta para a medição da produtividade dos autores. Formulada em 1926, ela foi construída a partir da contagem de autores presentes no *Chemical Abstracts* – indexo da literatura sobre química e ramos coligados –, entre 1909 e 1916. Lotka verificou que uma larga proporção dessa literatura científica fora produzida por um pequeno número de cientistas, sendo que um grande número de pequenos pesquisadores se igualava, em proporção, ao reduzido número de grandes pesquisadores. Diante desse resultado, Lotka enunciou que o número de autores que fazem n contribuições em determinado campo científico é aproximadamente $1/n^2$

(inverso do quadrado de n) daqueles que fazem uma só contribuição. Tal indicador demonstra que, no universo de autores ou de autores citados em um campo científico maduro, há uma distribuição relativamente rígida entre poucos que publicam mais e muitos que publicam menos (ARAÚJO, 2006; MORETTI; CAMPANARIO, 2009).

A Tabela 1, a seguir, exemplifica a aplicação da Lei de Lotka. Para um conjunto de trabalhos científicos publicados durante t anos, discrimina-se a quantidade de pesquisadores envolvidos na produção de um, dois, três, quatro e cinco trabalhos. Observa-se que, no período de tempo considerado (t anos), o número de estudiosos que escreveram dois trabalhos corresponde a um quarto (inverso do quadrado de $n = 2$) da quantidade de cientistas que escreveram apenas um. O número de estudiosos que escreveram três trabalhos corresponde, aproximadamente, a um nono (inverso do quadrado de $n = 3$) da quantidade de cientistas que escreveram um, e assim sucessivamente.

Tabela 1 – Exemplo da aplicação da Lei de Lotka

NÚMERO DE TRABALHOS	AUTORES ENVOLVIDOS NOS TRABALHOS	PROPORCIONALIDADE APROXIMADA DE AUTORES
01 trabalho	280	---
02 trabalhos	70	$1/4(1/n^2)(n = 2)$
03 trabalhos	31	$1/9(1/n^2)(n = 3)$
04 trabalhos	17	$1/16(1/n^2)(n = 4)$
05 trabalhos	11	$1/25(1/n^2)(n = 5)$

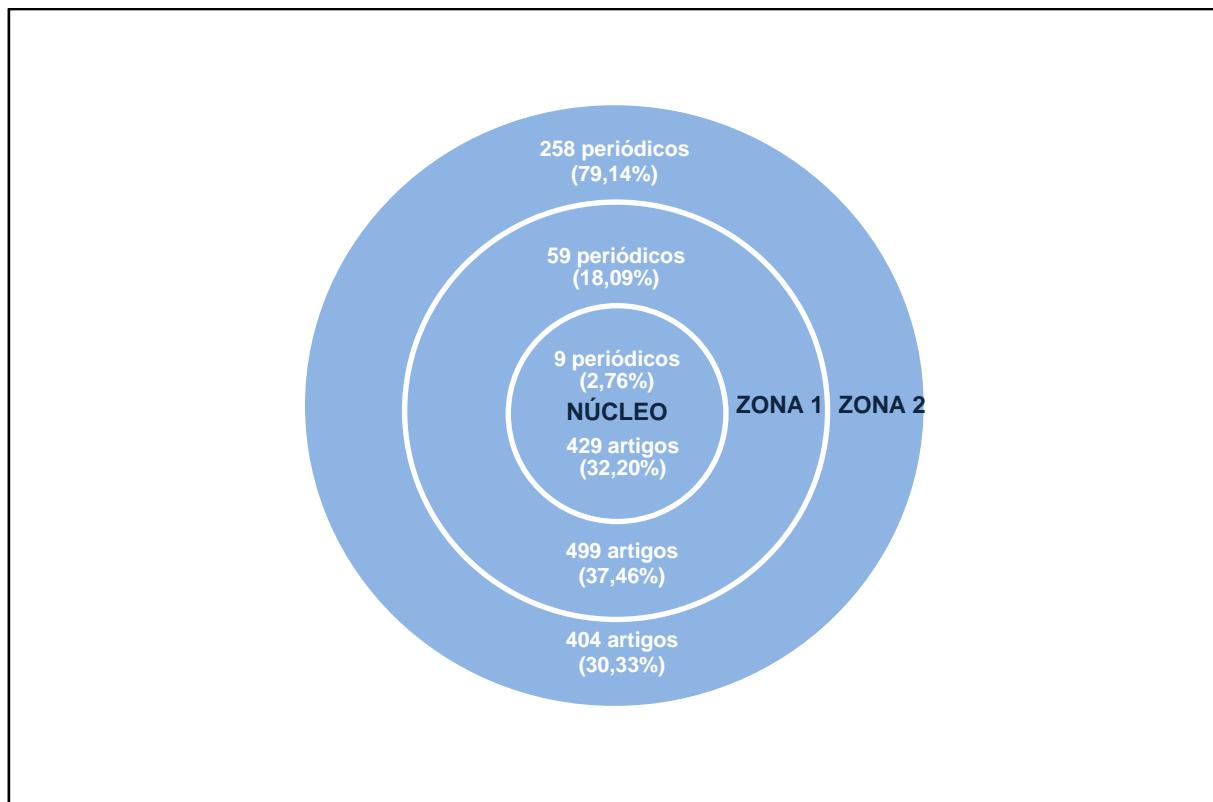
Fonte: Adaptado de Guedes (2012).

Na gestão da informação e do conhecimento, assim como no planejamento científico e tecnológico, Guedes (2012) aponta que a aplicabilidade da Lei de Lotka se verifica na avaliação da produtividade de pesquisadores, na identificação dos centros de pesquisa mais desenvolvidos e no reconhecimento da solidez de uma área científica. Quanto mais solidificada estiver uma ciência, maior a probabilidade de seus autores produzirem múltiplos artigos em um dado período de tempo.

A *Lei de Bradford ou Lei de Dispersão* incide sobre o conjunto de periódicos. Em 1934, Bradford percebeu que, em uma coleção de revistas sobre geofísica, existia um núcleo menor de periódicos relacionado de maneira próxima ao assunto e um núcleo maior de periódicos relacionado menos diretamente ao tema. Ademais, verificou que o número de

revistas aumentava em cada zona, enquanto que a produtividade diminuía. Analisando um total de 326 periódicos, ele descobriu que 9 deles continham 429 artigos, 59 continham 499 e 258 continham 404 artigos (ARAÚJO, 2006). A Figura 2 apresenta uma ordenação da coleção de revistas examinadas por Bradford em termos de produtividades decrescente.

Figura 2 – Exemplo da aplicação da Lei de Bradford



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Araújo (2006) e Ardanuy (2012).

Observa-se, no diagrama anterior, a composição de três grupos, cada um contendo aproximadamente um terço do volume total de publicações. O primeiro grupo contém um pequeno número de periódicos (2,76%) altamente produtivos (envolvimento em 32,20% das publicações), daí a denominação de *núcleo*. O segundo grupo (zona 1) contém uma quantidade maior de periódicos (18,09%) menos produtivos (envolvimento em 37,46% das publicações), enquanto que o terceiro (zona 2) inclui mais periódicos ainda (79,14%), embora com uma produtividade menor (envolvimento em 30,33% das publicações).

Araújo (2006, p. 15) enuncia a Lei de Bradford como se segue:

Se dispormos periódicos em ordem de produtividade de artigos sobre um determinado tema, pode-se distinguir um núcleo de periódicos mais particularmente devotados ao tema e vários grupos ou zonas que incluem o mesmo número de artigos que o núcleo, sempre que o número de periódicos existentes no núcleo e nas zonas sucessivas seja de ordem de 1: n : n^2 : n^3 ...

Conforme Guedes (2012), essa lei sugere que, na medida em que os primeiros artigos sobre um novo assunto são produzidos, eles são submetidos a uma seleção, por periódicos apropriados, e são aceitos. Esses periódicos atraem mais artigos no decorrer do desenvolvimento da agenda de investigação. Concomitantemente, outras revistas começam a publicar seus primeiros trabalhos sobre a temática. Se esta última continua a se desenvolver, emerge eventualmente um núcleo de periódicos mais produtivos. Percebe-se, portanto, que a existência de um núcleo de revistas altamente produtivas e especializadas na publicação de domínios específicos constitui uma forte evidência de maturidade do referido campo de pesquisa.

Finalmente, a *Lei de Zipf* ou *Lei do Mínimo Esforço* 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 James Joyce, Zipf encontrou uma correlação entre a frequência que um termo aparecia 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. Ele verificou que o termo mais utilizado aparecia 26.530 vezes, a centésima palavra mais utilizada ocorria 256 vezes e a duzentésima aparecia 133 vezes. Zipf observou então que a posição de um termo – ordem de série ou rank³¹ – multiplicada pela sua frequência igualava-se a uma constante de aproximadamente 26.500 (VANTI, 2002; ARAÚJO, 2006).

A partir desses resultados, Zipf enunciou a sua primeira lei, representada matematicamente por:

$$r \times f = c \quad (1)$$

A equação (1) diz que o produto da ordem de série r de um termo pela sua frequência de ocorrência f é aproximadamente uma constante c . Entretanto, esse princípio aplica-se somente a palavras de alta frequência de ocorrência em um texto. Para palavras de baixa frequência, Zipf propôs uma segunda lei, a qual enuncia que, em um determinado texto, várias palavras de baixa frequência de ocorrência ou de alta ordem de série apresentam a mesma frequência (GUEDES, 2012).

³¹ A palavra de maior frequência de ocorrência tem ordem de série 1, a de segunda maior frequência, ordem de série 2, e assim sucessivamente.

Considerando a análise proposta por Zipf, é razoável supor uma região crítica, na qual ocorre a transição do comportamento das palavras de alta frequência para as de baixa frequência. O *Ponto de Transição de Goffman* (*T*) determina graficamente a localização onde essa transição acontece. De acordo com Guedes (2012), ao redor desse ponto, existe uma região com probabilidade de concentrar as palavras de alto conteúdo semântico e que, portanto, podem ser utilizadas na indexação do texto examinado.

Além das três leis descritas, a Bibliometria apresenta outros instrumentos analíticos. Dentre estes, a *análise de citações* vem recebendo crescente interesse na condução dos estudos métricos da produção científica. Foresti (1989) *apud* Araújo (2006) define a análise de citações como a investigação das relações entre os documentos citantes e os documentos citados considerados como unidades de análise, no todo ou em suas diversas partes: autor, título, filiação institucional, ano e idioma de publicação. Com os dados obtidos das citações é possível identificar os autores mais produtivos, a elite e a frente de pesquisa, o fator de impacto dos autores, a procedência geográfica dos pesquisadores mais influentes, os periódicos mais citados, a idade média e a obsolescência da literatura. Ademais, essa análise evidencia as conexões intelectuais, contribuindo com o mapeamento de redes de influência, colaboração e dependência entre cientistas (ARAÚJO, 2006; GUEDES, 2012).

Um conceito relevante na análise de citações é o de *fator de impacto*. Este consiste na divisão do número total de citações obtidas por um periódico em um ano qualquer pelo número de artigos publicados nesse mesmo período. A Bibliometria apropriou-se desse conceito para o exame de autores, dividindo o número de citações recebidas por um pesquisador pela quantidade de trabalhos que receberam pelo menos uma citação. Com esse índice, quer-se identificar autores que, apesar de terem tido pouca publicação, produziram um material muito significativo, isto é, que receberam muitas citações, em oposição a autores que podem ter tido muitas citações porque publicaram muitos trabalhos, mas cada um destes com pouca relevância no campo científico quando tomado isoladamente (ARAÚJO, 2006).

Com base em Guedes e Borschiver (2005), o Quadro 8, a seguir, relaciona as leis e os princípios bibliométricos mais empregados na literatura, seus focos de estudo e suas aplicações. Além de sintetizar as três leis fundamentais – Lotka, Bradford e Zipf –, ele apresenta outras abordagens analíticas relevantes. Nota-se que a maioria dessas abordagens (colégios invisíveis, fator de imediatismo ou de impacto, co-citação, obsolescência da literatura, vida média, frente de pesquisa, entre outras) tem nas citações o seu foco de estudo. Tal fato corrobora o argumento de que a análise de citações vem recebendo crescente interesse na condução dos estudos bibliométricos. De acordo com Guedes (2012), a aplicação dessas técnicas possibilita a geração de diferentes indicadores

relevantes para o tratamento e a gestão da informação e do conhecimento, especialmente em sistemas de recuperação da informação e de comunicação.

Quadro 8 – Leis e princípios bibliométricos, seus focos de estudo e principais aplicações

LEIS/PRINCÍPIOS BIBLIOMÉTRICOS	FOCO DE ESTUDO	PRINCIPAIS APLICAÇÕES
<i>Lei de Bradford</i>	Títulos de periódicos	Estimativa dos graus relativos de relevância de títulos de periódicos em áreas específicas do conhecimento
<i>Lei de Lotka</i>	Autores	Estimativa dos graus relativos de relevância de autores em áreas específicas do conhecimento
<i>Leis de Zipf</i>	Palavras	Análise conceitual da escrita científica e indexação automática, ou semi-automática, de artigos científicos
<i>Ponto de Transição de Goffman</i>	Palavras	Análise conceitual da escrita científica e indexação automática, ou semi-automática, de artigos científicos e tecnológicos
<i>Colégios Invisíveis</i>	Citações	Identificação da elite de pesquisadores em áreas específicas do conhecimento
<i>Fator de Imediatismo ou Fator de Impacto</i>	Citações	Estimativa dos graus relativos de relevância de artigos, cientistas e títulos de periódicos científicos em áreas específicas do conhecimento
<i>Acoplamento Bibliográfico</i>	Citações	Estimativa dos graus relativos de ligação de dois ou mais artigos (análise retrospectiva)
<i>Co-citação</i>	Citações	Estimativa dos graus relativos de ligação de dois ou mais artigos (análise prospectiva)
<i>Obsolescência da Literatura</i>	Citações	Estimativa do grau de declínio da literatura em áreas específicas do conhecimento
<i>Vida Média</i>	Citações	Estimativa da vida média de uma unidade da literatura em áreas específicas do conhecimento
<i>Teoria Epidêmica de Goffman</i>	Citações	Estimativa do grau de crescimento e declínio de uma área de assunto, bem como da importância de linhas de pesquisa em áreas específicas do conhecimento
<i>Lei do Elitismo</i>	Citações	Identificação e descrição da elite formada por autores que participaram intensamente da produção científica em áreas específicas do conhecimento
<i>Frente de Pesquisa</i>	Citações	Identificação de um padrão de relações múltiplas entre autores que se citam na literatura e reconhecimento dos Colégios Invisíveis em áreas específicas do conhecimento
<i>Lei dos 80/20</i>	Demanda de informação	Processos de tomada de decisão ligados à composição, ampliação e redução dos acervos em sistemas de recuperação da informação

Fonte: Guedes e Borschiver (2005).

É importante ressaltar que o presente trabalho não utilizará todos os princípios bibliométricos listados no quadro. Uma vez que esta pesquisa procura delinear os comportamentos estatisticamente regulares nos elementos bibliográficos relacionados com a publicação científica acerca dos ecossistemas industriais, as análises de distribuição, frequência e *ranking* e as leis de Lotka e Bradford compreendem ferramentas satisfatórias para a consecução desse objetivo. A fim de ilustrar o potencial analítico dessas técnicas bibliométricas, a próxima seção discute o seu emprego em estudos selecionados.

2.2 EMPREGO DAS TÉCNICAS BIBLIOMÉTRICAS: DISCUSSÃO DAS APLICAÇÕES EM ESTUDOS SELECIONADOS

O primeiro passo do pesquisador na construção de conhecimento consiste na revisão da literatura acerca do tema que se pretende investigar. Desta forma também ocorre no desenvolvimento de um projeto de pesquisa. A revisão da literatura permite retomar-se o conhecimento científico acumulado sobre determinado assunto. Ademais, ela permite avaliar a pertinência e não redundância do trabalho proposto e define as bases intelectuais em que a lógica da pesquisa será estruturada (AFONSO *et al.*, 2011).

Conforme descrevem Ensslin, Ensslin e Pinto (2013), a identificação de artigos relevantes que dão suporte à revisão da literatura e, portanto, à realização de pesquisas científicas se tornou muito complexa em virtude da abundância de informações disponíveis e da dispersão das mesmas em uma grande variedade de fontes nacionais e internacionais. Sendo assim, vários autores têm recorrido às técnicas bibliométricas para selecionar um referencial teórico de relevância acadêmica. Ao identificar as publicações que mais se destacam, bem como os autores que as produziram, a Bibliometria fornece elementos cruciais para se entender o estado da arte em campos de investigação específicos, superando as dificuldades relativas ao volume de dispersão da informação.

Trabalhos como os de Tasca *et al.* (2010), Afonso *et al.* (2011), Bruna Jr., Ensslin e Ensslin (2012), Ensslin, Ensslin e Pinto (2013) exemplificam o uso da Bibliometria para a construção de referenciais teóricos sobre temas distintos. Nesse sentido, cabe analisar a metodologia utilizada e os resultados obtidos em cada um desses estudos de modo a verificar a utilidade e eficácia das técnicas bibliométricas.

Com a finalidade de orientar os sistemas de treinamento da Polícia Militar do Brasil, Tasca *et al.* (2010) propuseram um modelo para seleção e análise das publicações

científicas sobre avaliação de programas de treinamento. A primeira etapa do trabalho consistiu na seleção dos artigos disponíveis nas bases de dados do portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por meio da filtragem de palavras-chave e do alinhamento de títulos e resumos. Em seguida, os 11 artigos selecionados foram examinados a partir de elementos bibliográficos: *i*) número de vezes em que o texto foi citado; *ii*) ano de publicação; e *iii*) quantidade de publicações por periódico e por autor. Foi realizada também uma análise das citações. Esse mesmo modelo foi aplicado por Bruna Jr., Ensslin e Ensslin (2012) para a construção de um portfólio com 17 artigos sobre avaliação de desempenho na cadeia de suprimentos. Em ambos os trabalhos, a identificação das publicações de maior relevância e das lacunas existentes em cada área temática investigada forneceu elementos que podem orientar pesquisas futuras, direcionando-as para objetivos que contribuam com o avanço científico dos temas.

Afonso *et al.* (2011) utilizaram a metodologia *ProKnow-C (Knowledge Development Process – Constructivist)*³² para selecionar uma literatura de referência capaz de gerar o conhecimento demandado por qualquer pesquisador no início da investigação sobre avaliação de desempenho em desenvolvimento sustentável. As etapas do estudo consistiram em: *i*) seleção das palavras-chave e das bases de dados no portal de periódicos da CAPES adequadas para a pesquisa; *ii*) busca de artigos alinhados com o tema; *iii*) identificação, no âmbito da amostra construída (13 artigos publicados entre 2001 e 2011), dos trabalhos de maior relevância; e *iv*) levantamento das estatísticas sobre autores e periódicos. Notou-se que a produção científica na área apresentou um crescimento significativo na última década, sendo bastante restrita a quantidade de publicações anteriores a 2001. Isso evidencia o caráter ainda incipiente das investigações nesse campo do conhecimento.

Ensslin, Ensslin e Pinto (2013) também aplicaram a metodologia *ProKnow-C* para construir um portfólio bibliográfico sobre a qualidade dos serviços bancários sob o ponto de vista dos clientes em bancos comerciais de varejo. Foram selecionados 28 trabalhos publicados em periódicos no período 2002-2012 e indexados nas bases de dados disponibilizadas pela CAPES. Juntamente com suas referências, essas publicações foram analisadas a partir de aspectos como: *i*) relevância dos periódicos; *ii*) reconhecimento científico dos artigos; *iii*) autores de maior destaque; *iv*) palavras-chave mais utilizadas; e *v*) fator de impacto dos periódicos. O estudo possibilitou uma visão do estado da arte sobre

³² A metodologia *ProKnow-C* foi desenvolvida pelo Laboratório de Metodologia Multicritério em Apoio à Decisão (LabMCDA), que consiste em um grupo de pesquisadores vinculados ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Ela constitui um método de construção do conhecimento estruturado em quatro etapas: 1) seleção do portfólio bibliográfico que proporcionará a revisão de literatura; 2) análise bibliométrica do portfólio bibliográfico; 3) análise sistemática do portfólio bibliográfico; e 4) elaboração dos objetivos de pesquisa (AFONSO *et al.*, 2011).

avaliação dos serviços bancários, produzindo uma revisão da literatura importante para futuras pesquisas na área.

O êxito obtido em cada um desses estudos na construção de portfólios bibliográficos específicos, assim como a verificação da existência de uma metodologia bibliométrica própria para tal finalidade, o *ProKnow-C*, corroboram a tese de que a Bibliometria constitui um instrumento apropriado para a seleção de uma literatura de referência demandada nas etapas iniciais de qualquer esforço de pesquisa. Segundo Ensslin, Ensslin e Pinto (2013), a Bibliometria compreende uma ferramenta adequada para superar os problemas relativos ao volume e dispersão da informação científica.

As métricas da produção científica são usadas também para identificar as tendências e os padrões das diversas pesquisas, uma vez que permitem obter uma visão abrangente dessa produção, explicando a organização do conhecimento e fornecendo perspectivas à comunidade científica. Estudos como os de Moretti e Campanario (2009), Barreto, Lino e Sparovek (2009), Málaga e Dewes (2011), Bernardino e Cavalcante (2011) inserem-se nesse contexto.

Com o intuito de caracterizar o estado da arte da produção científica brasileira na área de responsabilidade social empresarial, Moretti e Campanario (2009) analisaram os trabalhos publicados pela Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração (ANPAD) no período 1997-2007. Foram examinados 216 artigos por meio de estatística descritiva. A análise revelou que a produção dos anos anteriores foi pouca utilizada ao longo do tempo e houve repetição de livros textos de administração sem relação direta com o assunto pesquisado, inibindo o seu avanço científico. Observou-se um domínio da reprodução das mesmas ideias, reforçando a noção de que existe nessa área temática uma zona de conforto intelectual. Ademais, foi testada a aplicabilidade da Lei de Lotka às obras citadas pelos artigos. Verificou-se que não há adequação a esta lei, indicando, portanto, pouca maturidade científica da agenda de investigação sobre o tema. Assim, os autores concluíram que o campo da responsabilidade social empresarial não possui um referencial teórico consistente, o que sugere a necessidade de esforços de pesquisa mais ambiciosos.

Objetivando analisar as distribuições espacial, temporal, institucional e temática da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo, Barreto, Lino e Sparovek (2009) realizaram um estudo bibliométrico de 225 artigos científicos publicados de julho de 1949 a abril de 2007 e indexados na base de dados *Web of Science*. Esses trabalhos foram digitalizados, cadastrados em bancos de dados e classificados a partir de elementos bibliográficos, sendo os principais autoria, ano de publicação, periódico, título, instituição do

autor principal e linha temática abordada. Também foram construídos mapas multitemporais através de ferramentas de geoprocessamento, ilustrando a cronologia e a distribuição dos artigos entre os municípios das instituições autoras e de acordo com o assunto central abordado. Verificou-se que a pesquisa brasileira em erosão do solo, além de recente, concentra-se em poucas instituições, localizadas nas regiões Sul e Sudeste, e em dois temas: *i) Equação Universal de Perdas de Solo; e ii) comparações de manejos agrícolas quanto à perda de solo.*

Málaga e Dewes (2011) examinaram as publicações científicas referentes a dois momentos distintos no campo de pesquisa sobre biocombustíveis: o Movimento *Chemurgic* e a atual *Bio-based economy*³³. O objetivo dos autores foi verificar como a informação científica refletiu as percepções do macroambiente do desenvolvimento e difusão da bionergia nos últimos setenta anos. O universo selecionado para o estudo foi construído, de um lado, por dois livros e nove publicações no âmbito do Movimento *Chemurgic* e, de outro, por 121 artigos publicados no período 1996-2005 e referentes à *Bio-based economy*. Realizou-se uma análise bibliométrica a partir do estudo da frequência de palavras-chave, classificadas em quatro dimensões: socioeconômica, ambiental, política e tecnológica. Constatou-se que as palavras com maior frequência de citação nos trabalhos científicos têm relação direta com a dimensão socioeconômica, revelando a importância que os aspectos sociais e econômicos representaram para o desenvolvimento da pesquisa sobre os biomateriais nos dois momentos históricos examinados. Os valores ambientais, que no Movimento *Chemurgic* eram fatores de pouca ocorrência, constituem um dos principais elos da nova fase de produção e comercialização de combustíveis renováveis (*Bio-based economy*). Isso se deve a uma maior consciência ecológica no período atual em face do desgaste ambiental provocado pela indústria nas últimas décadas.

Bernardino e Cavalcante (2011) buscaram identificar as tendências e padrões na pesquisa em Ciência da Informação no Brasil. Para tanto, analisaram as referências utilizadas nos artigos publicados pela revista *Ciência da Informação* entre 2000 e 2009. Dos 301 artigos avaliados, foram levantadas 7.695 referências bibliográficas, segmentadas quanto a idioma, tipologia documental, formato e temporalidade. Verificou-se que, enquanto a língua portuguesa ficou com 46,71% das ocorrências de citações, coube a língua inglesa 45,25%. Houve uma prevalência de fontes de informação em formato impresso (79,77%) e

³³ O Movimento *Chemurgic*, restrito aos Estados Unidos, desenvolveu-se entre os anos 1930 e 1950. Seus principais expoentes foram William Hale e Henry Ford, que promoveram testes com culturas agrícolas de forma a explorar suas potencialidades de uso industrial. No entanto, a descoberta de novas jazidas de petróleo na primeira metade do século XX conformou a trajetória tecnológica fundamentada nos combustíveis fósseis, deslocando das prioridades o desenvolvimento de combustíveis derivados de materiais verdes. No atual contexto de previsão do esgotamento das fontes de combustíveis fósseis e de verificação dos impactos ambientais adversos gerados pela extração e consumo desses recursos, a *Bio-based Economy* defende novas formas de aproveitamento de energia, ressurgindo um movimento de promoção da utilização da biomassa como alternativa energética (MÁLAGA; DEWES, 2011).

daquelas retiradas de artigos científicos (45,79%). Observou-se também que sua distribuição em faixas temporais seguiu um padrão semelhante, dado que se eleva a quantidade de citações dentro de uma determinada faixa ao longo do tempo. Esse último resultado demonstra a preferência e o acesso a fontes de informação recentes. Assim, os autores concluíram que a Ciência da Informação constitui uma área de pesquisa em constante desenvolvimento, contendo um aporte teórico já consolidado.

É possível verificar que, nos quatro estudos descritos, o exame das publicações relativas a um determinado ramo do conhecimento forneceu um panorama do desenvolvimento científico da área e dos seus temas. O emprego das técnicas bibliométricas mostrou-se apropriado para a obtenção de dados acerca da prevalência de literaturas específicas e sua distribuição espacial, temporal, institucional e temática. Ademais, ela permitiu identificar o estágio e maturação científica, bem como o macroambiente de emergência e consolidação das agendas de pesquisa.

Outra importante aplicação da Bibliometria refere-se à avaliação do impacto da pesquisa no âmbito da própria ciência ou para o desenvolvimento econômico e social dos países. Ao longo das últimas décadas presenciou-se a estruturação de um sistema integrado, articulado e mais amplo de estatísticas e indicadores em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), sob coordenação do Ministério da Ciência e da Tecnologia e beneficiado por iniciativas de diversas agências de apoio à pesquisa. Nesse contexto, uma série de técnicas bibliométricas passou a ser utilizada no exame da produção científica e tecnológica de pesquisadores e instituições brasileiras. Ao fornecer medidas para se avaliar a produtividade de comunidades científicas e o impacto da pesquisa para o desenvolvimento nacional, a Bibliometria contribui para a construção de indicadores de resultados das políticas de CT&I (MUGNAINI; JANNUZZI; QUONIAM, 2004).

Os resultados alcançados por Mugnaini, Jannuzzi e Quoniam (2004) e Albuquerque *et al.* (2002), por exemplo, constituem informações relevantes para o sistema nacional de indicadores de C&T. No caso do primeiro trabalho, os autores apresentaram e analisaram as estatísticas da produção científica de pesquisadores brasileiros ao longo dos anos 1980 e 1990, computados a partir da base Pascal francesa, uma base bibliográfica internacional e multidisciplinar. Constatou-se que o aumento dessa produção foi expressivo nas duas décadas examinadas, assim como sua internacionalização. Ademais, houve uma ampliação da parceria de pesquisadores brasileiros com outros países, fenômeno observado por meio do incremento das coautorias. Não obstante a forte concentração da produção em São Paulo e Rio de Janeiro, a participação de outros estados cresceu significativamente, com destaque para Minas Gerais e Santa Catarina.

A partir de estatísticas de patentes, artigos científicos e pesquisadores e tomando o município como unidade de análise, Albuquerque *et al.* (2002) procuraram descrever a distribuição espacial das atividades científicas e tecnológicas no Brasil. O intuito do estudo foi buscar explicações para as características estruturais do sistema de inovação brasileiro, tais como sua concentração e desigualdade regional. No que tange aos artigos científicos, verificou-se que o número de municípios com pelo menos um autor participante e pertencente a uma instituição local é 226, sendo que os dez municípios com maior produção respondem por 69% da produção científica nacional. O número de municípios com pelo menos um pesquisador identificado em uma instituição local é 156 e os dez municípios com maior número de pesquisadores envolvem 53,57% do total nacional. O número de municípios com pelo menos um titular de uma patente é 512, sendo que os dez municípios com maior produção tecnológica respondem por 53,69% das patentes identificadas.

As principais conclusões do trabalho foram: *i*) no que se refere à distribuição espacial das atividades inovativas, elas se encontram altamente concentradas no Centro-Sul do país, notadamente na região Sudeste, sendo superiores à concentração da atividade econômica; *ii*) a explicação da localização das atividades científicas e tecnológicas depende em grande medida de variáveis urbano-espaciais; e *iii*) São Paulo apresenta os menores coeficientes de concentração de atividades inovativas em seu território, indicando a importância do processo de desconcentração produtiva do estado iniciado em 1970 (ALBUQUERQUE *et al.*, 2002). Tais resultados explicitam as características do sistema nacional de C&T, compreendendo indicadores importantes para a elaboração de diretrizes no âmbito dos programas de incentivo à ciência e inovação. Mais uma vez, a Bibliometria mostrou-se um recurso adequado.

O Quadro 9 sintetiza os diversos estudos analisados nesta seção, dividindo-os de acordo com as três principais aplicações das técnicas bibliométricas: *i*) construção de referencial teórico de relevância acadêmica; *ii*) identificação de tendências e padrões da pesquisa científica em diversos campos de conhecimento; e *iii*) fornecimento de dados para o sistema nacional de indicadores de C&T. O objetivo, os métodos e os resultados de cada um dos trabalhos são abordados.

Quadro 9 – Aplicação das técnicas bibliométricas e seus resultados em estudos selecionados

REFERÊNCIA	OBJETIVO	MÉTODOS	RESULTADOS
1. Construção de referencial teórico de relevância acadêmica			
Tasca et al. (2010)	Construir um referencial teórico sobre <u>avaliação de programas de treinamento</u> de modo a orientar os sistemas de treinamento da Polícia Militar	Seleção de coleções de periódicos no portal da CAPES; aplicação de filtros de pesquisa específicos para seleção de artigos; análise bibliométrica de 11 artigos	Identificação de três publicações científicas de maior relevância para orientar o processo de avaliação dos sistemas de treinamento, incluindo aqueles sob direção da Polícia Militar
Bruna Jr., Ensslin e Ensslin (2012)	Desenvolver um modelo para seleção e análise de um referencial teórico sobre <u>avaliação de desempenho na cadeia de suprimentos</u>	Aplicação de filtros de pesquisa específicos na base de periódicos da CAPES para seleção de artigos; análise bibliométrica e revisão sistemática de 17 artigos	Estágio imaturo do conceito de avaliação de desempenho como parte da gestão da cadeia de suprimentos; identificação de lacunas e de diretrizes para pesquisas futuras
Afonso et al. (2011)	Construir um referencial teórico sobre <u>avaliação de desempenho em desenvolvimento sustentável</u>	Aplicação do método <i>ProKnow-C</i> ; análise bibliométrica de 13 artigos publicados entre 2001-2011 e disponíveis no portal CAPES	Caráter ainda incipiente das investigações na área; crescimento significativo da produção científica na última década
Ensslin, Ensslin e Pinto (2013)	Selecionar um portfólio bibliográfico sobre a <u>qualidade dos serviços bancários</u>	Aplicação do método <i>ProKnow-C</i> ; análise bibliométrica de 28 artigos publicados entre 2002-2012	Visão do estado da arte sobre avaliação dos serviços bancários; revisão da literatura sobre o tema
2. Identificação de tendências e padrões da pesquisa científica			
Moretti e Campanario (2009)	Caracterizar o estado da arte da produção brasileira em <u>responsabilidade social empresarial</u>	Análise bibliométrica de 216 artigos publicados pela ANPAD no período 1997-2007	Pouca maturidade científica da agenda de investigação sobre o tema; necessidade de esforços de pesquisa mais ambiciosos
Barreto, Lino e Sparovek (2009)	Analizar as distribuições espacial, temporal, institucional e temática da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo	Estudo bibliométrico de 225 artigos publicados no período 1949-2007 e indexados pela <i>Web of Science</i> ; construção de mapas multitemporais	Concentração da pesquisa em poucas regiões (Sul e Sudeste) e em duas linhas temáticas principais, centradas na perda de solo
Málaga e Dewes (2011)	Verificar como a informação científica refletiu as percepções sobre o <u>macroambiente de desenvolvimento e difusão da bionergia</u> nos últimos 70 anos	Exame da frequência de palavras-chave no universo de dois livros e nove artigos (<i>Movimento Chemurgic</i>) e de 121 artigos publicados no período 1996-2005 (<i>Bio-based Economy</i>)	Importância dos aspectos sociais e econômicos para o desenvolvimento da pesquisa sobre bionergia nos dois momentos examinados; maior prevalência dos valores ambientais na atualidade
Bernardino e Cavalcante (2011)	Identificar as tendências e padrões na pesquisa brasileira em <u>Ciência da Informação</u>	Análise das referências bibliográficas utilizadas nos 301 artigos publicados pela revista <i>Ciência da Informação</i> entre 2000 e 2009	Influência da literatura norte-americana; prevalência de fontes de informação retiradas de artigos mais recentes; aporte teórico consolidado

(continua ...)

(... continuaçao)

3. Fornecimento de dados para o sistema nacional de indicadores de C&T

<i>Mugnaini, Jannuzzi e Quoniam (2004)</i>	<u>Analisar a produção científica de pesquisadores brasileiros a partir da base Pascal</u>	Estudo bibliométrico da produção científica realizada por pesquisadores brasileiros nos anos 80 e 90 e indexada na base francesa Pascal	Aumento e internacionalização dessa produção; ampliação da parceria com outros países; crescimento da participação de alguns estados brasileiros
<i>Albuquerque et al. (2002)</i>	<u>Descrever a distribuição espacial das atividades científicas e tecnológicas no Brasil</u>	Exame das estatísticas de patentes, pesquisadores e artigos científicos, tomando o município como unidade de análise	Concentração dessas atividades no Centro-Sul do país em escala superior à concentração da atividade econômica; relevância das variáveis urbano-espaciais

(conclusão)

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Tasca *et al.* (2010), Bruna Jr., Ensslin e Ensslin (2012), Afonso *et al.* (2011), Ensslin, Ensslin e Pinto (2013), Moretti e Campanario (2009), Barreto, Lino e Sparovek (2009), Málaga e Dewes (2011), Bernardino e Cavalcante (2011), Mugnaini, Jannuzzi e Quoniam (2004) e Albuquerque *et al.* (2002).

Na literatura internacional, há também vários exemplos do emprego da Bibliometria como metodologia para a obtenção de indicadores de avaliação da produção científica. Estes são os casos dos estudos conduzidos por Solano e Valdivia (2003), Silva e Teixeira (2011), Yu, Davis e Dijkema (2014). O primeiro deles, realizado no Peru, examinou a publicação sobre AIDS na base de dados SciELO (*Scientific Electronic Library Online*) durante os anos 1997-2003. Por meio da aplicação do modelo matemático de Bradford, Solano e Valdivia (2003) identificaram os periódicos mais produtivos sobre o assunto: Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, *Bulletin of the World Health Organization* e Cadernos de Saúde Pública. Os pesquisadores ainda constataram que Brasil e Chile são os países com maior envolvimento nas publicações.

Silva e Teixeira (2011) empreenderam um exame bibliométrico dos artigos publicados na revista *Ecological Economics* entre janeiro de 1989 e dezembro de 2009 (total de 2.533 trabalhos). O objetivo das pesquisadoras, ambas filiadas à Universidade do Porto em Portugal, foi investigar a evolução da Economia Ecológica como área disciplinar. Observou-se a predominância de alguns temas de pesquisa, quais sejam: *i*) questões metodológicas; *ii*) políticas, governança e instituições; e *iii*) avaliação. Ação coletiva e mudança técnica e meio ambiente são os dois temas emergentes. As autoras também observaram que a Economia Ecológica experimentou uma “virada empírica” refletida no crescimento dos trabalhos empírico-formais no conjunto de publicações ao longo do tempo. De acordo com elas, os resultados da pesquisa refletem a sensibilização dos pesquisadores quanto a um elemento chave desse campo de investigação: a interdependência entre as

esferas econômica, biofísica e social. A conclusão é a de que a Economia Ecológica tem evoluído no sentido de uma ciência pós-normal³⁴.

O último exemplo refere-se à análise da bibliografia sobre simbiose industrial realizada por Yu, Davis e Dijkema (2014). Os estudiosos da *Delft University of Technology*, nos Países Baixos, procuraram traçar o desenvolvimento dessa área temática por meio da análise de citação e co-citação dos trabalhos publicados entre 1997 e 2012. Os autores notaram que, em um primeiro momento (1997-2005), os esforços de pesquisa dirigiram-se à conceituação da simbiose industrial, bem como à avaliação de projetos relativos ao tratamento de resíduos e às redes de reciclagem. No segundo período (2006-2012), eles verificaram um amadurecimento do campo de investigação em virtude da incorporação de diversas abordagens teóricas. A análise das coautorias demonstrou que as comunidades acadêmicas concernentes à simbiose industrial encontram-se dispersas em todo o globo e que a colaboração entre pesquisadores é uma prática comum.

Os diversos estudos aqui discutidos atestam a adequação da Bibliometria como método de avaliação da produção científica. Sua aplicação na literatura nacional e internacional, ora examinada, forneceu panoramas interessantes do desenvolvimento científico de uma ampla gama de áreas do conhecimento. Tal observação justifica a opção por essa metodologia na elaboração desta dissertação, uma vez que o objetivo desta última reside na caracterização dos padrões e tendências da publicação mundial e nacional relativa aos ecossistemas industriais. A seção que se segue descreve o processo da pesquisa, detalhando os trajetos percorridos ao longo da construção deste trabalho.

2.3 O PROCESSO DA PESQUISA

O presente estudo foi desenvolvido a partir de uma pesquisa bibliométrica de cunho quantitativo. A primeira etapa do exercício de investigação consistiu na construção de duas coleções de trabalhos científicos relacionados com o objeto ecossistemas industriais: uma abrangendo artigos publicados em periódicos de circulação internacional, e a outra compreendendo teses e dissertações defendidas em programas brasileiros de pós-graduação.

³⁴ De acordo com Funtowicz e Ravetz (1997), os problemas contemporâneos relacionados a riscos e ao meio ambiente divergem dos problemas científicos tradicionais em virtude da incerteza e complexidade que caracterizam os primeiros. Nesse contexto, a prática científica já não pode ignorar as questões mais amplas de natureza metodológica, social e ética suscitadas por sua atividade e os produtos oriundos desta. Sendo assim, esses estudiosos denominam a estratégia de resolução de problemas adequada ao cenário de limitações ecossistêmicas de *ciência pós-normal*.

Para a composição da primeira coleção, o ponto de partida foi identificar os artigos científicos publicados em revistas com difusão internacional. Para tanto, elegeu-se as publicações revisadas e indexadas nas bases de dados disponibilizadas pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). A opção pelo Portal de Periódicos da CAPES foi motivada pelo fato de que o mesmo comprehende a mais completa fonte de trabalhos científicos à disposição dos pesquisadores vinculados a instituições de ensino superior (IES) no Brasil.

Foram estabelecidas as seguintes expressões de busca para consulta aos bancos de dados: “*industrial ecosystems*”, “*eco-industrial parks*”, “*eco-industrial systems*” e “*eco-industrial clusters*”. O procedimento utilizado para a definição de tais palavras-chave foi uma pesquisa exploratória em uma amostra de artigos com reconhecimento científico³⁵, sendo que estes últimos também foram utilizados na fundamentação teórica desta dissertação (capítulo 1). Nas fases posteriores da investigação, verificou-se que os termos definidos, de fato, discriminaram os trabalhos referentes à área temática desejada³⁶.

O passo seguinte concentrou-se na definição das bases de dados alinhadas com a área de conhecimento considerada. Desse modo, procedeu-se a uma busca com as palavras-chave em diversas bases, verificando quais delas apresentavam maior representatividade do tema de pesquisa, isto é, quais possuíam uma maior quantidade de artigos científicos disponíveis na área de interesse. Constatou-se que *OneFile* (GALE), *Wiley Online Library* e *SciVerse Science Direct* (Elsevier) indexam uma gama de periódicos mais relacionada com o objeto “ecossistemas industriais”. Estas foram, portanto, as bases utilizadas no procedimento de busca dos artigos.

O processo de busca nas três bases selecionadas possibilitou a construção de um banco de artigos bruto. Os aspectos considerados na filtragem dessa coleção bruta foram: *i*) a presença de artigos redundantes; *ii*) o alinhamento dos títulos com o tema; *iii*) o alinhamento dos resumos com o tema; e, *iv*) a disponibilidade dos textos na íntegra no Portal da CAPES. O primeiro passo correspondeu à exclusão dos trabalhos repetidos. Isso porque, como a busca das publicações foi realizada em diversas bases e alguns periódicos

³⁵ A verificação do reconhecimento científico dos artigos consistiu na determinação da quantidade de citações recebida por cada um deles. Para tanto, utilizou-se o *Google Acadêmico (Scholar Google)*, uma vez que a busca simples pelo título do trabalho nessa ferramenta apresenta o número de vezes em que o mesmo foi mencionado por outros documentos. Assim, a amostra de artigos usada para a seleção das expressões-chave abrangeu os textos mais referenciados na literatura.

³⁶ É importante ressaltar que a definição das palavras-chave em inglês, associada à opção pelos periódicos com difusão internacional, pode ter excluído um conjunto de publicações restritas aos âmbitos domésticos, por exemplo, da França, ou da Finlândia, ou da Rússia. Isso indica um limite do portfólio de artigos construído. Por essa razão, a avaliação da produção científica brasileira exigiu a composição de uma coleção de trabalhos distinta, a qual envolveu a definição de expressões-chave em português e procedimentos de busca em bancos nacionais de teses e dissertações. Os passos para a composição desse segundo acervo são explicados mais adiante nesta seção.

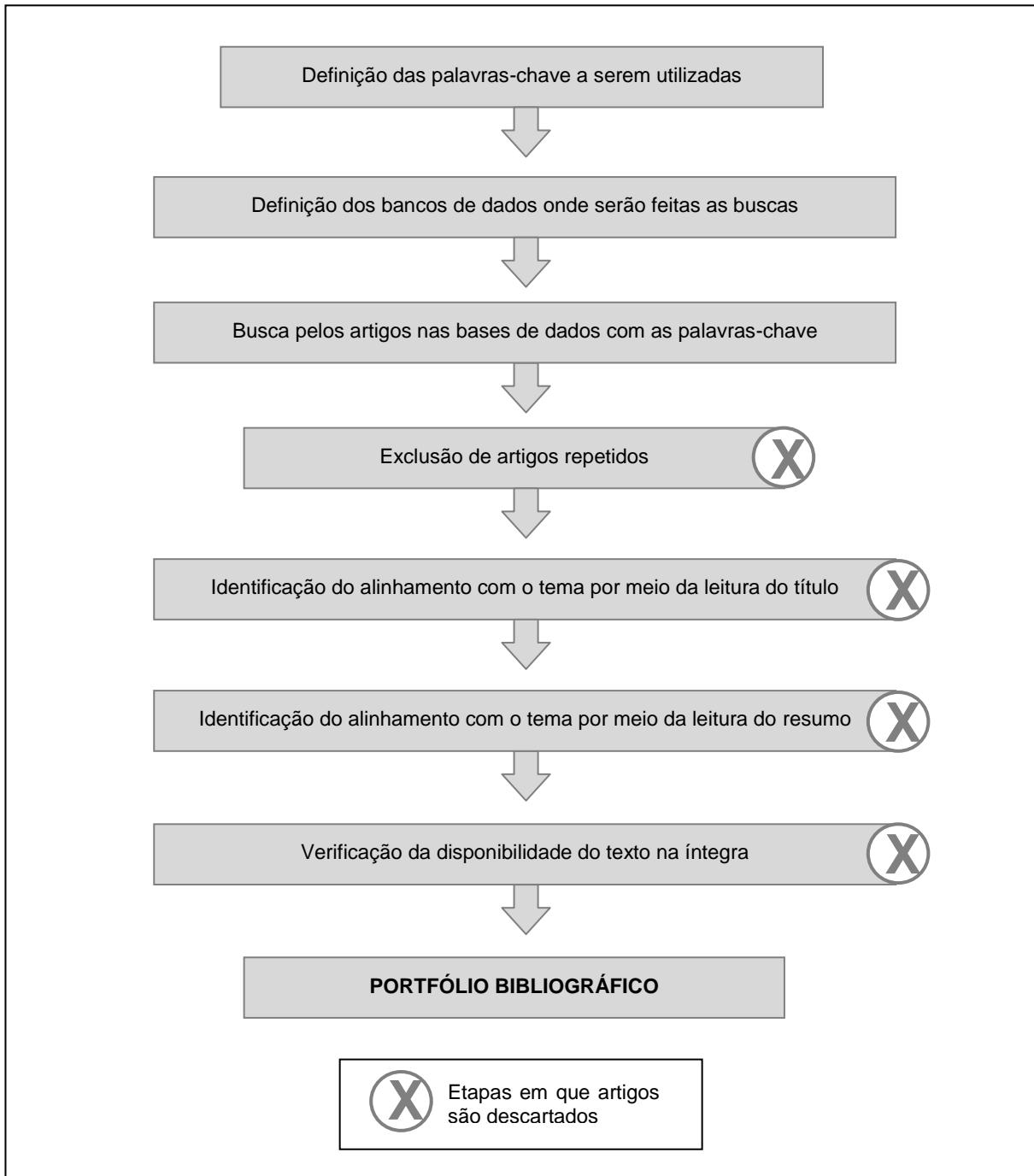
são indexados por mais de uma dessas bases, o conjunto de artigos reunidos inicialmente continha publicações redundantes. Após a exclusão destas últimas, obteve-se um montante de 420 trabalhos.

A partir da leitura dos títulos e resumos dos 420 trabalhos, notou-se que alguns deles, apesar de apresentarem as expressões-chave utilizadas no procedimento de busca, não tratavam especificamente da temática examinada. Assim, a identificação do alinhamento com o tema com base nos títulos e resumos conduziu a um novo filtro que desconsiderou 136 artigos. Finalmente, verificou-se que os 284 trabalhos restantes encontravam-se integralmente disponibilizados no Portal da CAPES. Estes últimos compreendem, portanto, o portfólio final correspondente à produção científica mundial utilizado para as análises feitas nesta dissertação³⁷.

Observa-se que a metodologia de composição da primeira coleção de trabalhos abrangeu uma série de procedimentos sequenciais que se iniciaram com a definição do mecanismo de busca de artigos científicos, seguindo por um conjunto de processos de filtragem e seleção de um portfólio bibliográfico relevante acerca dos ecossistemas industriais. Essa metodologia é apresentada de forma resumida no Quadro 10, a seguir.

³⁷ A exposição completa das referências dos trabalhos contidos nesse portfólio (publicação mundial) consta no Anexo A desta dissertação.

Quadro 10 – Processo de seleção dos artigos científicos publicados em periódicos de circulação internacional



Fonte: Elaborado pelo autor.

O objetivo de caracterizar a produção científica brasileira relativa aos ecossistemas industriais exigiu a composição de uma segunda coleção de trabalhos; esta última abrangendo as teses e dissertações defendidas nos programas nacionais de pós-graduação

e circunscritas à temática³⁸. A seleção deste portfólio bibliográfico seguiu os procedimentos metodológicos descritos no diagrama anterior. Isso significa que a construção da segunda coleção de trabalhos também consistiu na busca de material científico em bases de dados de maneira sistematizada.

Como fonte de dados, elegeu-se os seguintes bancos de teses e dissertações disponíveis na Internet: *i*) a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD) do Instituto Brasileiro de Informação Científica e Tecnológica (IBICT), que compreende um catálogo nacional de teses e dissertações em texto integral e referencial provenientes das IES; e, *ii*) o Banco de Teses da CAPES, composto por ferramentas de busca e consulta a informações sobre os trabalhos defendidos junto aos programas de pós-graduação no país. Com base em uma revisão preliminar da literatura brasileira sobre ecossistemas industriais, foram estabelecidas as seguintes expressões de busca: “ecossistemas industriais”, “eco-parques industriais”, “parques industriais ecológicos” e “desenvolvimento eco-industrial”.

A identificação do alinhamento com o tema por meio da leitura dos títulos e resumos permitiu a seleção de um acervo de 16 teses e dissertações, sendo que estas foram desenvolvidas em 13 programas de pós-graduação de 10 universidades brasileiras. Todos esses trabalhos encontravam-se integralmente disponíveis na Internet. Sendo assim, eles compreendem o portfólio final referente à produção científica no Brasil, também utilizado para as análises feitas nesta dissertação³⁹.

Com as duas amostras de trabalhos definidas, partiu-se para a segunda etapa da pesquisa. Nesta fase, realizou-se o exame bibliométrico dos trabalhos catalogados com o objetivo de quantificar as informações bibliográficas e fornecer as características (padrões e tendências) das publicações em âmbito mundial e nacional. Para tanto, procedeu-se a uma coleta das variáveis necessárias para a consecução dessa análise. O Quadro 11, a seguir, discrimina tais variáveis para cada uma das coleções de publicações.

³⁸ A opção pelas teses e dissertações – e não por artigos científicos como no caso da coleção referente à publicação mundial –, justifica-se pelo fato de que parcela significativa da produção científica brasileira origina-se das pesquisas realizadas no âmbito dos programas nacionais de pós-graduação. Nesse sentido, a composição de um portfólio bibliográfico com base em teses e dissertações capta uma proporção considerável dos esforços de investigação feitos no Brasil.

³⁹ A exposição completa das referências dos trabalhos contidos nesse portfólio (publicação brasileira) consta no Anexo B desta dissertação.

Quadro 11 – Variáveis utilizadas no exame bibliométrico das duas amostras de publicações

VARIÁVEIS / COLEÇÃO I (PRODUÇÃO CIENTÍFICA MUNDIAL)	VARIÁVEIS / COLEÇÃO II (PRODUÇÃO CIENTÍFICA BRASILEIRA)
Frequência de publicações por ano, por periódico e por autor	Ano de defesa
Procedência geográfica e institucional dos pesquisadores	Nível de pós-graduação (mestrado ou doutorado)
Palavras-chave	Vinculação institucional dos pesquisadores (autores e orientadores)
Nº de citações recebidas pelas publicações	Áreas de concentração dos programas de pós-graduação

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentado no quadro anterior, as variáveis compõem-se dos dados bibliográficos de ambas as amostras de trabalhos científicos. Para o conjunto de artigos publicados por periódicos de circulação internacional (coleção I), os aspectos investigados abarcaram a frequência de publicações por ano, por periódico e por autor, a procedência geográfica e institucional dos pesquisadores, as palavras-chave e a quantidade de citações recebida pelas publicações. No caso das teses e dissertações defendidas em programas brasileiros de pós-graduação (coleção II), os seguintes elementos foram examinados: ano de defesa; nível de pós-graduação (mestrado ou doutorado); vinculação institucional dos pesquisadores (autores e orientadores); e as áreas de concentração dos programas de pós-graduação. Para facilitar a manipulação das informações e padronizar seu formato de apresentação, os dados coletados foram exportados para o *Excel*.

Em seguida, aplicou-se a Bibliometria com a finalidade de delinear os comportamentos estatisticamente regulares nos diferentes elementos bibliográficos relacionados com a produção científica selecionada. O emprego de técnicas bibliométricas mais intuitivas – como as análises de distribuição, frequência e *ranking* – permitiu caracterizar o ambiente de emergência da agenda de pesquisa nas esferas mundial e nacional, fornecendo perspectivas sobre o estado da arte dos ecossistemas industriais nesses dois âmbitos.

Alguns métodos bibliométricos mais sofisticados, como as leis de Lotka e Bradford, também foram utilizados no exame da coleção I (produção científica mundial) para mensurar a produtividade de autores e periódicos, bem como a recorrência de palavras-chave. Ademais, a análise de citações foi usada para ponderar o reconhecimento científico das publicações pertencentes a essa amostra de trabalhos. Não foi possível empregar essas

mesmas técnicas no caso da avaliação da coleção II (produção científica brasileira) em virtude do tamanho reduzido deste último acervo – apenas 16 teses e dissertações.

A terceira e última etapa da pesquisa envolveu a organização/sistematização e análise dos resultados obtidos com o estudo bibliométrico. Buscou-se a identificação dos padrões e tendências da produção científica internacional e brasileira acerca dos ecossistemas industriais. Tais resultados são apresentados no capítulo que se segue (capítulo 3).

CAPÍTULO 3

PADRÕES E TENDÊNCIAS DA PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA CONCERNENTE AO TEMA “ECOSSISTEMAS INDUSTRIAIS”

O presente capítulo discute os resultados do exame bibliométrico de dois conjuntos de trabalhos científicos que comungam do mesmo objeto de pesquisa: os ecossistemas industriais. Conforme detalhado na seção 2.3 desta dissertação, a metodologia de composição de ambas as coleções abrangeu uma série de procedimentos sequenciais que se iniciaram com a definição dos mecanismos de busca por trabalhos em bases de dados específicas, seguindo pela filtragem das publicações coletadas. A Tabela 2 abaixo sistematiza as características principais acerca de cada grupo.

Tabela 2 – Descrição dos grupos de trabalhos científicos

COLEÇÃO I (PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA MUNDIAL)		COLEÇÃO II (PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA BRASILEIRA)	
Artigos científicos	284	Teses e dissertações	16
Autores e co-autores	515	Autores	16
Periódicos	73	Orientadores	13
Institutos de pesquisa	219	Programas de pós-graduação	13
Países	38	Universidades	10

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados bibliográficos das coleções de trabalhos.

Observa-se que a primeira coleção de trabalhos engloba 284 artigos publicados em 73 periódicos de circulação internacional, sendo que 515 pesquisadores provenientes de 219 institutos – dispersos em 38 países – participaram dessa produção. A segunda coleção, por sua vez, abarca um acervo de 16 teses e dissertações defendidas em 13 programas de pós-graduação de 10 universidades brasileiras. A análise bibliométrica nos planos mundial e nacional justifica-se pelo intuito de caracterizar os padrões e tendências dos esforços de investigação nesses dois âmbitos.

As seções iniciais deste capítulo concentram-se no primeiro grupo de publicações, isto é, na produção científica mundial relativa aos ecossistemas industriais. Os aspectos

investigados abrangem a frequência de publicações por ano, por periódico e por autor, a procedência geográfica e institucional dos pesquisadores, as palavras-chaves, bem como a quantidade de citações recebida pelos artigos. Tais indicadores 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. A seção 3.1 descreve o ambiente de emergência e constituição das agendas de pesquisa a partir da análise da dispersão temporal das publicações (subseção 3.1.1), da distribuição espacial da literatura sobre o tema (subseção 3.1.2) e das entidades envolvidas nas atividades de investigação (subseção 3.1.3). Em seguida, na seção 3.2, avalia-se a produtividade de autores (subseção 3.2.1), bem como a incidência do assunto sobre os periódicos (subseção 3.2.2), a recorrência de palavras-chave (subseção 3.2.3) e o reconhecimento científico dos artigos (subseção 3.2.4).

A terceira seção (3.3) caracteriza a pesquisa no Brasil. Para tanto, examina-se os dados bibliográficos das teses e dissertações que constituem o segundo grupo de trabalhos científicos. Os seguintes aspectos são analisados: ano de defesa; nível de pós-graduação (mestrado ou doutorado); vinculação institucional dos pesquisadores (autores e orientadores); e as áreas de concentração dos programas de pós-graduação. Por fim, na última seção (3.4), segue-se uma síntese dos resultados discutidos ao longo do capítulo.

3.1 AMBIENTE DE EMERGÊNCIA E CONSTITUIÇÃO DAS AGENDAS DE PESQUISA

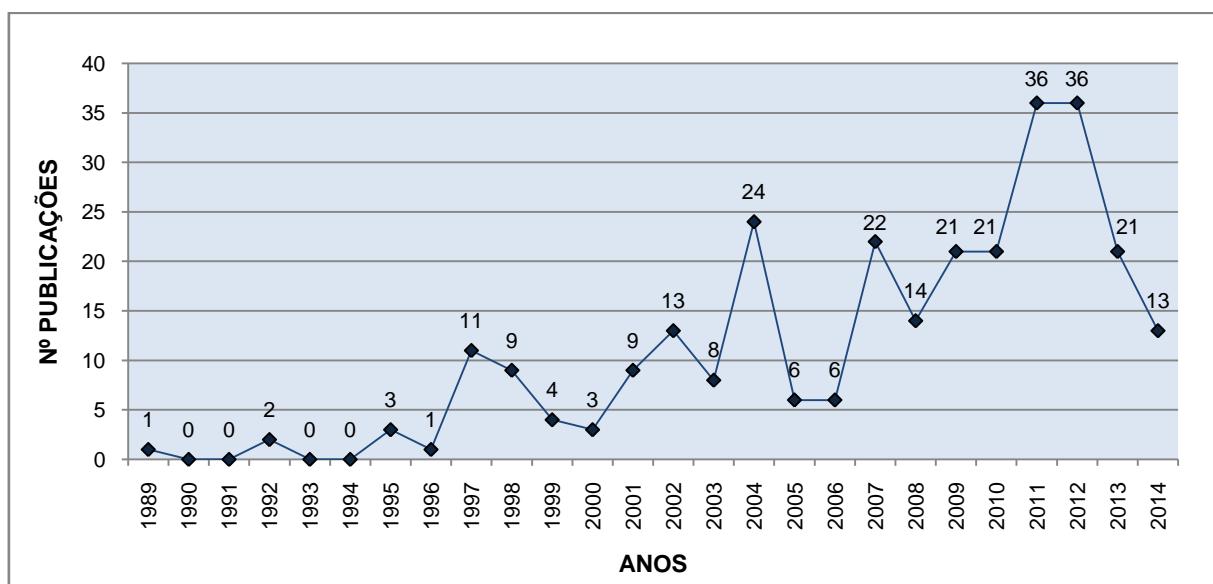
A aplicação de técnicas bibliométricas mais intuitivas, como as análises de distribuição, frequência e *ranking*, possibilita uma visão abrangente dos esforços de investigação em domínios específicos, explicando a organização do conhecimento nas diversas áreas e fornecendo perspectivas sobre o seu estado da arte. Com base nessa assertiva, as subseções seguintes caracterizam o ambiente de emergência e constituição do objeto de pesquisa “ecossistemas industriais” por meio da distribuição temporal, espacial e institucional dos artigos científicos da coleção I.

3.1.1 Distribuição temporal

O Gráfico 1 apresenta a distribuição temporal do conjunto de artigos. O período de publicação dos *papers* abrange cerca de 26 anos, compreendendo o ano de 1989, quando foi encontrado o primeiro trabalho sobre o tema, até março de 2014⁴⁰. 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;
- a queda evidenciada em 2014 reflete o fato de que a construção do portfólio de artigos considerou os trabalhos publicados até março do referido ano, isto é, a informação não comprehende o ano em sua totalidade.

Gráfico 1 – Distribuição temporal das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” no período 1989-2014



Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

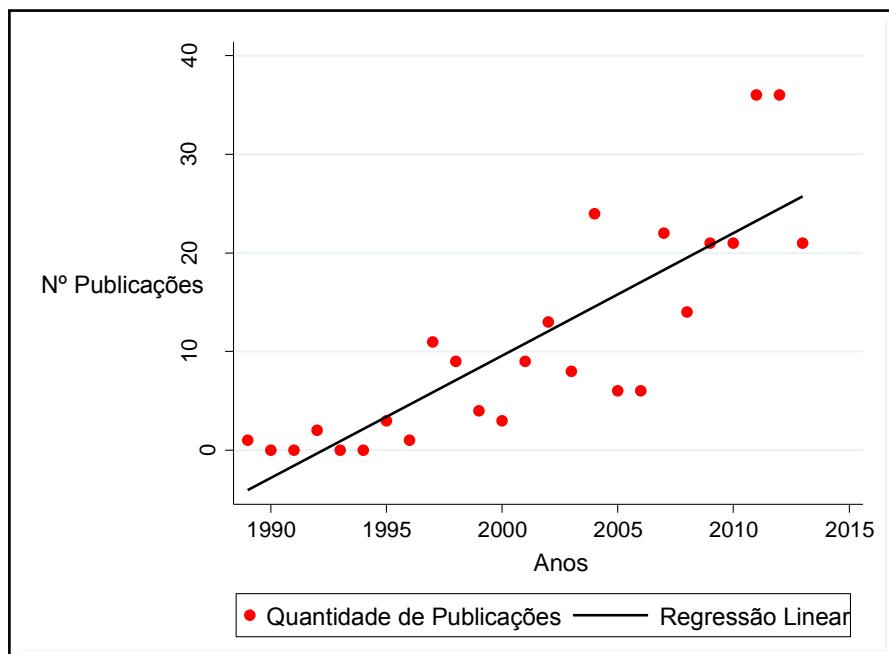
⁴⁰ É interessante notar que o início do período abarcado pelas publicações coincide com o momento da própria criação da Ecologia Industrial. Conforme discutido no capítulo 1, o texto de Frosch e Gallopolous de 1989 – e catalogado no portfólio bibliográfico ora considerado – é comumente tomado como um trabalho pioneiro nas discussões relativas à Ecologia Industrial, introduzindo inclusive a noção de ecossistema industrial nessas discussões. Desse modo, é razoável supor que o portfólio de artigos conseguiu abranger o período de emergência e constituição da abordagem dos ecossistemas industriais.

O hiato ou descontinuidade que marca os anos iniciais da série de tempo é um indício do pioneirismo dos textos publicados nesse período. Nesta lista estão incluídos os trabalhos de Frosch e Gallopolous (1989), Tibbs (1992), Côté e Hall (1995), Lowe e Evans (1995), Sarkis e Rasheed (1995), os quais representam os primeiros esforços dirigidos à conceituação e ao entendimento da noção de ecossistema industrial. 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 1997⁴¹.

A tendência de expansão da produção científica pode ser detectada por meio do ajuste de uma reta por regressão linear simples com a variável tempo. O Gráfico 2, a seguir, mostra os resultados da estimativa dessa reta por mínimos quadrados ordinários. Utilizou-se uma amostra com 25 observações concernentes aos dados de publicação de 1989 a 2013. Optou-se por excluir a informação de 2014 porque a mesma contempla apenas os três primeiros meses do referido ano.

⁴¹ A exposição dos resultados acerca da incidência do assunto sobre os periódicos (subseção 3.2.2 deste capítulo) corrobora a afirmação de que os dois *Journals* constituem os principais veículos de disseminação do conhecimento construído sobre os ecossistemas industriais, contribuindo para o avanço e amadurecimento desses estudos.

Gráfico 2 – Avaliação de tendência linear das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” no período 1989-2013^[1]



coef. 1.242308, (robust) se = 0.178592, t = 6.96, R-sq. = 0.7012

Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

Nota: [1] Utilizou-se o software estatístico STATA/SE 12.1 para a estimação da reta e plotagem do gráfico.

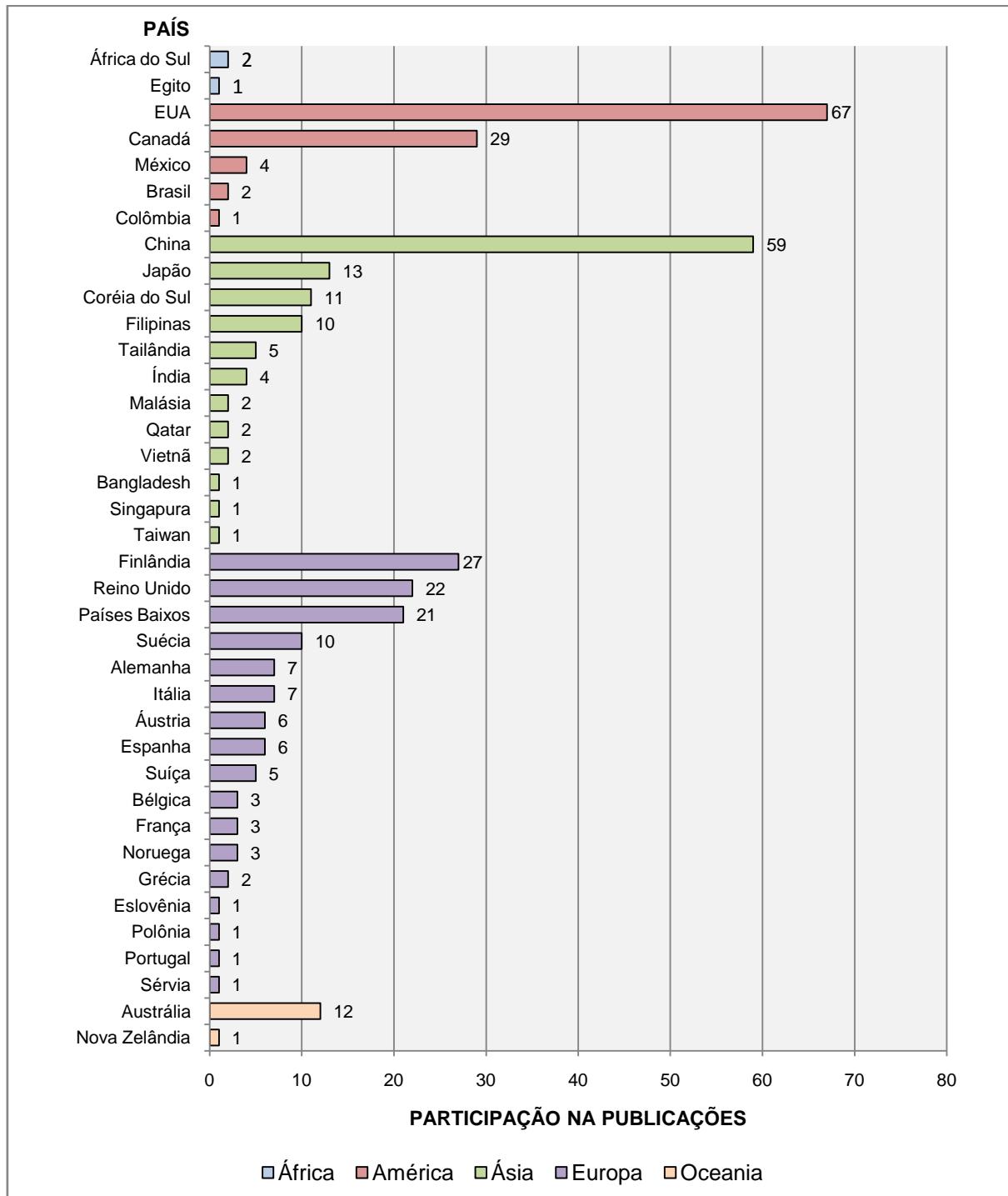
O coeficiente associado ao volume anual de publicações (aproximadamente 1,24) é positivo e estatisticamente significativo a 1%. Essa relação positiva é evidência de que houve um interesse acadêmico crescente pelo tema ecossistema industrial, implicando no crescimento das publicações ao longo do tempo. É possível inferir que se trata de um campo de investigação em movimento de expansão ou de um tema de pesquisa emergente.

3.1.2 Distribuição espacial

A análise da distribuição espacial da coleção de artigos científicos considera as nacionalidades dos institutos que abrigavam os autores e coautores no momento da realização de suas pesquisas. Verifica-se o envolvimento de 38 países, dispersos nos cinco continentes. A maior concentração é observada nos EUA, cujas participações totalizam 67 trabalhos, seguidos por China (59), Canadá (29), Finlândia (27), Reino Unido (22), Países Baixos (21), Japão (13), Austrália (12), Coréia do Sul (11), Filipinas (10) e Suécia (10). Os

demais países apresentam participações que variam entre 7 (Alemanha e Itália) e 1 (10 países), conforme ilustrado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por países, no período 1989-2014



Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

O somatório de participação dos países nas publicações (356) excede a quantidade de artigos publicados (284) porque, em vários casos, a realização do trabalho de pesquisa envolveu dois ou mais institutos localizados em nações distintas. Isso decorre do fato de que a distribuição das publicações por países considera a origem de todos os pesquisadores (autores e coautores) envolvidos nessa produção. Uma vez que essa lógica é mantida nas demais análises relativas à dispersão geográfica, obtém-se o mesmo resultado nestas últimas. Por exemplo, o somatório de participação dos continentes nas publicações (356), com se verá a seguir, também excede o montante de trabalhos (284).

A Tabela 3 expõe a participação absoluta e relativa dos continentes no volume de publicações, bem como o número de países envolvidos nas pesquisas para cada uma dessas regiões. Observa-se uma prevalência da Europa (35,39%), seguida por Ásia (31,18%), América (28,93%), Oceania (3,65%) e África (0,84%). É razoável supor que as maiores concentrações, Europa e Ásia, estejam relacionadas com as quantidades maiores de nações envolvidas na produção científica no caso desses continentes: 17 países europeus, e 12 asiáticos.

Tabela 3 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por continentes, no período 1989-2014

CONTINENTE	Nº DE PAÍSES	PARTICIPAÇÃO NAS PUBLICAÇÕES	FREQUÊNCIA RELATIVA
ÁFRICA	02	03	0,84%
AMÉRICA	05	103	28,93%
ÁSIA	12	111	31,18%
EUROPA	17	126	35,39%
OCEANIA	02	13	3,65%

Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

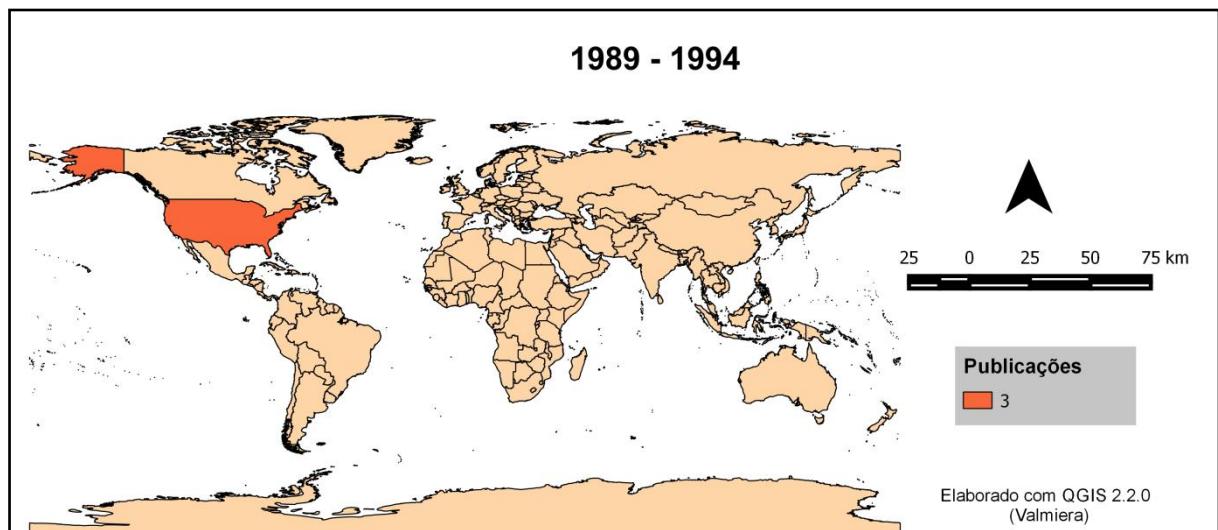
É interessante avaliar o envolvimento de países e continentes ao longo do tempo. Isso porque a trajetória de evolução dos estudos sobre os ecossistemas industriais pode apresentar tendências intertemporais que se distanciam daquelas características observadas no exame da distribuição geográfica das publicações no período como um todo. Ademais, os resultados dessa avaliação podem corroborar ou não o argumento de emergência desse campo de investigação.

Considerando o período total abarcado pelas publicações (cerca de 26 anos), a avaliação da participação de países e continentes por ano tornaria esta uma análise

extensa, dificultando o cotejamento das informações. Assim, por comodidade analítica, dividiu-se a série de tempo em cinco intervalos, cada um deles abrangendo cinco anos – com exceção daquele compreendido entre 1989 e 1994. O envolvimento dos países em cada subperíodo é examinado por meio de mapas construídos com a utilização do software de georreferenciamento QGIS 2.2.0 (Valmiera).

A primeira fase, ilustrada na Figura 3, abrange o ano de 1989 até 1994. Esse intervalo de tempo engloba as três primeiras publicações do portfólio de artigos científicos, especificamente os trabalhos de Frosch e Gallopolous (1989), Jelinski *et al.* (1992) e Tibbs (1992). Todos eles foram desenvolvidos em institutos de pesquisa localizados nos EUA, revelando o pioneirismo dessa nação e da América do Norte na trajetória de construção da abordagem dos ecossistemas industriais.

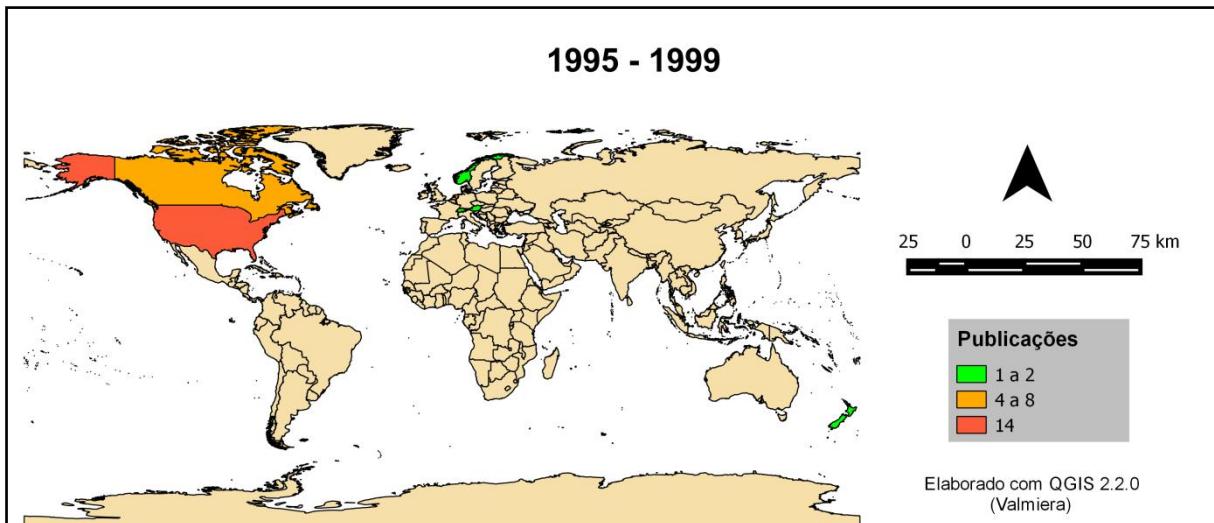
Figura 3 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por países, no subperíodo 1989-1994



Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

O subperíodo delimitado pelos anos 1995 e 1999 (Figura 4) caracteriza-se pelo incremento da quantidade de artigos publicados (total de 28 textos). Com efeito, essa segunda fase abarca o início da tendência de crescimento das publicações verificado em 1997. Ademais, ocorre o primeiro movimento de expansão geográfica da agenda de investigação, observando-se a sua difusão para a Europa e Oceania.

Figura 4 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por países, no subperíodo 1995-1999



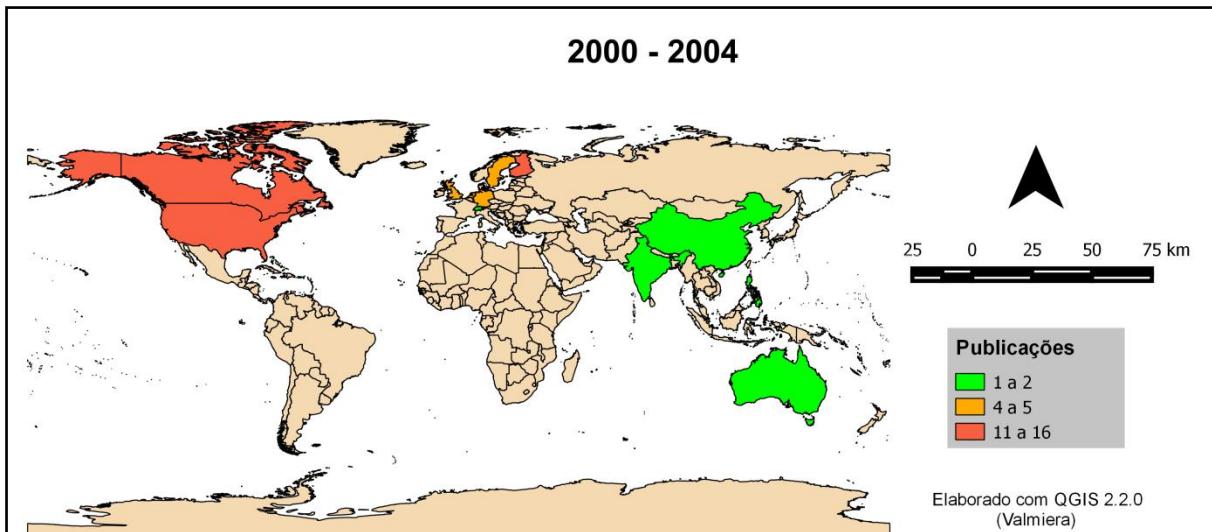
Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

Ao lado dos EUA (participação em 14 *papers*), o Canadá (envolvimento em 8 trabalhos) desonta como um dos principais polos de pesquisa, contribuindo para a concentração das atividades de investigação na América do Norte (70,97%). Na sequência, o continente europeu concentra 25,81% dessas atividades, com a participação de quatro nações: Países Baixos (8), Áustria (2), Noruega (1) e Suíça (1). Por fim, o envolvimento da Nova Zelândia (1) assegura a representação da Oceania em um equivalente percentual de 3,22%⁴².

O intervalo que comprehende os anos de 2000 até 2004 contém 57 artigos científicos. A participação de continentes e países pode ser visualizada na Figura 5. A maior concentração é verificada na Europa, região que contribui com 52,24% dos esforços de pesquisa. Nesse continente, os países participantes são Finlândia (16), Países Baixos (5), Reino Unido (5), Alemanha (4), Suécia (4) e Suíça (1). Em seguida, a América do Norte encontra-se envolvida em 37,31% das atividades de investigação, com a participação dos EUA (14) e Canadá (11). A Ásia (8,95%) é representada por China (2), Filipinas (2), Índia (1) e Singapura (1), enquanto que a Oceania (1,5%) é representada apenas pela Austrália (1).

⁴² É lícito lembrar que a soma de participação dos países (35) excede a quantidade de textos publicados neste subperíodo (28) porque a distribuição geográfica considera a origem de todos os pesquisadores envolvidos na produção científica dos anos considerados (1995 a 1999). A mesma lógica é mantida nos demais subperíodos.

Figura 5 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por países, no subperíodo 2000-2004



Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

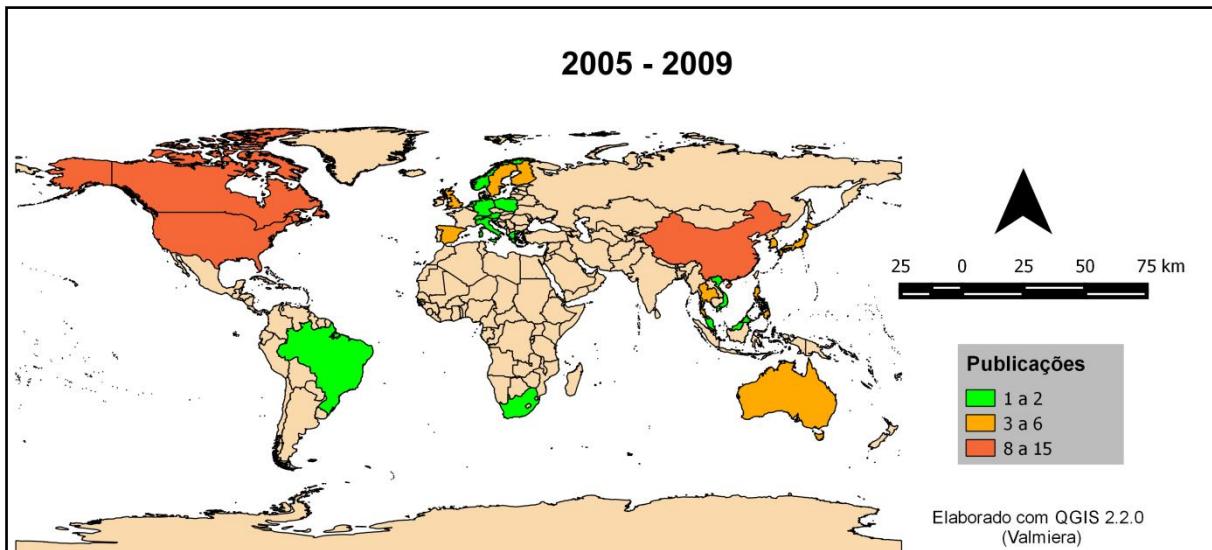
A descrição da distribuição espacial nessa terceira fase permite algumas reflexões. Primeiro, o subperíodo examinado abrange um movimento de expansão dentro da própria Europa, com o crescimento da quantidade de países participantes nessa região. Segundo, o despontamento da Finlândia como principal polo de investigação explica a prevalência do continente europeu no montante de publicações⁴³. Por fim, visualiza-se a difusão da agenda de pesquisa para um novo continente, isto é, para a Ásia.

A quarta fase engloba o ano de 2005 até 2009 (Figura 6). É a primeira vez que todos os continentes contêm nações vinculadas às publicações (69 trabalhos ao todo). A listagem a seguir enumera em ordem decrescente a participação relativa de cada região, bem como a contabilização de trabalhos por países:

- Ásia (37,08%): China (15), Coréia do Sul (5), Filipinas (4), Japão (3), Tailândia (3), Malásia (2) e Vietnã (1);
- Europa (31,46%): Reino Unido (6), Suécia (4); Espanha (3), Finlândia (3), Alemanha (2), Noruega (2), Países Baixos (2), Áustria (1), Eslovênia (1), Grécia (1), Itália (1), Polônia (1) e Suíça (1);
- América (23,6%): EUA (12), Canadá (8) e Brasil (1);
- Oceania (6,74%): Austrália (6);
- África (1,12%): África do Sul (1).

⁴³ A avaliação da produtividade dos autores (subseção 3.2.1) revela que J. Korhonen é o cientista com maior participação nas publicações. O despontamento da Finlândia na primeira metade dos anos 2000 é explicado principalmente pela elevada produtividade de Korhonen, uma vez que esse estudioso é residente daquele país.

Figura 6 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por países, no subperíodo 2005-2009



Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

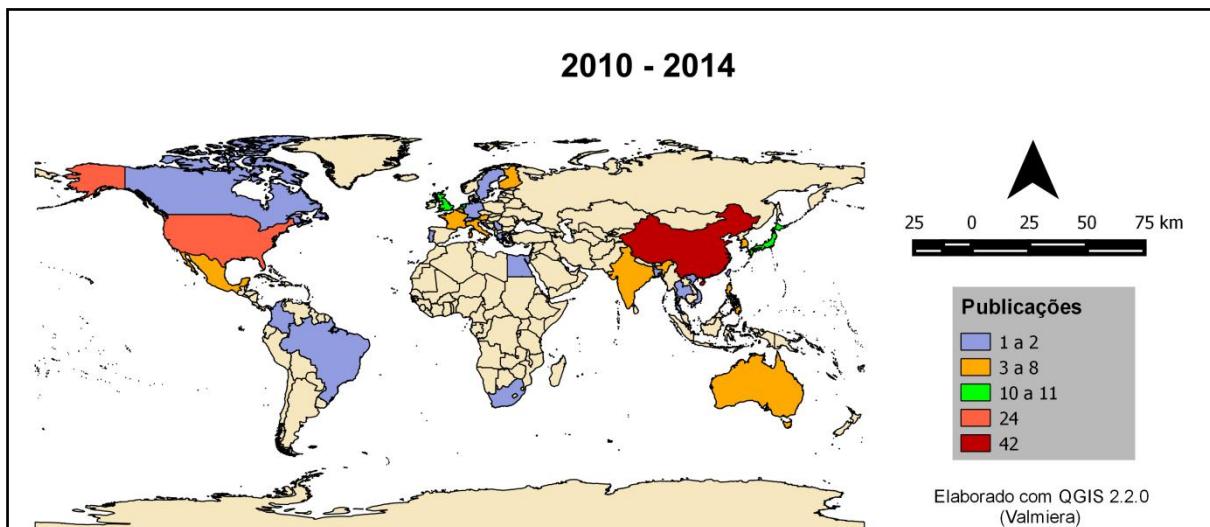
Além da difusão da pesquisa para a África, verifica-se uma expansão no interior dos três principais continentes envolvidos nessa atividade (Ásia, Europa e América). Os novos países asiáticos são Coréia do Sul, Japão, Malásia, Tailândia e Vietnã; por sua vez, as novas nações europeias são Espanha, Eslovênia, Grécia, Itália e Polônia. No caso americano, é a primeira vez que a América Latina é representada, com a participação do Brasil. Importante destacar que, apesar da inclusão de novos países participantes na Europa, esse movimento não garante a manutenção da prevalência dessa região. Com efeito, configura-se uma maior concentração na Ásia (37,08%), com o despotamento da China (15 publicações no subperíodo).

O último subperíodo, delimitado pelos anos 2010 e 2014, caracteriza-se pela publicação de 127 artigos (maior quantidade em relação às demais fases), sendo que todos os continentes contribuem para a realização dos mesmos. Essa contribuição é representada na Figura 7. A participação relativa de cada região e a quantidade de textos por nações seguem listadas:

- Ásia (43,37%): China (42), Japão (10), Coréia do Sul (6), Filipinas (4), Índia (3), Qatar (2), Tailândia (2), Bangladesh (1), Taiwan (1) e Vietnã (1);
- Europa (33,13%): Reino Unido (11), Países Baixos (10), Finlândia (8), Itália (6), Áustria (3), Bélgica (3), Espanha (3), França (3), Suécia (2), Suíça (2), Alemanha (1), Grécia (1), Portugal (1) e Sérvia (1);
- América (19,28%): EUA (24), México (4), Canadá (2), Brasil (1) e Colômbia (1);

- Oceania (3,01%): Austrália (5);
- África (1,2%): África do Sul (1) e Egito (1).

Figura 7 – Distribuição das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por países, no subperíodo 2010-2014



Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

A prevalência do continente asiático é mantida nessa última fase. A superioridade da China é patente (participação em 42 trabalhos). Verifica-se uma expansão da produção científica no interior de quase todas as regiões: na África, inclusão do Egito; na América, difusão para Colômbia e México; na Ásia, inserção de Bangladesh e Taiwan; e, na Europa, difusão para Bélgica, França, Portugal e Sérvia.

A descrição da trajetória intertemporal das publicações internacionais sobre os ecossistemas industriais revela que houve um crescimento considerável dessa produção ao longo dos intervalos considerados. Ademais, visualiza-se um processo de expansão da atividade de pesquisa para novas regiões e no interior destas. No que tange ao primeiro elemento, a Tabela 4 expõe o número de textos publicados em cada intervalo, bem como a taxa de crescimento dessa quantidade em relação ao subperíodo imediatamente anterior.

Nota-se a manutenção de taxas positivas de crescimento do número de publicações, com destaque para os anos de 1995 a 1999. Neste intervalo, particularmente a partir de 1997, inicia-se a tendência de aumento das publicações, o que explica a magnitude da taxa observada para o subperíodo (833,33%). Apesar da queda evidenciada entre 2005 e 2009, a taxa volta a crescer nos anos seguintes (2010-2014), alcançando o equivalente a 84,05%.

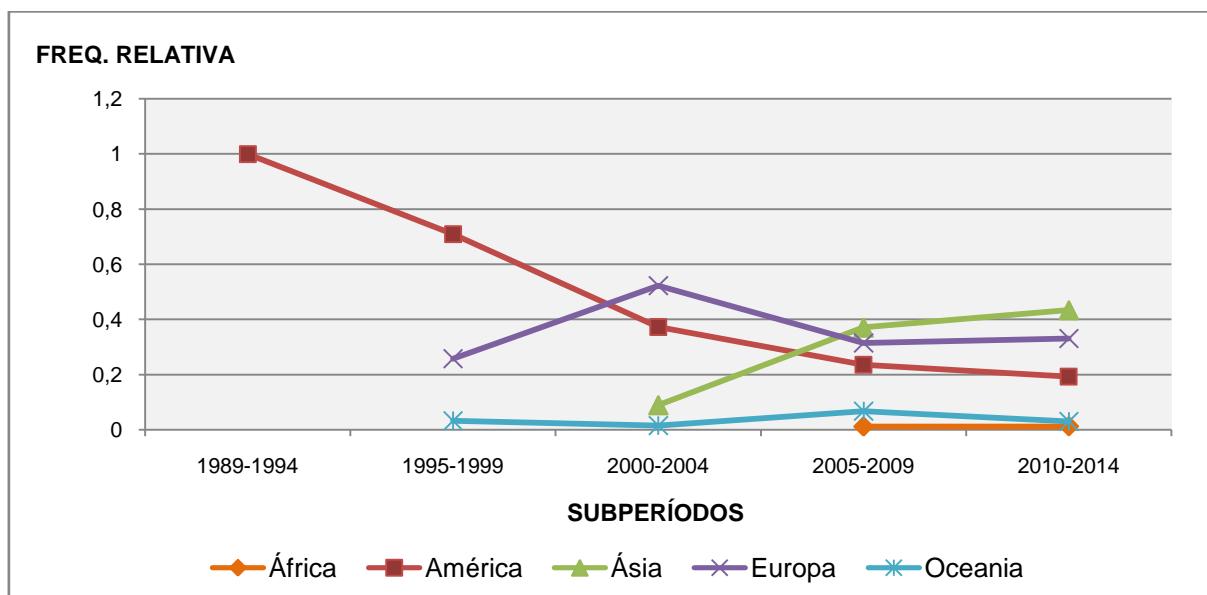
Tabela 4 – Taxa de crescimento das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por subperíodo

SUPERÍODO	Nº DE PUBLICAÇÕES	TAXA DE CRESCIMENTO DAS PUBLICAÇÕES
1989-1994	03	---
1995-1999	28	833,33%
2000-2004	57	103,57%
2005-2009	69	21,05%
2010-2014	127	84,05%

Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

A fim de perquirir acerca da expansão geográfica das atividades de pesquisa, o Gráfico 4 ilustra a participação relativa dos continentes nos intervalos temporais examinados. Na sequência, segue-se uma síntese dos principais movimentos dessa trajetória.

Gráfico 4 – Participação relativa das regiões nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por subperíodo



Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

- I. Os primeiros esforços direcionados ao entendimento da abordagem dos ecossistemas industriais são realizados, sobretudo, por pesquisadores filiados a institutos localizados nos EUA, país que se mantém 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. Entretanto, quando se analisa o período como um todo (1989-2014), 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 é marcada por um número de publicações modesto em comparação com os demais subperíodos;

- II. Com a difusão da agenda de investigação para a Europa em meados dos anos 1990, inicia-se uma tendência de crescimento da participação dessa região nas publicações. Ao longo do tempo, novas nações europeias passam 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;
- III. A Ásia insere-se nos esforços de pesquisa no começo dos anos 2000. A expansão que se segue dentro do próprio continente asiático é suficiente para garantir a liderança dessa região na última década. Nessa trajetória, a China desponta como um dos mais importantes polos de pesquisa, superando em 75% a participação em publicações dos EUA observada de janeiro de 2010 a março de 2014;
- IV. América Latina e África se envolvem nas investigações a partir de meados dos anos 2000, mas apresentam 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;
- V. 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. Enquanto que o primeiro artigo foi produzido no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), o segundo originou-se do Centro de Política Internacional para o Crescimento Inclusivo do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), com escritório em Brasília.

A análise integrada das cinco fases revela uma distribuição relativamente similar entre os três principais continentes envolvidos na produção científica, com uma vantagem da Europa sobre a Ásia e a América (ver Tabela 3). Essa característica é resultado dos movimentos intertemporais descritos. A trajetória delineada por esses movimentos também corrobora o argumento de emergência da temática “ecossistema 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.

3.1.3 Distribuição institucional

Os esforços de investigação sobre ecossistemas industriais ao longo do período aqui analisado contaram com a participação de 219 institutos. Conforme especificado na Tabela 5, essas organizações encontram-se dispersas nos cinco continentes.

Tabela 5 – Dispersão geográfica dos institutos de pesquisa envolvidos nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014

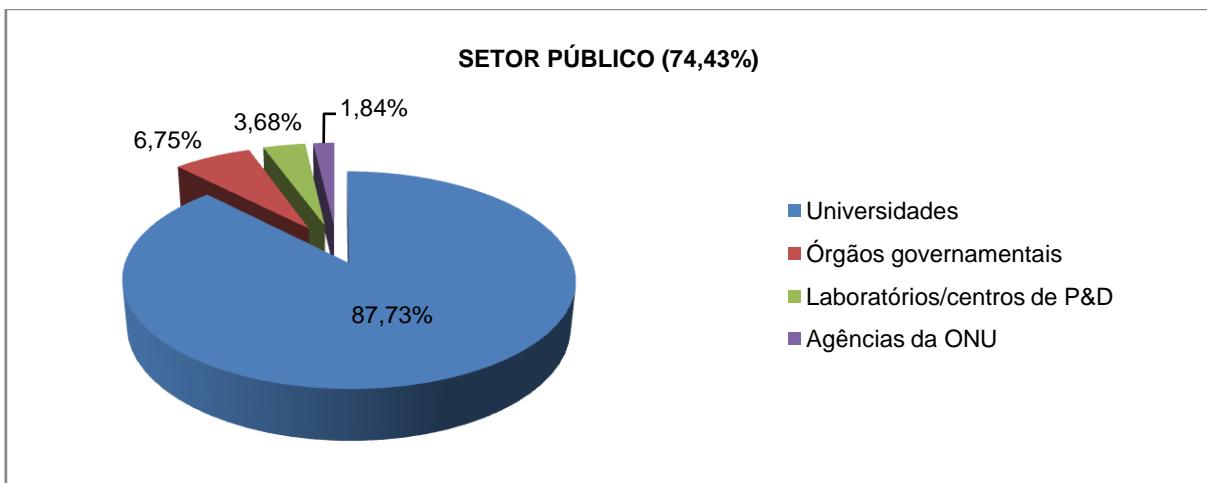
CONTINENTE / PAÍS	Nº INSTITUTOS	CONTINENTE / PAÍS	Nº INSTITUTOS
ÁFRICA	04	EUROPA	78
África do Sul	03	Alemanha	08
Egito	01	Áustria	03
AMÉRICA	67	Bélgica	04
Brasil	02	Eslovênia	01
Canadá	16	Espanha	04
Colômbia	01	Finlândia	11
EUA	45	França	02
México	03	Grécia	01
ÁSIA	58	Itália	06
Bangladesh	01	Noruega	02
China	27	Países Baixos	10
Coréia do Sul	07	Polônia	01
Filipinas	01	Portugal	01
Índia	04	Reino Unido	14
Japão	08	Sérvia	01
Malásia	01	Suécia	06
Qatar	01	Suíça	03
Singapura	01	OCEANIA	12
Tailândia	03	Austrália	11
Taiwan	02	Nova Zelândia	01
Vietnã	02		

Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

A Europa é a região que mais contém institutos envolvidos na pesquisa sobre ecossistemas industriais (35,62%), seguida por América (30,59%), Ásia (26,48%), Oceania (5,48%) e África (1,83%). As duas maiores concentrações nacionais são verificadas nos EUA (45) e na China (27) – juntas, essas nações hospedam cerca de 32,87% das organizações. Em seguida, com pelo menos 10 institutos, estão Canadá (16), Reino Unido (14), Austrália (11), Finlândia (11) e Países Baixos (10). Interessante lembrar que esses mesmos países compõem a lista de territórios nacionais com maiores quantidades de textos publicados. Com efeito, a participação nas publicações é determinada pelo número de organizações envolvidas nas atividades de pesquisa. O Brasil figura com apenas dois institutos, o que já indica o reduzido esforço investigativo nacional nesta temática. Esta característica da pesquisa brasileira sobre o assunto será analisada em mais detalhes na seção 3.3 deste capítulo.

As entidades podem ser classificadas quanto à natureza de suas atividades. Quando voltada para os interesses de um grupo específico objetivando o lucro, diz-se que a organização pertence ao setor privado. O setor público, por seu turno, compreende as instituições cujas ações visam ao bem-estar social. Considerando essas particularidades, verifica-se que 74,43% das entidades envolvidas nas publicações pertencem ao setor público. Dentre estas últimas, 87,73% são universidades, 6,75% são órgãos governamentais, 3,68% são laboratórios/centros de P&D e 1,84% são agências da ONU. O Gráfico 5 apresenta tais especificidades.

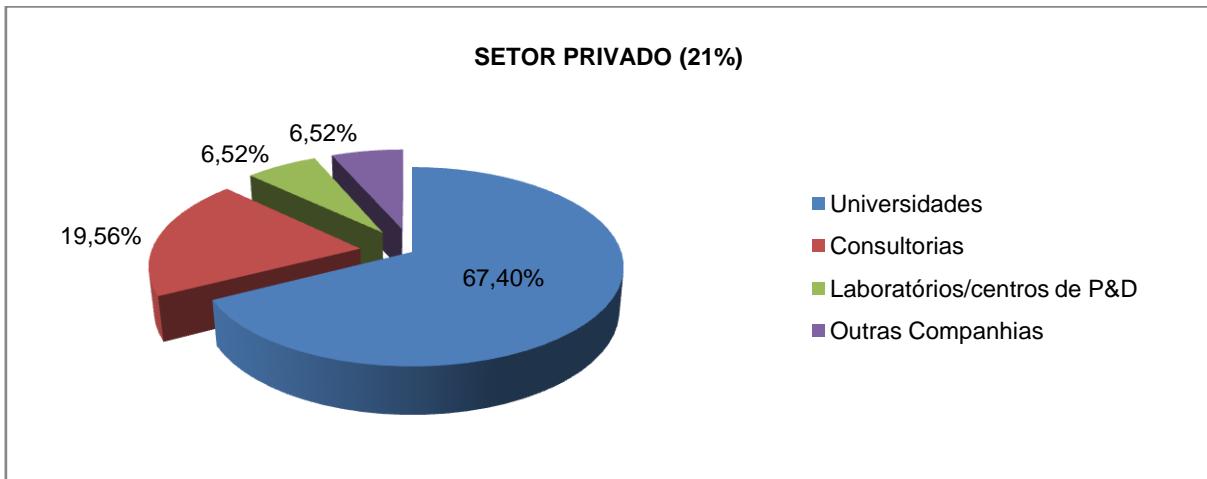
Gráfico 5 – Composição da natureza das instituições públicas envolvidas nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014



Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

O Gráfico 6 revela que as entidades do setor privado (21% do total de organizações) são constituídas por universidades (67,4%), consultorias (19,56%), laboratórios/centros de P&D (6,52%) e outros tipos de companhias (6,52%).

Gráfico 6 – Composição da natureza das instituições privadas envolvidas nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014

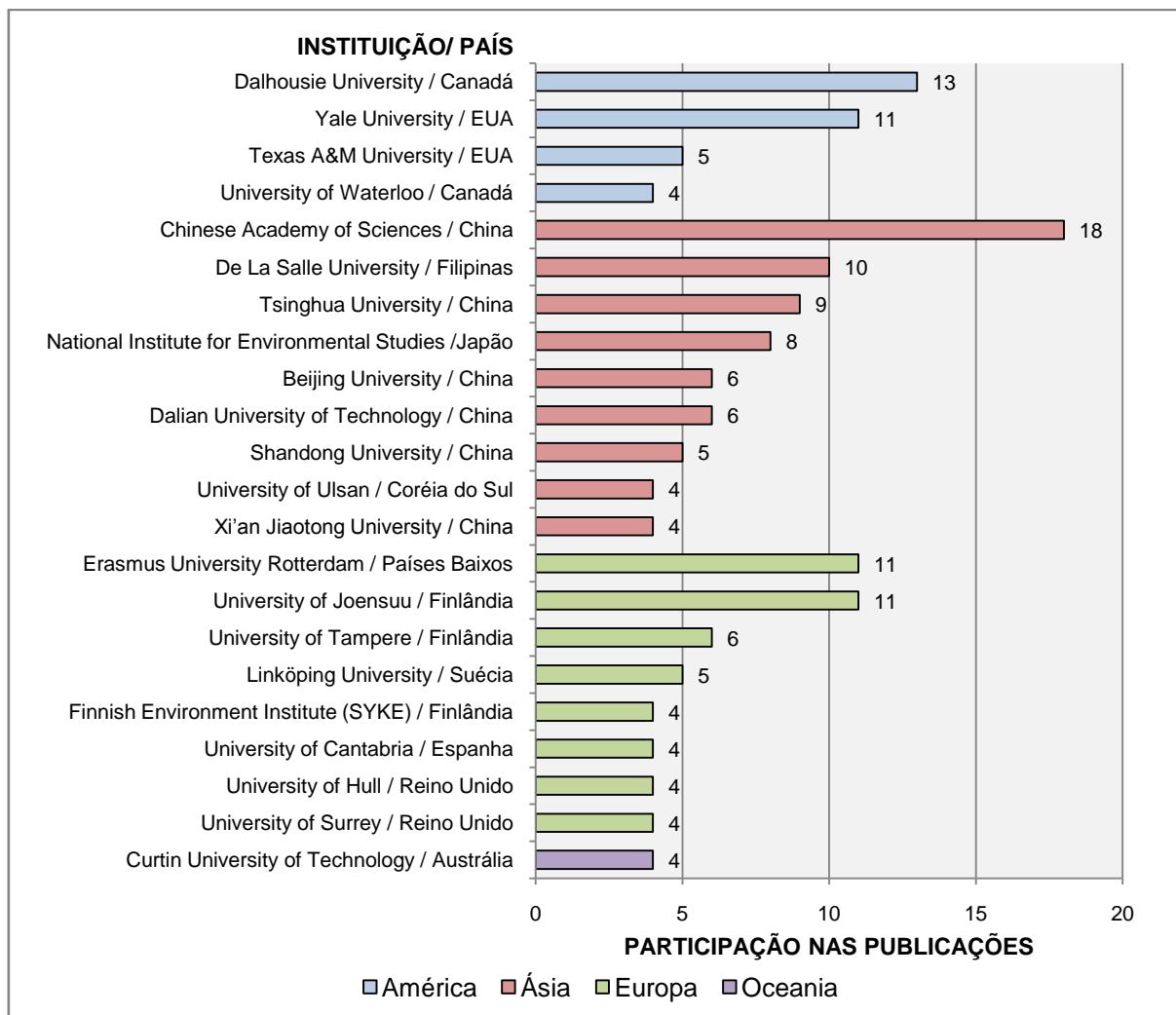


Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

Algumas instituições são ainda caracterizadas como pertencentes ao terceiro setor: 3,2% das organizações são assim classificadas porque constituem iniciativas de caráter privado – originam-se na sociedade civil –, mas apresentam fins públicos e não lucrativos. De fato, essas entidades compreendem a associação voluntária de grupos da sociedade civil interessados na conformação de práticas produtivas ambientalmente seguras. Finalmente, 1,37% das instituições envolvidas nas publicações não podem ser especificadas em virtude da ausência de informações satisfatórias acerca das mesmas.

A classificação das organizações quanto à natureza de suas atividades permite algumas conclusões. Primeiro, há uma prevalência do setor público nos esforços de investigação. Segundo, as universidades concentram as atividades de pesquisa tanto no âmbito público quanto no privado. As instituições de ensino superior (públicas e privadas) abrangem 79,45% do total de organizações. Uma dinâmica similar é encontrada quando se analisa as instituições com maior participação em publicações, conforme reportado no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Institutos com maior participação nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014^[1]



Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

Nota: [1] O critério de exclusão utilizado foi o de participação em pelo menos quatro publicações distintas. Essa opção justifica-se pelo objetivo de selecionar as principais entidades envolvidas nas atividades de pesquisa.

Observa-se que 10,04% dos institutos de pesquisa participam de pelo menos quatro publicações. Dentre estes últimos, 86,36% pertencem ao setor público, enquanto que 13,63% ao setor privado. As instituições de ensino superior (públicas e privadas) totalizam 90,91%. A prevalência das universidades é observada também quando se examina os principais centros de pesquisa: *Chinese Academy of Sciences/China* (envolvimento em 18 trabalhos), *Dalhousie University/Canadá* (13), *Erasmus University Rotterdam/Países Baixos* (11), *University of Joensuu/Finlândia* (11) e *Yale University/EUA* (11). Interessante destacar que tais universidades localizam-se nos países com maiores quantidades de textos publicados.

Percebe-se que a emergência da temática “ecossistema industrial” deu-se com maior força no setor público, especificamente no ambiente acadêmico. Como centros de ensino e pesquisa por definição, apreende-se a predominância das universidades públicas na constituição dessa agenda de investigação. Essa característica inverte a tendência original observada à época da publicação dos primeiros textos. Isso porque os trabalhos seminais, a saber, Frosch e Gallopolous (1989), Jelinski *et al.* (1992) e Tibbs (1992), foram desenvolvidos, respectivamente, nos *General Motors Research Laboratories*, na companhia norte-americana Arthur D. Little⁴⁴ e nos *AT&T Bell Laboratories*, isto é, no âmbito dos laboratórios de P&D de empresas privadas.

A prevalência do setor público nas atividades investigativas pode corroborar o argumento de que a conformação de ecossistemas industriais 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. Consoante às discussões expressas no capítulo 1, não se verifica uma solução monolítica, baseada na coordenação de mercado, para um conjunto tão complexo de questões que envolvem essas estratégias.

3.2 APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS BIBLIOMÉTRICAS

O estabelecimento teórico da Ciência da Informação foi marcado pelo desenvolvimento de métodos bibliométricos mais sofisticados. A busca por comportamentos estatisticamente regulares nos elementos relacionados com a produção e o consumo de conhecimento levou à formulação de princípios empíricos, como é o caso das leis de Lotka e de Bradford. Esses princípios são utilizados nas subseções que se seguem para mensurar a produtividade de autores e periódicos, bem como a recorrência de palavras-chave nos artigos que compõem a coleção I (publicação mundial). Ademais, a análise de citações – outra técnica da Bibliometria – é usada para ponderar o reconhecimento científico ou o impacto dos trabalhos.

⁴⁴ Apesar do texto de Tibbs ser publicado em 1992 pelo periódico *Pollution Prevention Review*, sua primeira versão, de 1991, foi publicada pela companhia norte-americana Arthur D. Little, onde o autor então prestava serviços de consultoria.

3.2.1 Caracterização dos autores e sua produtividade

As atividades de pesquisa contaram com a participação de 515 pesquisadores, os quais assumem as posições de autores ou coautores nas publicações. Conforme detalhado na Tabela 6, esses estudiosos encontram-se dispersos nos cinco continentes. Essa dispersão considera a nacionalidade dos institutos de pesquisa nos quais tais cientistas encontravam-se filiados no momento de realização das investigações.

Tabela 6 – Dispersão geográfica dos pesquisadores envolvidos nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014 [1]

CONTINENTE / PAÍS	Nº PESQUISADORES	CONTINENTE / PAÍS	Nº PESQUISADORES
ÁFRICA	05	EUROPA	187
África do Sul	04	Alemanha	12
Egito	01	Áustria	05
AMÉRICA	114	Bélgica	17
Brasil	03	Eslovênia	02
Canadá	24	Espanha	12
Colômbia	01	Finlândia	28
EUA	79	França	07
México	07	Grécia	02
ÁSIA	196	Itália	14
Bangladesh	02	Noruega	02
China	127	Países Baixos	24
Coréia do Sul	17	Polônia	04
Filipinas	05	Portugal	02
Índia	04	Reino Unido	35
Japão	22	Sérvia	03
Malásia	02	Suécia	12
Qatar	02	Suíça	06
Singapura	02	OCEANIA	20
Tailândia	08	Austrália	19
Taiwan	02	Nova Zelândia	01
Vietnã	03		

Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

Nota: [1] O somatório de autores e co-autores por países (522) excede a quantidade total de pesquisadores (515) porque sete cientistas (BAAS, L. W.; DONG, H.; FUJITA, T.; LOWE, E. A.; PEARCE, J. M.; SHI, H.; VAN BERKEL, R.) filiaram-se, em momentos distintos, a dois institutos localizados em nações diferentes.

A Ásia é a região que mais concentra pesquisadores (37,55%), seguida por Europa (35,82%), América (21,84%), Oceania (3,83%) e África (0,96%). As maiores concentrações nacionais são verificadas na China (127) e nos EUA (79) – juntas, essas nações abrigam

cerca de 39,76% dos estudiosos. Com pelo menos 20 pesquisadores, estão Reino Unido (35), Finlândia (28), Canadá (24), Países Baixos (24) e Japão (22). Como já observado, esses mesmos países apresentam as maiores participações nas publicações, indicando que a produção científica é influenciada pela quantidade de cientistas envolvidos nessa atividade.

O exame da filiação institucional dos pesquisadores fornece indícios da existência de escolas de atividade ou escolas de investigação, isto é, de grupos de cientistas (pertencentes à amostra) que trabalham na mesma instituição e pesquisam o tema “ecossistemas industriais”, sem a necessidade de compartilharem a mesma concepção teórica sobre o assunto. A Tabela 7 a seguir lista as entidades que hospedam ou hospedaram pelo menos seis dos pesquisadores envolvidos nas publicações internacionais.

Tabela 7 – Escolas de investigação sobre o tema “ecossistemas industriais” segundo o número de pesquisadores

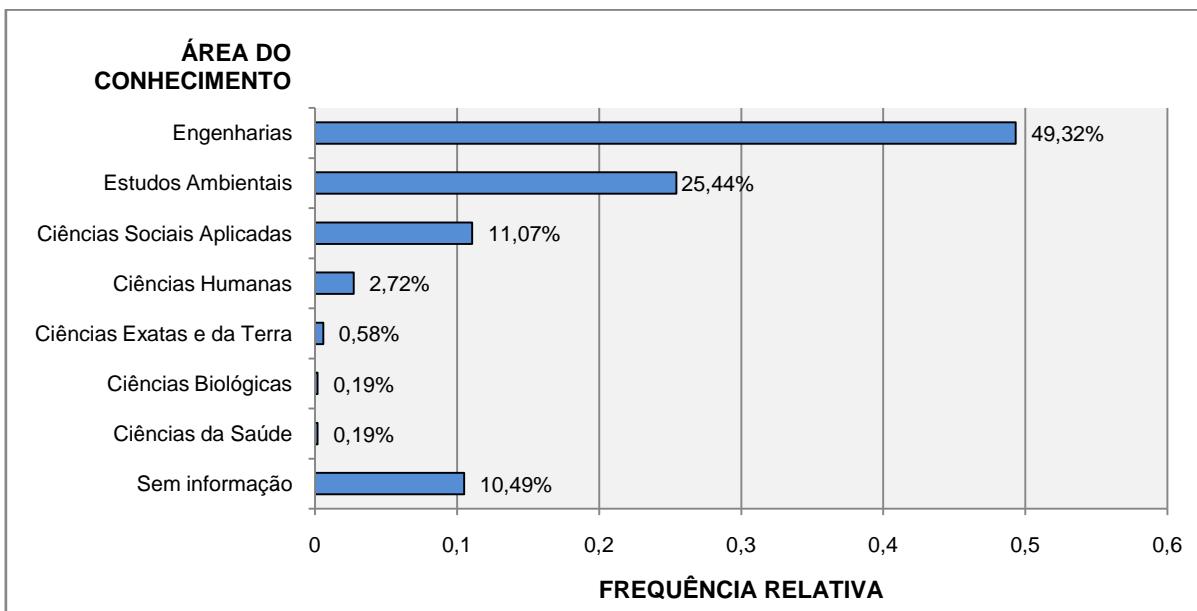
INSTITUTO DE PESQUISA	PAÍS	Nº DE PESQUISADORES DA AMOSTRA FILIADOS AO INSTITUTO
<i>Chinese Academy of Sciences</i>	China	27
<i>Tsinghua University</i>	China	19
<i>Beijing Normal University</i>	China	11
<i>Nanjing University</i>	China	11
<i>Shandong University</i>	China	11
<i>University of Leuven</i>	Bélgica	10
<i>Yale University</i>	EUA	09
<i>Aalto University</i>	Finlândia	08
<i>Ghent University</i>	Bélgica	07
<i>University of Tennessee</i>	EUA	07
<i>Xi'an Jiaotong University</i>	China	07
<i>Finnish Environment Institute (SYKE)</i>	Finlândia	06
<i>Harvard University</i>	EUA	06
<i>National Institute for Environmental Studies</i>	Japão	06
<i>Osaka University</i>	China	06
<i>Shanghai University</i>	China	06
<i>Tohoku University</i>	Japão	06
<i>University of Joensuu</i>	Finlândia	06
<i>University of Southampton</i>	Reino Unido	06

Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

As publicações oriundas de cada uma dessas organizações envolveram a cooperação de teóricos, em alguns casos, pertencentes a áreas distintas do conhecimento, porém com a mesma filiação institucional. É provável, portanto, que as entidades enumeradas constituam escolas de investigação relacionadas com a abordagem dos ecossistemas industriais. A maioria dessas escolas situa-se em território chinês, destacando-se a *Chinese Academy of Sciences* (27 pesquisadores da amostra filiados) e a *Tsinghua University* (19 pesquisadores). Bélgica, EUA, Finlândia, Japão e Reino Unido são os outros países representados na lista.

O Gráfico 8 apresenta as áreas do conhecimento que caracterizam a formação acadêmica e/ou a atuação profissional dos autores e coautores. As rubricas utilizadas para classificar os diversos campos disciplinares baseiam-se na tabela de áreas do conhecimento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – apenas a rubrica *Estudos Ambientais* não consta na referida tabela⁴⁵.

Gráfico 8 – Classificação dos pesquisadores envolvidos nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” em relação às áreas do conhecimento



Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

Há uma prevalência de engenheiros no conjunto de pesquisadores, perfazendo um percentual de 49,32% – nesse particular, a maior ocorrência é Engenharia Química. Em

⁴⁵ A inclusão da rubrica *Estudos Ambientais* justifica-se pela necessidade de distinguir os campos disciplinares que, apesar de se basearem nos alicerces teóricos das Ciências Biológicas, Exatas e da Terra, têm a conservação dos serviços ecossistêmicos como princípio normativo. Este é o caso, por exemplo, dos estudos de política e tecnologia ambientais.

seguida, 25,44% dos cientistas encontram-se vinculados aos Estudos Ambientais (política e tecnologia ambientais, gestão de recursos e resíduos), enquanto que 11,07% vinculam-se às Ciências Sociais Aplicadas (Administração, Economia, Estudos Organizacionais e Arquitetura). Com uma ocorrência que totaliza aproximadamente 3,68%, estão as Ciências Humanas (Geografia, Sociologia e Antropologia), Ciências Exatas e da Terra (Matemática), Ciências Biológicas (Botânica) e Ciências da Saúde (Medicina). Em razão da ausência de informações biográficas em alguns artigos da coleção, 10,49% dos pesquisadores não são classificados em relação às áreas do conhecimento a que pertencem.

Nota-se o predomínio das Ciências Naturais e Engenharias nos estudos acerca dos ecossistemas industriais – juntos, as Engenharias e os Estudos Ambientais perfazem um percentual de 74,76%. Isso pode ser resultado do foco de pesquisa nos fluxos físicos de matéria e energia. Conforme discutido no primeiro capítulo, 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 para o fortalecimento dessa perspectiva.

Observa-se também uma participação reduzida de economistas nas publicações. É lícito supor que esse resultado se deve ao fato de que a temática “ecossistemas industriais” requer esforços investigativos interdisciplinares, o que não tem sido uma prática comum entre os economistas, particularmente aqueles mais conservadores. Ademais, a abordagem econômica dominante desconsidera os fluxos físicos de matéria e energia que sustentam a atividade de transformação, concentrando suas análises na dinâmica dos fluxos monetários (abstratos). Cabe ressaltar que algumas reflexões críticas na teoria econômica já despertaram a atenção para as relações do sistema econômico com a biosfera, principalmente a partir do estabelecimento dos fundamentos da Economia Ecológica. No entanto, o avanço para essas novas discussões é lento devido à resistência da Economia (enquanto área disciplinar) para a introdução de novas perspectivas.

Os autores e coautores com maior envolvimento nas publicações são enumerados na Tabela 8 a seguir. Observa-se que apenas 4,85% dos pesquisadores participam de pelo menos quatro publicações. Os principais expoentes (com pelo menos 5 publicações) são Jouni Korhonen (18), Raymond P. Côté (12), Yong Geng (12), Tsuyoshi Fujita (10), Frank A. Boons (6), Anthony Shun Fung Chiu (6), Leo W. Baas (5), Marian Chertow (5), Minoru Fujii (5), Satoshi Ohnishi (5), Raymond R. Tan (5) e Qinghua Zhu (5). Esses estudiosos são filiados a algumas das entidades mais envolvidas nas atividades de pesquisa, a saber: *Chinese Academy of Sciences/China, Dalian University of Technology/China, Dalhousie University/Canadá, De La Salle University/Filipinas, Erasmus University Rotterdam/Países Baixos, National Institute for Environmental Studies/Japão, University of Joensuu/Finlândia e*

Yale University/EUA. Quatro dessas organizações foram anteriormente classificadas como escolas de investigação (ver Tabela 7).

Tabela 8 – Produtividade e filiação institucional dos pesquisadores envolvidos nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014^[1]

PESQUISADOR	FILIAÇÃO INSTITUCIONAL / PAÍS	PARTICIPAÇÃO NAS PUBLICAÇÕES
KORHONEN, Jouni	<i>University of Joensuu / Finlândia</i>	18
CÔTÉ, Raymond P.	<i>Dalhousie University / Canadá</i>	12
GENG, Yong	<i>Chinese Academy of Sciences / China</i>	12
FUJITA, Tsuyoshi	<i>National Institute for Environmental Studies / Japão</i>	10
BOONS, Frank A.	<i>Erasmus University Rotterdam / Países Baixos</i>	06
CHIU, Anthony Shun Fung	<i>De La Salle University / Filipinas</i>	06
BAAS, Leo W.	<i>Erasmus University Rotterdam / Países Baixos</i>	05
CHERTOW, Marian	<i>Yale University / EUA</i>	05
FUJII, Minoru	<i>National Institute for Environmental Studies / Japão</i>	05
OHNISHI, Satoshi	<i>National Institute for Environmental Studies / Japão</i>	05
TAN, Raymond R.	<i>De La Salle University / Filipinas</i>	05
ZHU, Qinghua	<i>Dalian University of Technology / China</i>	05
ASHTON, Weslynne S.	<i>IIT Stuart School of Business / EUA</i>	04
CHEN, Lujun	<i>Tsinghua University / China</i>	04
DESROCHERS, Pierre	<i>University of Toronto / Canadá</i>	04
DONG, Liang	<i>National Institute for Environmental Studies / Japão</i>	04
EHRENFIELD, John R.	<i>Massachusetts Institute of Technology / EUA</i>	04
EL-HALWAGI, Mahmoud M.	<i>Texas A&M University / EUA</i>	04
GIBBS, David	<i>University of Hull / Reino Unido</i>	04
MELANEN, Matti	<i>Finnish Environment Institute / Finlândia</i>	04
PARK, Hung-Suck	<i>University of Ulsan / Coréia do Sul</i>	04
RUTH, Matthias	<i>Northeastern University / EUA</i>	04
SHI, Han	<i>City University of Hong Kong / China</i>	04
TIAN, Jinping	<i>Tsinghua University / China</i>	04
VAN BERKEL, Rene	<i>Curtin University of Technology / Austrália</i>	04

Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

Nota: [1] O critério de exclusão utilizado foi o de participação em pelo menos quatro publicações distintas. Essa opção justifica-se pelo objetivo de selecionar os principais cientistas envolvidos nas atividades de pesquisa.

O percentual relativamente baixo de estudiosos envolvidos na publicação de pelo menos quatro artigos (4,85%) 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. Conforme discutido no capítulo 2, 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; MORETTI; CAMPANARIO, 2009).

A Tabela 9 exemplifica a aplicação do princípio de Lotka na análise das publicações internacionais sobre ecossistemas industriais. Para o conjunto de artigos científicos, discrimina-se a quantidade de pesquisadores envolvidos na produção de um, dois, três, quatro, cinco, seis e “sete ou mais” artigos. Observa-se que, ao longo do período examinado (1989-2014), o número de cientistas que escreveram dois trabalhos corresponde a 20,42% da quantidade de cientistas que escreveram apenas um. O número de cientistas que escreveram três trabalhos corresponde a 7,85% da quantidade de cientistas que escreveram um, e assim sucessivamente.

Tabela 9 – Aplicação da Lei de Lotka na análise das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014

Nº DE ARTIGOS CIENTÍFICOS	Nº DE AUTORES	PROPORCIONALIDADE DE AUTORES
01 artigo	382	---
02 artigos	78	20,42%
03 artigos	30	7,85%
04 artigos	13	3,40%
05 artigos	06	1,57%
06 artigos	02	0,52%
07 artigos ou mais	04	1,04%

Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados 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.

3.2.2 Incidência do assunto sobre periódicos

A publicação dos artigos foi realizada por 73 periódicos. A Tabela 10 apresenta uma ordenação dessa coleção de revistas em termos de produtividade decrescente. A produtividade é ora entendida como a quantidade de textos publicados por cada periódico no período considerado (1989-2014).

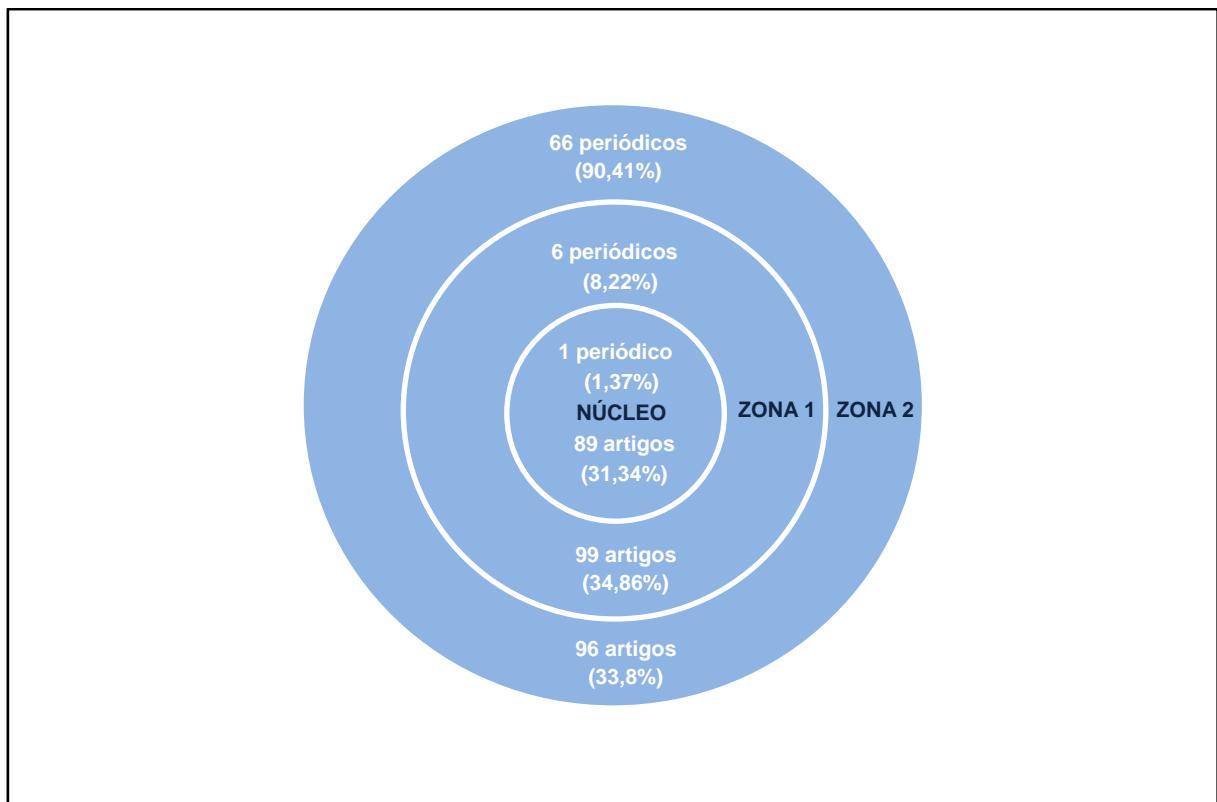
Tabela 10 – Produtividade dos periódicos envolvidos nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014

ZONAS / PERIÓDICOS	Nº DE PUBLICAÇÕES
NÚCLEO	89
<i>Journal of Cleaner Production</i>	89
ZONA 1	99
<i>Journal of Industrial Ecology</i>	54
<i>Business Strategy and the Environment</i>	13
<i>Resources, Conservation and Recycling</i>	11
<i>Journal of Environmental Management</i>	09
<i>Ecological Economics</i>	06
<i>Energy</i>	06
ZONA 2	96
<i>Energy Procedia</i>	05
<i>Waste Management</i>	05
<i>Energy Policy</i>	04
<i>Minerals Engineering</i>	04
<i>Sustainable Development</i>	04
<i>Clean Technologies and Environmental Policy</i>	03
<i>Eco-Management and Auditing</i>	03
<i>Computers and Chemical Engineering</i>	02
<i>Ecological Modelling</i>	02
<i>Industrial & Engineering Chemistry Research</i>	02
<i>International Journal of Energy Research</i>	02
<i>Procedia Social and Behavioral Sciences</i>	02
<i>Process Safety and Environmental Protection</i>	02
<i>Science of the Total Environment</i>	02
<i>Systems Engineering</i>	02
<i>The Geographical Journal</i>	02
50 PERIÓDICOS RESTANTES	01 PUBLICAÇÃO CADA

Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

A tabela anterior 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. De acordo com Araújo (2006), a lei bibliométrica formulada por Bradford postula que a disposição dos periódicos em ordem decrescente de produtividade sobre um determinando 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. A Figura 8 ilustra a aplicação da Lei de Bradford na coleção I de trabalhos científicos.

Figura 8 – Aplicação da Lei de Bradford na análise das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014



Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

O primeiro grupo contém apenas um periódico altamente produtivo, o *Journal of Cleaner Production* (89 trabalhos), daí a denominação de núcleo. Isso equivale a dizer que 1,37% das revistas foram responsáveis pela publicação de 31,34% dos artigos. O segundo grupo (zona 1) contém uma quantidade maior de periódicos menos produtivos, a saber, *Journal of Industrial Ecology* (54 textos), *Business Strategy and the Environment* (13),

Resources, Conservation and Recycling (11), *Journal of Environmental Management* (09), *Ecological Economics* (06) e *Energy* (06). Portanto, seis revistas (8,22%) publicaram 99 textos (34,86%). Finalmente, o terceiro grupo (zona 2) inclui mais revistas ainda, 66 no total, embora com uma produtividade menor; esses 66 periódicos (90,41%) publicaram 96 artigos (33,8%).

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 *Journals* 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.

3.2.3 Palavras-chave

A análise das palavras-chave revela a incidência de 572 expressões diferentes. Conforme reporta a Tabela 11, 14 delas ocorrem em até 10 textos, enquanto que 558 apresentam ocorrências inferiores a 10. Os termos mais recorrentes são: *Industrial Ecology* (106), *eco-industrial parks* (74), *industrial symbiosis* (71), *industrial ecosystems* (38), *sustainable development* (21), *energy* (19), *recycling* (15), *sustainability* (14), *China* (13), *by-product* (12), *circular economy* (12), *cleaner production* (10), *eco-industrial development* (10) e *material flow* (10).

Tabela 11 – Palavras-chave utilizadas nas publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 1989-2014

RANKING	PALAVRA-CHAVE	TOTAL DE OCORRÊNCIAS
01	<i>Industrial Ecology</i>	106
02	<i>Eco-industrial parks</i>	74
03	<i>Industrial symbiosis</i>	71
04	<i>Industrial ecosystems</i>	38
05	<i>Sustainable development</i>	21
06	<i>Energy</i>	19
07	<i>Recycling</i>	15
08	<i>Sustainability</i>	14
09	<i>China</i>	13
10	<i>By-product</i>	12
10	<i>Circular economy</i>	12
11	<i>Cleaner Production</i>	10
11	<i>Eco-industrial development</i>	10
11	<i>Material flow</i>	10
---	558 PALAVRAS-CHAVE	MENOR QUE 10

Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

É lícito considerar que a incidência das expressões *Industrial Ecology*, *sustainable development* e *sustainability* seja explicada pelo fato dos ecossistemas industriais comporem o enfoque prescritivo da Ecologia Industrial, constituindo uma perspectiva teórica para a reestruturação da indústria em um padrão compatível com a noção de sustentabilidade ambiental. A recorrência dos termos *eco-industrial parks*, *industrial ecosystems* e *eco-industrial development*, por sua vez, decorre das denominações imputadas ao objeto “ecossistemas industriais” e encontradas na literatura sobre o tema. Tal inferência corrobora inclusive a escolha desses termos, na etapa de construção do portfólio de trabalhos, para a busca inicial dos *papers* no portal de periódicos da CAPES.

A ocorrência das expressões *energy*, *recycling*, *cleaner production*, *material flow*, *circular economy*, *industrial symbiosis* e *by-product* não implica em 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.

3.2.4 Reconhecimento científico dos trabalhos

O primeiro passo para a verificação do reconhecimento científico dos artigos consistiu na determinação da quantidade de citações recebida por cada um deles. Para tanto, utilizou-se o *Google Acadêmico (Scholar Google)*, uma vez que a busca simples pelo título do trabalho nessa ferramenta apresenta o número de vezes em que o mesmo foi mencionado por outros documentos⁴⁶. De posse dessa informação, estabeleceu-se um ponto de corte para a seleção dos textos com base no seguinte critério: representatividade de 50% perante o banco de artigos completo em termos do total de citações recebidas por essa coleção (13.971). Desse modo, buscou-se uma lista com os textos mais referenciados que alcançam o montante de aproximadamente 6.985 citações. Os 29 trabalhos mais mencionados totalizam 7.118 (50,95%), todos eles com pelo menos 100 citações. A Tabela 12 a seguir lista esses trabalhos.

⁴⁶ A busca foi realizada em 05 de dezembro de 2014. Isso significa que a contabilização das citações considera as menções recebidas por cada texto até essa data.

Tabela 12 – Publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” com maior reconhecimento científico, segundo as citações

AUTOR(ES)	TÍTULO	PERIÓDICO	ANO	CITAÇÕES
FROSCH, R. A.; GALLOPOULOS, N. E.	<i>Strategies for manufacturing</i>	<i>Scientific American</i>	1989	1227
EHRENFELD, J. R.; GERTLER, N.	<i>Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg</i>	<i>Journal of Industrial Ecology</i>	1997	529
ERKMAN, S.	<i>Industrial ecology: an historical view</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	1997	507
CÔTÉ, R. P.; COHEN-ROENTHAL, E.	<i>Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	1998	385
CHERTOW, M. R.	<i>"Uncovering" industrial symbiosis</i>	<i>Journal of Industrial Ecology</i>	2007	313
TIBBS, H.	<i>Industrial Ecology. An agenda for environmental management</i>	<i>Pollution Prevention Review</i>	1992	307
LOWE, E. A.	<i>Creating by-product resource exchanges: strategies for eco-industrial parks</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	1997	282
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>Journal of Cleaner Production</i>	2004	260
JELINSKI, L.; GRAEDEL, T.; LAUDISE, R.; MCCALL, D.; PATEL, C. K. N.	<i>Industrial ecology: concepts and approaches</i>	<i>Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America</i>	1992	242
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>Journal of Cleaner Production</i>	2004	223
ROBERTS, B. H.	<i>The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	2004	207
LAMBERT, A. J. D.; BOONS, F. A.	<i>Eco-industrial-parks: stimulating sustainable development in mixed industrial parks</i>	<i>Technovation</i>	2002	202
GIBBS, D.; DEUTZ, P.	<i>Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	2007	189

(continua ...)

(... continuaçao)

KORHONEN, J.	<i>Industrial ecology in the strategic sustainable development model: strategic applications of industrial ecology</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	2004	180
O'ROURKE, D.; CONNELLY; KOSHLAND, C.	<i>Industrial ecology: a critical review</i>	<i>International Journal of Environment and Pollution</i>	1996	168
CÔTE, R. P.; HALL, J.	<i>Industrial parks as ecosystems</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	1995	163
SCHWARZ, E. J.; STEININGER, K. W.	<i>Implementing nature's lesson: the industrial recycling network enhancing regional development</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	1997	163
LOWE, E. A.; EVANS, L. K.	<i>Industrial ecology and industrial ecosystems</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	1995	160
GIBBS, D.; DEUTZ, P.	<i>Implementing industrial ecology? Planning for eco-industrial parks in the USA</i>	<i>Geoforum</i>	2005	154
STERR, T.; OTT, T.	<i>The industrial region as a promising unit for eco-industrial development - reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	2004	151
MIRATA, M.	<i>Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and coordination challenges</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	2004	150
BAAS L. W.; BOONS, F. A.	<i>An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	2004	139
CHERTOW, M. R.	<i>The eco-industrial park model reconsidered</i>	<i>Journal of Industrial Ecology</i>	1999	131
DESROCHERS, P.	<i>Industrial symbiosis: the case for market coordination</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	2004	129
KORHONEN, J.; SNÄKIN, J.-P.	<i>Analysing the evolution of industrial ecosystems: concepts and application</i>	<i>Ecological Economics</i>	2005	122
TUDOR, T.; ADAM, E.; BATES, M.	<i>Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): a literature review</i>	<i>Ecological Economics</i>	2007	117
BAAS, L.	<i>Cleaner production and industrial ecosystems, a Dutch experience</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	1998	113
SARKIS, J.; RASHEED, A.	<i>Greening the manufacturing function</i>	<i>Business Horizons</i>	1998	105
SHI, H.; CHERTOW, M.; SONG, Y.	<i>Developing country experience with eco-industrial park: a case study of the Tianjin Economic-Technological Development Area in China</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	2010	100

(conclusão)

Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

As principais reflexões acerca do reconhecimento científico dos *papers* são enumeradas nos seguintes pontos:

- os trabalhos seminais – a saber, Frosch e Gallopolous (1989), Jelinski *et al.* (1992) e Tibbs (1992) – estão entre os nove textos mais referenciados na literatura. Tal reconhecimento deriva do próprio pioneirismo desses três 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. Outros casos muito usados para fins de ilustração são o *Guitang Sugarcane Eco-Industrial Project* na China (examinado inicialmente por ZHU; CÔTÉ, 2004), e o *Recycling Network of Styria* na Áustria (estudado por SCHWARZ; STEININGER, 1997);
- no conjunto de pesquisadores mais produtivos (ver Tabela 8), 10 deles encontram-se associados à produção dos textos com maior reconhecimento científico: J. Korhonen, R. P. Côté, F. A. Boons, L. W. Baas, M. Chertow, Q. Zhu, P. Desrochers, J. R. Ehrenfeld, D. Gibbs e H. Shi;
- o *Journal of Cleaner Production* foi responsável pela publicação de mais da metade (58,62%) dos artigos listados na Tabela 9. Isso revela a importância desse periódico para a disseminação do conhecimento construído sobre os ecossistemas industriais.

3.3 A PESQUISA NO BRASIL

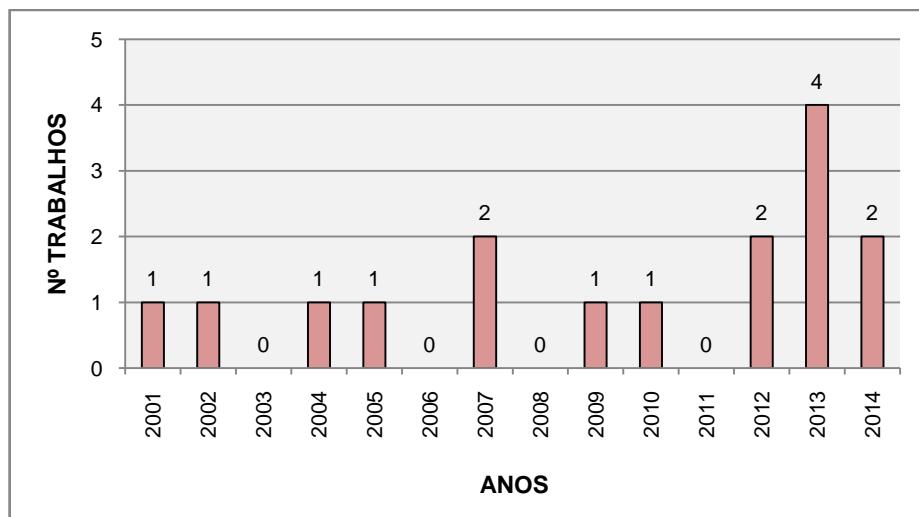
O exame da produção científica mundial revelou o envolvimento de três pesquisadores brasileiros na publicação de dois artigos distintos. Lilian Bechara Elabras Veiga e Alessandra Magrini dividem a autoria do trabalho intitulado *Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development*, publicado em 2009 pelo *Journal of Cleaner Production*. Essas duas pesquisadoras filiavam-se ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) no momento da investigação. O terceiro autor brasileiro, Clóvis Zapata, juntamente com Peter Wells da *Cardiff University*/Reino Unido, publicou em 2012 no *Journal of Industrial Ecology* o artigo *Renewable eco-industrial development: a new frontier for Industrial Ecology*. Zapata associava-se ao Centro de Política Internacional para o Crescimento Inclusivo do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), com escritório em Brasília.

O objetivo de caracterizar a pesquisa no Brasil exige ir além dos resultados encontrados nessa avaliação. Para tanto, buscou-se identificar as teses e dissertações defendidas nos programas nacionais de pós-graduação e circunscritas ao objeto “ecossistemas industriais”, já que a existência desses trabalhos pode fornecer indícios de linhas de pesquisa e estudiosos relacionados com a temática. Além disso, a opção pelas teses e dissertações justifica-se pelo fato de que parcela significativa da produção científica doméstica origina-se das pesquisas realizadas no âmbito dos programas de pós-graduação. Sendo assim, a composição de um portfólio bibliográfico com base nesses trabalhos permite captar uma proporção considerável dos esforços investigativos efetuados no Brasil.

Como fonte de dados, elegeu-se a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD) e o Banco de Teses da CAPES. Com base em uma revisão preliminar da literatura brasileira sobre o tema, foram estabelecidas as seguintes expressões de busca: “ecossistemas industriais”, “eco-parques industriais”, “parques industriais ecológicos” e “desenvolvimento eco-industrial”. Na sequência, a busca por trabalhos nas bases de dados e a filtragem das publicações coletadas resultaram em um acervo final com 16 trabalhos, cada um deles associado a um autor diferente. É interessante notar que, entre os três pesquisadores brasileiros envolvidos na publicação internacional acerca dos ecossistemas industriais, Lilian Bechara Elabras Veiga e Alessandra Magrini figuram, respectivamente, como autora e orientadora de uma das teses catalogadas.

Os seguintes aspectos bibliográficos foram analisados: ano de defesa; nível de pós-graduação (mestrado ou doutorado); vinculação institucional dos pesquisadores (autores e orientadores); e as áreas de concentração dos programas de pós-graduação. O Gráfico 9 mostra que as teses e dissertações foram defendidas entre 2001 e 2014. Os anos de maior destaque são 2007, 2012 e 2014, com dois trabalhos cada, e 2013, com quatro defesas. Observa-se, portanto, um aumento da quantidade de trabalhos defendidos no último triênio.

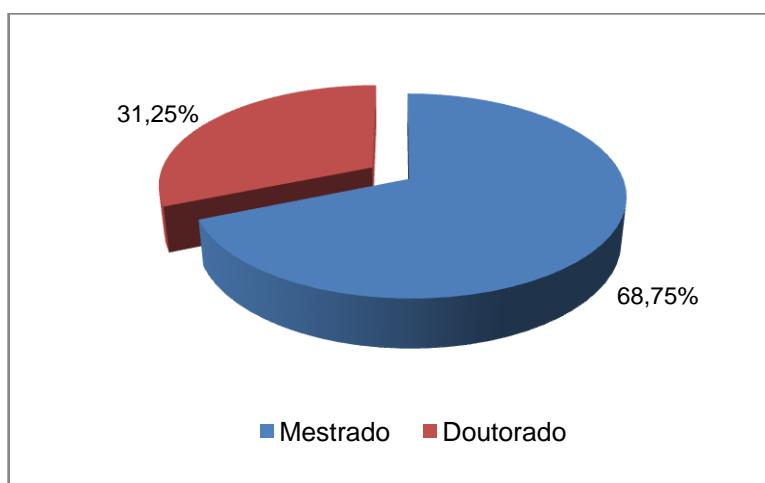
Gráfico 9 – Distribuição temporal das teses e dissertações brasileiras sobre o tema “ecossistemas industriais” defendidas no período 2001-2014



Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

O Gráfico 10 apresenta a distribuição dos trabalhos por nível de pós-graduação. Verifica-se que 11 compreendem dissertações de mestrado (68,75%), enquanto que 5 são teses de doutorado (31,25%). Esse resultado indica que a temática vem sendo mais pesquisada no nível mestrado.

Gráfico 10 – Distribuição das teses e dissertações brasileiras sobre o tema “ecossistemas industriais” por nível de pós-graduação, no período 2001-2014

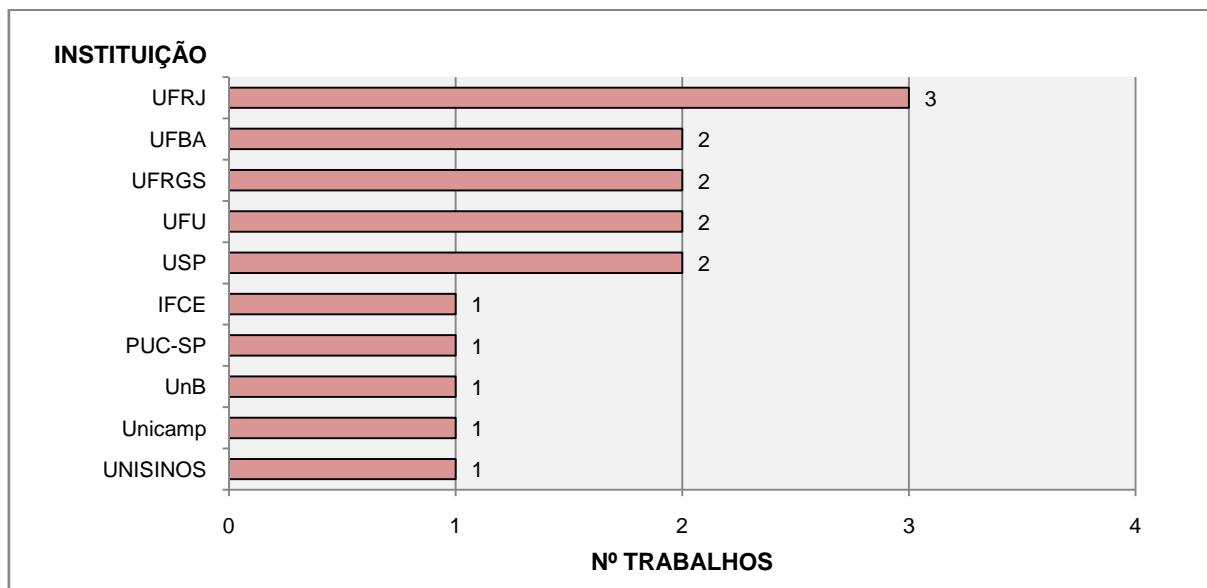


Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

No que tange a vinculação institucional dos pesquisadores (autores e orientadores), nota-se o envolvimento de 10 universidades (Gráfico 11). A UFRJ (Universidade Federal do

Rio de Janeiro) é a instituição com maior quantidade de trabalhos (3 teses no total), seguida pela UFBA (Universidade Federal da Bahia), UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), UFU (Universidade Federal de Uberlândia) e USP (Universidade de São Paulo) com 2 trabalhos cada. Com apenas um trabalho, estão IFCE (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará), PUC-SP (Pontifícia Universidade Católica de São Paulo), UnB (Universidade de Brasília), Unicamp (Universidade Estadual de Campinas) e UNISINOS (Universidade do Vale do Rio dos Sinos). Esses números demonstram que a região Sudeste concentra mais da metade (56,25%) das teses e dissertações. Com efeito, essa é a região que abriga a maior quantidade de programas de pós-graduação do país, compreendendo um importante polo de geração de conhecimento.

Gráfico 11 – Distribuição institucional das teses e dissertações brasileiras sobre o tema “ecossistemas industriais”, no período 2001-2014



Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

A análise da dispersão das teses e dissertações por programas de pós-graduação resulta na distinção de 13 programas: UFBA, UFRGS e USP abrigam cada uma, dois deles; as demais instituições (7 universidades) mantêm um único programa. Os destaques são o Doutorado em Ciências em Planejamento Energético da UFRJ (3 trabalhos) e o Mestrado em Economia da UFU (2 trabalhos). Os programas restantes associam-se a apenas um trabalho.

Com relação à distribuição dos orientadores, verifica-se que Alessandra Magrini (UFRJ), Asher Kiperstok (UFBA) e Debora Nayar Hoff (UFU) orientaram dois trabalhos. Os

demais pesquisadores foram responsáveis pela orientação de apenas um trabalho, são eles: Adeildo Cabral da Silva (IFCE), Antonio Vico Mañas (PUC-SP), Armando de Azevedo Caldeira Pires (UnB), Carla Schwengber ten Caten (UFRGS), Carlos Alberto Mendes Moraes (UNISINOS), Evandro Zigiatti Monteiro (Unicamp), Kléber Francisco Esposto (USP), Luis Felipe Machado do Nascimento (UFRGS), Maria Lúcia Pereira da Silva (USP) e Roberto Schaeffer (UFRJ). Tais informações são reportadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Distribuição das teses e dissertações brasileiras sobre o tema “ecossistemas industriais” por orientadores, no período 2001-2014

ORIENTADOR	FORMAÇÃO ACADÊMICA	VÍNCULO INSTITUCIONAL	TRABALHOS ORIENTADOS
Alessandra Magrini	Engenharia Química; Administração	UFRJ	02
Asher Kiperstok	Engenharia Química	UFBA	02
Debora Nayar Hoff	Economia	UFU ^[1]	02
Adeildo Cabral da Silva	Engenharia Ambiental; Geografia	IFCE	01
Antonio Vico Mañas	Administração; Ciências Sociais	PUC-SP	01
Armando de Azevedo Caldeira Pires	Engenharia Química; Engenharia Mecânica	UnB	01
Carla Schwengber ten Caten	Engenharia de Materiais; Engenharia de Produção	UFRGS	01
Carlos Alberto Mendes Moraes	Engenharia Metalúrgica	UNISINOS	01
Evandro Zigiatti Monteiro	Arquitetura e Urbanismo; Engenharia Civil	Unicamp	01
Kléber Francisco Esposto	Engenharia de Produção	USP	01
Luis Felipe Machado do Nascimento	Engenharia Elétrica; Engenharia de Produção	UFRGS	01
Maria Lúcia Pereira da Silva	Química	USP	01
Roberto Schaeffer	Engenharia Elétrica; Planejamento Energético	UFRJ	01

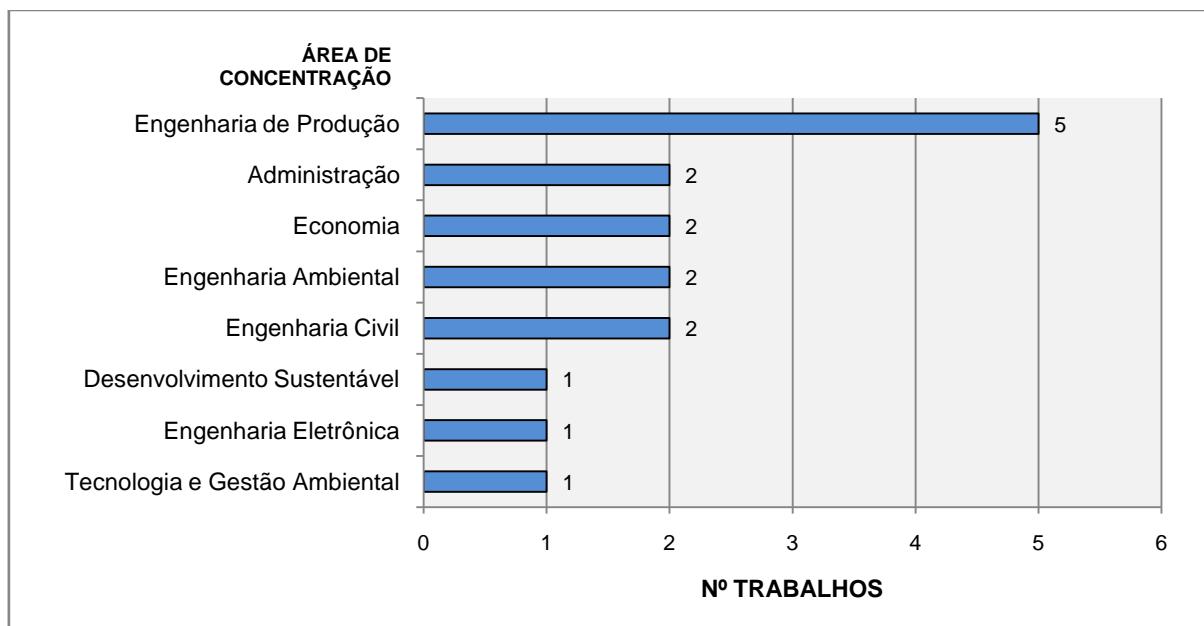
Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

Nota: [1] Atualmente, Debora Nayar Hoff encontra-se vinculada à UNIPAMPA (Universidade Federal do Pampa).

Considerando a formação acadêmica dos orientadores, observa-se uma incidência acentuada de engenheiros (76,92%), com destaque para a Engenharia Química e a Engenharia de Produção. Há apenas um economista na lista, refletindo a pouca ou nenhuma atenção que os pesquisadores brasileiros, ligados às Ciências Econômicas, atribuem às discussões expressas pela perspectiva dos ecossistemas industriais.

A distribuição das teses e dissertações por áreas de concentração (Gráfico 12) revela que cinco trabalhos vinculam-se à Engenharia de Produção. Com dois trabalhos cada, estão Administração, Economia, Engenharia Ambiental e Engenharia Civil. Finalmente, as áreas Desenvolvimento Sustentável, Engenharia Eletrônica, Tecnologia e Gestão Ambiental apresentam um trabalho. Percebe-se, portanto, uma prevalência das áreas relacionadas com as Engenharias, as quais concentram 62,5% das teses e dissertações. Esse resultado converge para aquele encontrado na análise da produção em nível mundial. As Ciências Sociais Aplicadas, por seu turno, concentram 25% desses trabalhos, enquanto que os Estudos Ambientais (Desenvolvimento Sustentável, Tecnologia e Gestão Ambiental) perfazem 12,5%. Do total de trabalhos, apenas duas dissertações (15,38%) foram defendidas em cursos de pós-graduação em Economia – na verdade, em um único programa, a saber, o Mestrado em Economia da UFU.

Gráfico 12 – Distribuição das teses e dissertações brasileiras sobre o tema “ecossistemas industriais” por áreas de concentração, no período 2001-2014



Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

As principais conclusões do exame bibliométrico da produção científica brasileira são discutidas nos pontos a seguir:

- verifica-se uma introdução relativamente tardia – começo dos anos 2000 – da agenda de pesquisa relativa aos ecossistemas industriais nos programas de pós-graduação no Brasil. Apesar do desenvolvimento ainda incipiente das investigações

relacionadas com a temática, houve um crescimento dos trabalhos defendidos no último triênio;

- há uma concentração das pesquisas no nível mestrado, com destaque para os programas voltados para as Engenharias;
- considerando a quantidade de trabalhos defendidos e a vinculação dos orientadores, as instituições que mais se destacam são UFRJ (com 3 teses e 2 professores-orientadores), UFRGS e USP (com 2 trabalhos e 2 professores-orientadores cada);
- os cursos de pós-graduação com mais trabalhos defendidos na área são o Doutorado em Ciências em Planejamento Energético da UFRJ e o Mestrado em Economia da UFU. A prevalência desses dois programas pode ser explicada pela existência de linhas temáticas que abrangem essas discussões: no caso da UFRJ, existe uma linha que traz explicitamente em seu nome o termo “Ecologia Industrial”; a UFU, por sua vez, contém a linha “Agricultura, meio ambiente e desenvolvimento sustentável”, agregando discussões metodológicas acerca da Economia Ecológica.

A fim de avaliar a recepção da abordagem dos ecossistemas industriais na atividade científica brasileira, procedeu-se a uma busca das áreas do conhecimento listadas na CAPES/CNPq que mais se aproximam da temática, já que não existe uma área explicitamente denominada “Ecologia Industrial”. Verificou-se que, no campo das Engenharias, algumas áreas se relacionam de maneira estreita ao assunto, apesar de não circunscrever-se a ele, muito menos contemplá-lo em sua integridade. Estes foram os casos de “Resíduos sólidos, domésticos e industriais” (Engenharia Sanitária), “Tratamento e aproveitamento de rejeitos” (Engenharia Química), “Aproveitamento de energia” (Engenharia Mecânica) e “Planejamento de instalações industriais” (Engenharia de Produção). Tais resultados corroboram a tese de que o debate sobre o tema “ecossistemas industriais” no Brasil, apesar do seu desenvolvimento ainda incipiente, vem encontrando espaço maior nas Engenharias. No que tange à Economia, a área designada “Economia dos recursos naturais” é a que mais se aproxima do assunto.

3.4 RESUMO DOS RESULTADOS

O propósito deste capítulo foi detectar os padrões e as tendências do campo de investigação cujo objeto reside nos ecossistemas industriais. Para tanto, realizou-se um exame bibliométrico da produção científica mundial e brasileira sobre o tema. A opção por esse método fundamentou-se na concepção de que o uso de técnicas estatísticas no

mapeamento de informações a partir de registros bibliográficos constitui uma ferramenta adequada para caracterizar a geração de conhecimento em domínios específicos, conforme discutido no capítulo 2 desta dissertação. Os principais resultados obtidos encontram-se resumidos no Quadro 12.

A condensação do que foi discutido ao longo do presente capítulo em um quadro-síntese constitui um esforço de apreensão dos principais movimentos que condicionam a disseminação do conhecimento construído acerca dos ecossistemas industriais. 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 desta dissertação sustentam a ideia de que os ecossistemas industriais emergiram nos anos recentes como uma das perspectivas mais influentes nas discussões acerca da reestruturação da indústria em um padrão compatível com a noção de sustentabilidade ambiental.

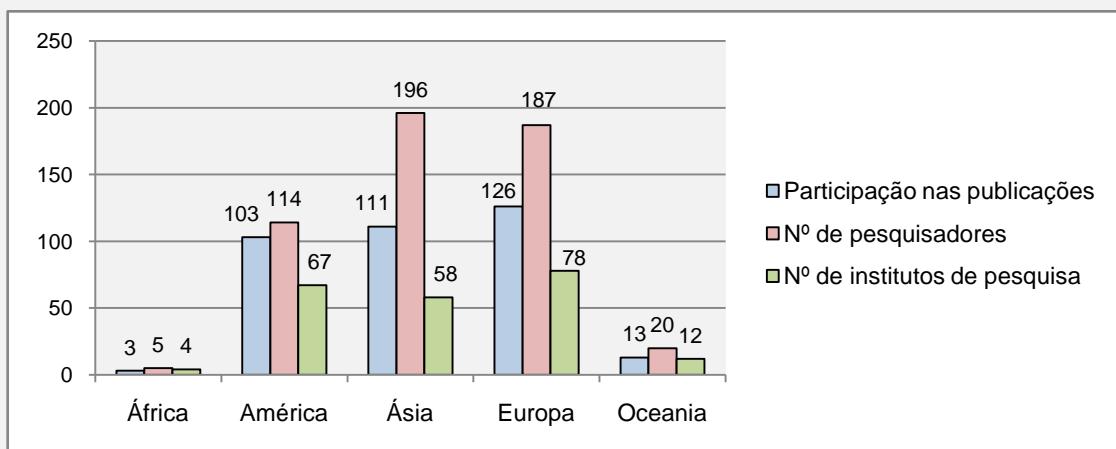
O Brasil foi o primeiro país latino-americano a participar das publicações internacionais. No entanto, seu envolvimento foi reduzido, restringindo-se a dois trabalhos publicados, respectivamente, em 2009 e 2012. O exame bibliométrico das teses e dissertações sobre o tema “ecossistemas industriais” defendidas nos programas nacionais de pós-graduação também evidenciaram a relativa escassez de estudos nacionais na área. Somente no triênio 2012-2014 é que se observa um crescimento da quantidade desses trabalhos.

Quadro 12 – Síntese dos resultados da pesquisa

ECOSSISTEMAS INDUSTRIAS: PADRÕES E TENDÊNCIAS DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE O TEMA

- A avaliação de tendência linear das publicações anuais e a distribuição geográfica dessa produção ao longo do tempo sustentam a hipótese de emergência da temática “ecossistemas industriais”. Com efeito, nota-se um crescimento significativo dos trabalhos publicados a cada cinco anos, com a expansão dos esforços de pesquisa para novos continentes e no interior destes;
- EUA e China são os países que mais se destacam: juntas, essas nações participam de 35,39% das publicações, hospedando 32,87% das organizações e 39,76% dos pesquisadores. Os primeiros esforços direcionados ao entendimento da abordagem dos ecossistemas industriais foram realizados, sobretudo, por pesquisadores filiados a institutos localizados nos EUA. A China despontou mais recentemente, superando a participação em publicações norte-americanas observada nos últimos anos;
- A análise da produção científica por regiões atesta a evidência – verificada nos casos dos EUA e da China – de que o volume de publicações é influenciado pelas quantidades de organizações e estudiosos envolvidos com as investigações. O gráfico abaixo revela que os continentes associados aos maiores números de publicações (Europa, Ásia e América) são também aqueles que abrigam as maiores quantidades de instituições e cientistas;

Caracterização das publicações internacionais sobre o tema “ecossistemas industriais” por regiões (1989-2014)



- A constituição das agendas de pesquisa deu-se com maior fôlego no setor público, particularmente nas universidades. Estas últimas são também predominantes no setor privado. Os principais centros envolvidos nas publicações são inclusive universidades: *Chinese Academy of Sciences, Dalhousie University, Erasmus University Rotterdam, University of Joensuu e Yale University*;
- No que tange à formação/atuação profissional dos pesquisadores, observa-se o predomínio das áreas relacionadas com as Ciências Naturais e as Engenharias. Ainda considerando os autores, a produtividade dos mesmos segue a trajetória prevista pela Lei de Lotka, verificando-se a ocorrência de alguns estudiosos com múltiplos trabalhos ao longo do tempo. Os principais expoentes são: Jouni Korhonen, Raymond P. Côté, Frank A. Boons, Leo W. Baas, Marian Chertow, Qinghua Zhu, Pierre Desrochers, John R. Ehrenfeld, David Gibbs e Han Shi – todos eles produziram trabalhos com reconhecimento científico;
- A aplicação da Lei de Bradford permite concluir que o *Journal of Cleaner Production* e o *Journal of Industrial Ecology* constituem os principais veículos de disseminação do conhecimento gerado sobre os ecossistemas industriais. A existência desse núcleo de revistas especializadas também corrobora a hipótese de emergência do objeto “ecossistemas industriais”;
- A quantidade de citações recebida pelo trabalho de Ehrenfeld e Gertler (1997) indica que o distrito industrial de Kalundborg, na Dinamarca, é utilizado como exemplo clássico de ecossistemas industrial;
- No Brasil, apesar do desenvolvimento ainda incipiente das investigações relacionadas com a temática, houve um crescimento, no último triênio, dos trabalhos defendidos nos programas de pós-graduação. Nota-se uma concentração das pesquisas no nível mestrado, com destaque para os programas voltados para as Engenharias. A UFRJ é a instituição que mais se destaca.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em resultados da pesquisa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para além da simplificação neoclássica que entende a firma como mera tomadora de preços e produtora de quantidades de equilíbrio, Edith Penrose (2006) destacou a complexidade dessa unidade e sua orientação para o crescimento. De acordo com a autora, os incentivos internos a essa expansão derivam, em boa parte, da existência de um reservatório de serviços e conhecimentos não utilizados, sempre disponíveis no interior de qualquer empresa e oriundos da indivisibilidade das unidades dos insumos. Esses recursos ociosos representam serviços “gratuitos”, que, se usados produtivamente, são capazes de proporcionar vantagens competitivas à empresa que os detêm. É o caso da exploração lucrativa de subprodutos e rejeitos industriais, conforme apontado na epígrafe desta dissertação.

O reaproveitamento dos resíduos materiais e energéticos de fato tem proporcionado uma base importante para a constituição de sistemas produtivos eco-eficientes. Nesse particular, os ecossistemas industriais revelam que a adoção de estratégias baseadas em uma racionalidade produtiva sensível aos limites ecossistêmicos não implica em custos de operação mais elevados. Pelo contrário, esse modelo possibilita as firmas explorarem seus recursos, incluindo aqueles “ociosos”, com maior eficiência. A conformação de um ecossistema industrial, além de altamente vantajosa do ponto de vista ambiental, proporciona ganhos em termos de competitividade não negligenciáveis. Isso é o que demonstrou a experiência de Kalundborg, na Dinamarca, uma vez que o estabelecimento de trocas simbióticas na localidade aumentou a produtividade das firmas envolvidas.

A descoberta científica de Kalundborg veio a lume no começo dos anos 1990, especialmente com o trabalho de Gertler (1995), corroborando as ideias anteriormente desenvolvidas por Frosch e Gallopolous em 1989. Nesse caso, nota-se um movimento de teorização pela ciência de práticas produtivas já existentes. De forma contrária, os avanços teóricos e as pesquisas, no âmbito da Ecologia Industrial, apontam novos rumos para a reestruturação da indústria num modelo sustentável. Há, por assim dizer, dois impulsos paradoxalmente orquestrados: se de um lado, a ciência apreende e registra as inovações produtivas, de outro, os pesquisadores procuram influenciar o desenvolvimento industrial. Ao mesmo tempo, os projetos implementados com base nas prescrições científicas podem tanto ratificar estas últimas quanto transformá-las, reformulando os ditames do campo de investigação. Reside aqui o que se ousa designar de “paradigma vai e vem”, pois as

manifestações teóricas e empíricas atualizam-se, como também resgatam aquilo que a conduziram.

Com base no estudo bibliométrico das publicações catalogadas neste trabalho, apreendeu-se os principais movimentos da disseminação do conhecimento construído acerca dos ecossistemas industriais. Os resultados auferidos indicam um aumento crescente da quantidade de textos publicados em periódicos de circulação internacional a partir de meados da década de 1990, sinalizando a emergência dessa perspectiva como uma das mais influentes na interlocução entre indústria e meio ambiente. Contudo, essa trajetória de expansão é marcada por diferenças que denotam regularidades geográficas.

Existem países que apresentam uma participação numérica significativa nos esforços de investigação, como é o caso de algumas nações europeias. Em contraste, há também países que se envolveram tarde nessa atividade e, até então, não alcançaram expressividade na produção científica internacional. O Brasil se insere nesta última situação. É possível afirmar que o fraco desempenho da ciência brasileira neste campo se deve a uma cultura de abundância que não fomenta 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 resultados deste trabalho também salientam a reduzida participação de economistas em publicações, tanto na esfera mundial quanto no cenário nacional. Quando cotejada com o envolvimento das Engenharias e Estudos Ambientais, a Economia parece manter-se reticente à incorporação desse tema de pesquisa. Essa disparidade pode ser explicada pelo surgimento da noção de Ecologia Industrial entre os engenheiros, ao passo que, na Economia, a teoria convencional ainda se constitui um obstáculo epistemológico, haja vista a naturalização da linearidade dos fluxos de matéria e energia que ela implica, criando óbices na conformação de um modelo de circuito fechado.

Não obstante essa incompatibilidade, vislumbra-se pontos de diálogo entre o enfoque dos ecossistemas industriais e algumas disciplinas específicas da Economia, particularmente os estudos sobre arranjos produtivos locais (APLs) e a Economia Ecológica. Quando associados a uma perspectiva social ou de comunidade – à noção de desenvolvimento territorial, por exemplo –, os APLs suscitam discussões de cunho ambiental que reverberam na defesa da valorização dos recursos locais (naturais e

humanos). Em consonância com essa visão, as iniciativas eco-industriais podem ser tomadas 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. Nesse sentido, ambos os tipos de aglomerações produtivas (ecossistemas industriais e APLs) parecem comungar de um objetivo comum, a saber, a valorização do capital social de determinada localidade. A aproximação da Economia Ecológica com os ecossistemas industriais, por sua vez, é mais evidente, já que essas duas abordagens partem de um determinante comum: a visão termodinâmica do sistema econômico. Com efeito, elas enfatizam o substrato biofísico da atividade de transformação, bem como a dissociação entre biosfera e sistema econômico. Um ponto de partida para a inserção dos ecossistemas industriais na Economia seria, portanto, uma maior receptividade desse tema pelos estudiosos dos APLs e da Economia Ecológica?

Os questionamentos ora levantados, incluindo aqueles concernentes às possíveis explicações para as regularidades geográficas evidenciadas na análise das publicações, podem acicatar tantos outros, fazendo ressoar no tempo e no espaço interrogações de interrogações, mesmo quando os seus autores já deixaram a cena.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, M. M. Eco-innovation – towards a taxonomy and a theory. In: 25th Celebration Conference 2008: Entrepreneurship and Innovation – Organizations, Institutions, Systems and Regions. Copenhagen, 2008. **Anais...**
- AFONSO, M. H. F.; SOUZA, J. V.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L. Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo ProKnow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 47-62, 2011.
- ALBUQUERQUE, E. M.; SIMÕES, R.; BAESSA, A.; CAMPOLINA, B.; SILVA, L. A distribuição espacial da produção científica e tecnológica brasileira: uma descrição de estatísticas de produção local de patentes e artigos científicos. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 1, n. 2, p. 225-251, 2002.
- ALLENBY, B. R. Achieving Sustainable Development through Industrial Ecology. **International Environmental Affairs**, v. 4, n. 1, p. 56-68, 1992a.
- ALLENBY, B. R. Industrial ecology: the materials scientist in an environmentally constrained world. **MRS Bulletin**, v. 17, n. 3, p. 46-51, 1992b.
- ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006.
- ARDANUY, J. **Breve introducción a la bibliometría**. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2012. Disponível em: <<http://deposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/30962/1/breve%20introduccion%20bibliometria.pdf>>. Acesso em: dez. 2014.
- ASHTON, W. S. Understanding the organization of industrial ecosystems: a social network approach. **Journal of Industrial Ecology**, v. 12, n. 1, p. 34-51, 2008.
- AYRES, R. U. On industrial ecosystems. In: AYRES, R. U.; AYRES, L. W. **A handbook of Industrial Ecology**. UK: Edward Elgar Publishing, 2002, p. 44-59. Disponível em: <http://iepoi.uni-mb.si/samec/Handbook_Industrial_Ecology_2002.pdf>. Acesso em: out. 2014.
- BAAS, L. Cleaner production and industrial ecosystems, a Dutch experience. **Journal of Cleaner Production**, v. 6, n. 3, p. 189-197, 1998.
- BAAS L. W.; BOONS, F. A. An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 1073-1085, 2004.
- BARRETTO, A. G. O. P.; LINO, J. S.; SPAROVEK, G. Bibliometria da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo: instituições, temas, espaço e cronologia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1845-1854, 2009.
- BERNARDINO, M. C. R.; CAVALCANTE, R. S. Análise de citações dos artigos da revista Ciência da Informação no período de 2000-2009. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 253-269, 2011.

- BOONS, F. A. A.; BAAS, L. W. Types of industrial ecology: the problem of coordination. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1, p. 79-86, 1997.
- BRUNA JR., E. D.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Proposta de processo para seleção, bibliometria e revisão sistêmica de artigos sobre a avaliação de desempenho na cadeia de suprimentos. **Produção Online**, Florianópolis, v. 12, n. 4, p. 876-903, 2012.
- CARR, A. J. P. Choctaw eco-industrial park: an ecological approach to industrial land-use planning and design. **Landscape and Urban Planning**, v. 42, n. 2, p. 239-257, 1998.
- CECHIN, A.; VEIGA, J. E. O fundamento da Economia Ecológica. In: MAY, P. (Org.). **Economia do Meio Ambiente: teoria e prática**. 2^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010, p. 33-48.
- CHAVALPARIT, O.; RULKENS, W. H.; MOL, A. P. J.; KHAODHAIR, S. Options for environmental sustainability of the crude palm oil industry in Thailand through enhancement of industrial ecosystems. **Environment, Development and Sustainability**, v. 8, n. 2, p. 271-287, 2006.
- CHERTOW, M. R. Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. **Annual Review of Energy and Environment**, v. 25, n. 1, p. 313-337, 2000.
- CHERTOW, M. R. Industrial symbiosis. **Encyclopedia of Energy**, v. 3, p. 407-415, 2004.
- CHERTOW, M. R. "Uncovering" industrial symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 11, n. 1, p. 11-30, 2007.
- CHEW, I. M. L.; TAN, R. R.; FOO, D. C. Y.; CHIU, A. S. F. Game theory approach to the analysis of inter-plant water integration in an eco-industrial park. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 18, p. 1611-1619, 2009.
- CHIU, A. S. F.; YONG, G. On the industrial ecology potential in Asian developing countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 1037-1045, 2004.
- COHEN-ROENTHAL, E. Making sense out of industrial ecology: a framework for analysis and action. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 1111-1123, 2004.
- CONNELLY, L.; KOSHLAND, C. P. Two aspects of consumption: using a exergy-based measure of degradation to advance the theory and implementation of industrial ecology. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 19, n. 3, p. 199-217, 1997.
- CÔTÉ, R. P.; COHEN-ROENTHAL, E. Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences. **Journal of Cleaner Production**, v. 6, n. 3, p. 181-188, 1998.
- CÔTÉ, R. P.; HALL, J. Industrial parks as ecosystems. **Journal of Cleaner Production**, v. 3, n. 1, p. 41-46, 1995.
- CÔTÉ, R. P.; SMOLENAARS, T. Supporting pillars for industrial ecosystems. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1, p. 67-74, 1997.
- CURRÁS, E. **Tesauros: linguagens terminológicas**. Brasília: IBICT, 1995.
- DALY, H. E. On economics as a life science. **Journal of Political Economy**, v. 76, n. 3, p. 392-406, 1968.

- DESROCHERS, P. Eco-industrial parks. The case for private planning. **The Independent Review**, v. 5, p. 345-371, 2001.
- DESROCHERS, P. Cities and industrial symbiosis. Some historical perspectives and policy implications. **Journal of Industrial Ecology**, v. 5, n. 4, p. 29-44, 2002a.
- DESROCHERS, P. Industrial ecology and the rediscovery of inter-firm recycling linkages: historical evidence and policy implications. **Industrial and Corporate Change**, v. 11, n. 5, p. 1031-1057, 2002b.
- DESROCHERS, P. Industrial symbiosis: the case for market coordination. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 1099-1110, 2004.
- DEUTZ, P.; GIBBS, D. Eco-industrial development and economic development: industrial ecology or place promotion? **Business Strategy and the Environment**, v. 13, n. 5, p. 347-362, 2004.
- EHRENFELD, J. R. Industrial ecology: a framework for product and process design. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1, p. 87-95, 1997.
- EHRENFELD, J. R.; GERTLER, N. Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg. **Journal of Industrial Ecology**, v. 1, n. 1, p. 67-79, 1997.
- ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; PINTO, H. M. Processo de investigação e análise bibliométrica: avaliação da qualidade dos serviços bancários. **Revista de Administração Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 325-349, 2013.
- ERKMAN, S. Industrial ecology: an historical view. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1, p. 1-10, 1997.
- FANG, Y.; CÔTÉ, R. P.; QIN, R. Industrial sustainability in China: practice and prospects for eco-industrial development. **Journal of Environmental Management**, v. 83, n. 3, p. 315-328, 2007.
- FONSECA, E. N. (Org.). **Bibliometria: teoria e prática**. São Paulo: Cultrix: Editora da Universidade de São Paulo, 1986.
- FROSCH, R. A.; GALLOPOULOS, N. E. Strategies for manufacturing. **Scientific American**, v. 260, n. 3, p. 144-152, 1989.
- FROSCH, R. S.; UENOHARA, M. Chairmen's Overview. In: RICHARDS, D. J.; FULLERTON, A. B. **Industrial Ecology U.S. Japan Perspectives**. National Academy of Engineering, 1994.
- FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J. Ciência pós-normal e comunidades ampliadas de pares face aos desafios ambientais. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. IV, n. 2, p. 219-230, 1997.
- GENG, Y.; ZHU, Q.; DOBERSTEIN, B.; FUJITA, T. Implementing China's circular economy concept at the regional level: A review of progress in Dalian, China. **Waste Management**, v. 29, n. 2, p. 996-1002, 2009.
- GENG, Y.; ZHU, Q.; HAIGHT, M. Planning for integrated solid waste management at the Industrial Park level: a case of Tianjin, China. **Waste Management**, v. 27, n. 1, p. 141-150, 2007.

GERTLER, N. **Industrial ecosystems: developing sustainable industrial structures.** 1995. 141 f. Tese (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, 1995.

GIBBS, D.; DEUTZ, P. Implementing industrial ecology? Planning for eco-industrial parks in the USA. **Geoforum**, v. 36, n. 4, p. 452-464, 2005.

GIBBS, D.; DEUTZ, P. Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 17, p. 1683-1695, 2007.

GLAVIC, P.; LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 18, p. 1875-1885, 2007.

GRAEDEL, T. E. Industrial ecology – definition and implementation. In: SOCOLOW, R.; ANDREWS, R.; BERKHOUT, F.; THOMAS, V. (Eds.). **Industrial Ecology and Global Change**. Cambridge University Press: Cambridge, 1994, p. 23–41.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. A. **Industrial Ecology**. Prentice Hall, New Jersey, 1995.

GUEDES, V. L. S. A bibliometria e a gestão da informação e do conhecimento científico e tecnológico: uma revisão da literatura. **Ponto de Acesso**, Salvador, v. 6, n. 2, p. 74-109, 2012.

GUEDES, V. L. S.; BORSCHIVER, S. Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. In: Encontro Nacional de Ciência da Informação. Salvador, 2005. **Anais...**

GUNDERSON, L. H. Ecological resilience – in theory and application. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 31, p. 425-439, 2000.

HARDY, C.; GRAEDEL, T. E. Industrial ecosystems as food webs. **Journal of Industrial Ecology**, v. 6, n. 1, p. 29-38, 2002.

HARPER, E. M.; GRAEDEL, T. E. Industrial ecology: a teenager's progress. **Technology in Society**, v. 26, n. 2, p. 433-445, 2004.

HEERES, R. R.; VERMEULEN, W. J. V.; WALLE, F. B. Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 985-995, 2004.

HESS, G. The ecosystem: model or metaphor? Epistemological difficulties in Industrial Ecology. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 2, p. 270-285, 2010.

JELINSKI, L. W.; GRAEDEL, T. E.; LAUDISE, R. A.; MCCALL, D. W.; PATEL, C. K. Industrial ecology: concepts and approaches. **Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 89, n. 3, p. 793-797, 1992.

JENSEN, P. D.; BASSON, L.; LEACH, M. Reinterpreting Industrial Ecology. **Journal of Industrial Ecology**, v. 15, n. 5, p. 680-692, 2011.

KIRSCHNER, E. Eco-industrial parks find growing acceptance. **Chemical and Engineering News**, v. 73, n. 8, p. 15-15, 1995.

KORHOREN, J. Completing the industrial ecology cascade chain in the case of a paper industry - SME potential in industrial ecology. **Eco-Management and Auditing**, v. 7, n. 1, p. 11-20, 2000.

KORHONEN, J. Co-production of heat and power: an anchor tenant of a regional industrial ecosystem. **Journal of Cleaner Production**, v. 9, n. 6, p. 509-517, 2001a.

KORHONEN, J. Regional industrial ecology: examples from regional economic systems of forest industry and energy supply in Finland. **Journal of Environmental Management**, v. 63, n. 4, p. 367-375, 2001b.

KORHONEN, J. Some suggestions for regional industrial ecosystems - extended industrial ecology. **Eco-Management and Auditing**, v. 8, n. 1, p. 57-69, 2001c.

KORHONEN, J. Industrial ecology in the strategic sustainable development model: strategic applications of industrial ecology. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 809-823, 2004.

KORHONEN, J.; SNÄKIN, J.-P. Analysing the evolution of industrial ecosystems: concepts and application. **Ecological Economics**, v. 52, n. 2, p. 169-186, 2005.

KORHONEN, J.; VON MALMBORG, F.; STRACHAN, P. A.; EHRENFELD, J. R. Management and policy aspects of industrial ecology: an emerging research agenda. **Business Strategy and the Environment**, v. 13, n. 5, p. 289-305, 2004.

KORHONEN, J.; WIHERSAARI, M.; SAVOLAINEN, I. 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**, v. 39, n. 1, p. 145-161, 2001.

KRONES, J. The best of the both worlds: A beginner's guide to Industrial Ecology. **MIT Undergraduate Research Journal**, v. 15, p. 19-22, 2007.

LAMBERT, A. J. D.; BOONS, F. A. Eco-industrial-parks: stimulating sustainable development in mixed industrial parks. **Technovation**, v. 22, n. 8, p. 471-484, 2002.

LANCASTER, F. W. **Indexação e resumos: teoria e prática**. Brasília: Briquet de Lemos Livros, 2003.

LIFSET, R.; GRAEDEL, T. E. Industrial Ecology: goals and definitions. In: AYRES, R. U.; AYRES, L. W. (Eds.). **A Handbook of Industrial Ecology**. UK: Edward Elgar Publishing, 2002, p. 3-15.

LIWARSKA-BIZUKOJC, E.; BIZUKOJC, M.; MARCINKOWSKI, A.; DONIEC, A. The conceptual model of an eco-industrial park based upon ecological relationships. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 8, p. 732-741, 2009.

LÓPEZ, A. **Competitividad, innovación y desarrollo sustentable: una discusión conceptual**. Buenos Aires: CENIT, 1996.

LOVELADY, E. M.; EL-HALWAGI, M. M. Design and integration of eco-industrial parks for managing water resources. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 28, n. 2, p. 265-272, 2009.

LOWE, E. A. **Handbook for development of eco-industrial parks**. Indigo Development, 2001. Disponível em: <<http://indigodev.com>>. Acesso em: out. 2014.

LOWE, E. A.; EVANS, L. K. Industrial ecology and industrial ecosystems. **Journal of Cleaner Production**, v. 3, n. 1, p. 47-53, 1995.

LOWE, E. A.; MORAN, S. R.; HOLMES, D. B. **Fieldbook for the Development of Eco-Industrial Parks. Final Report**. Indigo Development: Oakland, 1996. Disponível em: <<http://infohouse.p2ric.org/ref/10/09932.pdf>>. Acesso em: out. 2014.

MA (Millennium Ecosystem Assessment). **Relatório-Síntese da Avaliação Ecossistêmica do Milênio**. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), 2005. Disponível em: <<http://www.unep.org/maweb/documents/document.446.aspx.pdf>>. Acesso em: jan. 2015.

MACIAS-CHAPULA, C. A. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 134-140, 1998.

MACMANUS, P.; GIBBS, D. Industrial ecosystems? The use of tropes in the literature of industrial ecology and eco-industrial parks. **Progress in Human Geography**, v. 32, n. 4, p. 525-540, 2008.

MÁLAGA, A. M.; DEWES, H. O macro ambiente do desenvolvimento dos biocombustíveis. **Estudos na Cadeia Produtiva do Biodiesel**, Jaguarão, p. 110-132, 2011.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5^a ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MIRATA, M. Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and coordination challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 967-983, 2004.

MORETTI, S. L. A.; CAMPANARIO, M. A. A produção intelectual brasileira em Responsabilidade Social Empresarial – SER sob a ótica da Bibliometria. **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 13, p. 68-86, 2009.

MUGNAINI, R.; JANNUZZI, P. M.; QUONIAM, L. Indicadores bibliométricos da produção científica brasileira: uma análise a partir da base Pascal. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 123-131, 2004.

NELSON, R.; WINTER, S. In search of useful theory of innovation. **Research Policy**, v. 6, n. 1, p. 36-76, 1977.

OH, D-S.; KIM, K-B.; JEONG, S-Y. Eco-industrial park design: a Daedeok technovalley case study. **Habitat International**, v. 29, n. 2, p. 269-284, 2005.

O'ROURKE, D.; CONNELLY, L.; KOSHLAND, C. Industrial Ecology: a critical review. **International Journal of Environment and Pollution**, v. 6, n. 2/3, p.89-112, 1996.

PACHECO, J. M. **Ecossistemas Industriais: proposição de estrutura analítica e avaliação do complexo sucroalcooleiro do Triângulo Mineiro**. 2013. 210 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Instituto de Economia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

PARK, H-S.; RENE, E. R.; CHOI, S-M.; CHIU, A. S. F. Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan, South Korea – from spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis. **Journal of Environmental Management**, v. 87, n. 1, p. 1-13, 2008.

- PECK, S. When is an eco-industrial park not an eco-industrial park? **Journal of Industrial Ecology**, v. 5, n. 3, p. 3-5, 2002.
- PENROSE, E. **Teoria do crescimento da firma**. Campinas: Unicamp, 2006.
- PORTER, M. E.; VAN DER LINDE, C. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. **The Journal of Economic Perspectives**, v. 9, n. 4, p. 97-118, 1995.
- PRITCHARD, A. Statistical Bibliography or Bibliometrics? **Journal of Documentation**, v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969.
- ROBERTS, P. Wealth from waste: local and regional economic development and the environment. **The Geographical Journal**, v. 170, n. 2, p. 126-134, 2004.
- ROBERTS-HERBERT, B. The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 997-1010, 2004.
- SACHS, I. Sociedade, cultura e meio ambiente. **Mundo & Vida**, v. 2, n. 1, p. 7-13, 2000.
- SAGAR, A. D.; FROSCH, R. A. A perspective on industrial ecology and its application to a metals-industry ecosystem. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1, p. 39-45, 1997.
- SANTOS, R. N. M.; KOBASHI, N. Y. Bibliometria, cientometria, informetria: conceitos e aplicações. **Tendências da Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação**, v. 2, n. 1, p. 155-172, 2009.
- SARKIS, J.; RASHEED, A. Greening the manufacturing function. **Business Horizons**, v. 38, n. 5, p. 17-27, 1995.
- SCHUMPETER, J. **Capitalismo, Socialismo e Democracia**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1961.
- SCHWARZ, E. J.; STEININGER, K. W. Implementing nature's lesson: the industrial recycling network enhancing regional development. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1, p. 47-56, 1997.
- SEURING, S. Industrial ecology, life cycles, supply chains: differences and interrelations. **Business Strategy and the Environment**, v. 13, n. 5, p. 306-319, 2004.
- SHI, H.; CHERTOW, M.; SONG, Y. Developing country experience with eco-industrial park: a case study of the Tianjin Economic-Technological Development Area in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 3, p. 191-199, 2010.
- SILVA, M. C.; TEIXEIRA, A. A. C. A bibliometric account of the evolution of the EE in the last two decades. Is ecological economics (becoming) a post-normal science? **Ecological Economics**, v. 70, n. 5, p. 849-862, 2011.
- SINGH, A.; LOU, H. H. Hierarchical Pareto optimization for the sustainable development of industrial ecosystems. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 45, n. 9, p. 3265-3279, 2006.
- SINGHAL, S.; KAPUR, A. Industrial estate planning and management in India – an integrated approach towards industrial ecology. **Journal of Environmental Management**, v. 66, n. 1, p. 19-29, 2002.

SOLANO, R. C.; VALDIVIA, A. M. El SIDA e su productividad científica en la base de datos SciELO entre 1997-2003: estudio bibliométrico. **Biblios**, v. 4, n. 16, p. 81-92, 2003.

SOUZA-LIMA, J. E. Economia ambiental, ecológica e marxista versus recursos naturais. **Revista da FAE**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 119-127, jan./jun. 2004.

STERR, T.; OTT, T. 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**, v. 12, n. 8, p. 947-965, 2004.

SUNKEL, O. A sustentabilidade do desenvolvimento atual na América Latina. In: ARBIX, G.; ZILBOVICIUS, M.; ABRAMOVAY, R. **Razões e ficções do desenvolvimento**. São Paulo: Editora UNESP/EDUSP, 2001, p. 267-310.

TAGUE-SUTCLIFFE, J. An Introduction to Informetrics. **Information Processing & Management**, v. 28, n. 1, p. 1-3, 1992.

TASCA, J. E.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; ALVES, M. B. M. An approach for selecting a theoretical framework for the evaluation of training programs. **Journal of European Industrial Training**, v. 34, n. 7, p. 631-355, 2010.

TIBBS, H. B. Industrial Ecology – an agenda for environmental management. **Pollution Prevention Review**, v. 2, n. 2, p. 167-180, 1992.

TUDOR, T.; ADAM, E.; BATES, M. Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): a literature review. **Ecological Economics**, v. 61, n. 2, p. 199-207, 2007.

UNEP (United Nations Environment Programme). **Green Economy: developing countries stories**. UNEP, 2010. Disponível em: <http://www.unep.org/pdf/greenconomy_successstories.pdf>. Acesso em: maio 2014.

UNEP (United Nations Environment Programme). **Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth**. A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. UNEP, 2011a. Disponível em: <http://www.unep.org/resourcepanel/decoupling/files/pdf/Decoupling_Report_English.pdf>. Acesso em: jan. 2015.

UNEP (United Nations Environment Programme). **Towards a Green Economy: pathways to sustainable development and poverty eradication. A synthesis for policy makers**. UNEP, 2011b. Disponível em: <<http://www.ipu.org/splz-e/rio+20/rpt-unep.pdf>>. Acesso em: maio 2014.

UNEP (United Nations Environment Programme). **Decoupling 2: technologies, opportunities and policy options**. A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. UNEP, 2014. Disponível em: <http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/IRP_DECOUPLING_2_REPORT.pdf>. Acesso em: jan. 2015.

USPCSD (U.S. President's Council on Sustainable Development). **Eco-Industrial Park Workshop Proceedings**. Washington, D.C., 1997. Disponível em: <http://clinton2.nara.gov/PCSD/Publications/Eco_Workshop.html>. Acesso em: out. 2014.

VAN HEMEL, C.; CRAMER, J. Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, n. 5, p. 439-453, 2002.

VAN LEEUWEN, M. G.; VERMEULEN, W. J. V.; GLASBERGEN, P. Planning eco-industrial parks: an analysis of Dutch planning methods. **Business Strategy and the Environment**, v. 12, n. 3, p. 147-162, 2003.

VANTI, N. A. P. Da bibliometria à webmetria: 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.

VEIGA, L. B. E.; MAGRINI, A. Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 7, p. 653-661, 2009.

YANG, P. P-J.; LAY, O. B. Applying ecosystem concepts to the planning of industrial areas: a case study of Singapore's Jurong Island. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 1011-1023, 2004.

YU, C.; DAVIS, C.; DIJKEMA, G. P. J. Understanding the evolution of industrial symbiosis research: a bibliometric and network analysis (1997-2012). **Journal of Industrial Ecology**, v. 18, n. 2, p. 280-293, 2014.

ZHU, Q.; COTE, R. P. Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 1025-1035, 2004.

ZHU, Q.; LOWE, E. A.; WEI, Y-A.; BARNES, D. Industrial symbiosis in China. A case study of the Guitang Group. **Journal of Industrial Ecology**, v. 11, n. 1, p. 31-42, 2007.

ANEXO A – COLEÇÃO I DE TRABALHOS CIENTÍFICOS (PUBLICAÇÃO MUNDIAL)

CÓDIGO	REFERÊNCIA
01	ADAMIDES, E. D.; MOUZAKITIS, Y. Industrial ecosystems as technological niches. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 17, n. 2, p. 172-180, 2009.
02	ANDERSEN, O. Industrial ecology and some implications for rural SMEs. <i>Business Strategy and the Environment</i> , v. 6, n. 3, p. 146-152, 1997.
03	ANDREWS, R.; PEARCE, J. M. Environmental and economic assessment of a greenhouse waste heat exchange. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 19, n. 13, p. 1446-1454, 2011.
04	ANH, P. T.; DIEU, T. T. M.; MOL, A. P. J.; KROEZE, C.; BUSH, S. R. Towards eco-agro industrial clusters in aquatic production: the case of shrimp processing industry in Vietnam. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 19, n. 17, p. 2107-2118, 2011.
05	ARDENTE, F.; CELLURA, M.; LO BRANO, V.; MISTRETTA, M. Life cycle assessment-driven selection of Industrial Ecology strategies. <i>Integrated Environmental Assessment and Management</i> , v. 6, n. 1, p. 52-60, 2009.
06	ASHTON, W. S. Managing performance expectations of industrial symbiosis. <i>Business Strategy and the Environment</i> , v. 20, n. 5, p. 297-309, 2011.
07	ASHTON, W. S. Understanding the organization of industrial ecosystems: a social network approach. <i>Journal of Industrial Ecology</i> , v. 12, n. 1, p. 34-51, 2008.
08	ASHTON, W. S.; BAIN, A. C. Assessing the "short mental distance" in eco-industrial networks. <i>Journal of Industrial Ecology</i> , v. 16, n. 1, p. 70-82, 2012.
09	AVISO, K. B. Design of robust water exchange networks for eco-industrial symbiosis. <i>Process Safety and Environmental Protection</i> , v. 92, n. 2, p. 160-170, 2014.
10	AVISO, K. B.; TAN, R. R.; CULABA, A. B.; CRUZ JR., J. B. Fuzzy input-output model for optimizing eco-industrial supply chains under water footprint constraints. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 19, n. 2, p. 187-196, 2011.
11	BAAS L. W.; BOONS, F. A. An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 12, n. 8, p. 1073-1085, 2004.
12	BAAS, L. Cleaner production and industrial ecosystems, a Dutch experience. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 6, n. 3, p. 189-197, 1998.
13	BAAS, L. Developing an industrial ecosystem in Rotterdam: Learning by... What? <i>Journal of Industrial Ecology</i> , v. 4, n. 2, p. 4-6, 2001.
14	BAAS, L. Industrial symbiosis in the Rotterdam Harbour and industry complex: reflections on the interconnection of the techno-sphere with the social system. <i>Business Strategy and the Environment</i> , v. 17, n. 5, p. 330-340, 2008.
15	BAIN, A.; SHENOY, M.; ASHTON, W.; CHERTOW, M. Industrial symbiosis and waste recovery in an Indian industrial area. <i>Resources, Conservation and Recycling</i> , v. 54, n. 12, p. 1278-1287, 2010.

(continua ...)

(... continuaçao)

- 16 BANSAL, P.; MCKNIGHT, B. Looking forward, pushing back and peering sideways: analyzing the sustainability of industrial symbiosis. **Journal of Supply Chain Management**, v. 45, n. 4, p. 26-37, out. 2009.
- 17 BASU, A. J.; VAN ZYL, D. J. A. Industrial ecology framework for achieving cleaner production in the mining and minerals industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 3, p. 299-304, 2006.
- 18 BATTEN, D. F. Fostering industrial symbiosis with agent-based simulation and participatory modeling. **Journal of Industrial Ecology**, v. 13, n. 2, p. 197-213, 2009.
- 19 BEHERA, S. K.; KIM, J-H.; LEE, S-Y.; SUH, S.; PARK, H-S. Evolution of 'designed' industrial symbiosis networks in the Ulsan Eco-Industrial Park: 'research and development into business' as the enabling framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 29-30, p. 103-112, 2012.
- 20 BEY, C. Changing economies of scale – synergies between implementation of an ecological tax reform and development of industrial ecosystems. **Business Strategy and the Environment**, v. 10, n. 6, p. 383-393, 2001.
- 21 BLOCK, C.; VAN PRAET, B.; WINDELS, T.; VERMEULEN, I.; DANGREAU, G.; OVERMEIRE, A.; D'HOOGE, E.; MAES, T.; VAN EETVELDE, G.; VANDECASTEELE C. Toward a carbon dioxide neutral industrial park: a case study. **Journal of Industrial Ecology**, v. 15, n. 4, p. 584-596, 2011.
- 22 BOIX, M.; MONTASTRUC, L.; PIBOULEAU, L.; AZZARO-PANTEL, C.; DOMENECH, S. Industrial water management by multiobjective optimization: from individual to collective solution through eco-industrial parks. **Journal of Cleaner Production**, v. 22, n. 1, p. 85-97, 2012.
- 23 BOONS, F. A. A.; BAAS, L. W. Types of industrial ecology: the problem of coordination. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1, p. 79-86, 1997.
- 24 BOONS, F.; SPEKKINK, W. Levels of institutional capacity and actor expectations about industrial symbiosis: evidence from the Dutch Stimultion Program 1999-2004. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. 1, p. 61-69, 2012.
- 25 BOONS, F.; SPEKKINK, W.; MOUZAKITIS, Y. The dynamics of industrial symbiosis: a proposal for a conceptual framework based upon a comprehensive literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 9, p. 905-911, 2011.
- 26 BOYLE, C. A.; BAETZ, B. W. A prototype knowledge-based decision support system for industrial waste management: part I. The decision support system. **Waste Management**, v. 18, n. 2, p. 87-97, 1998.
- 27 BRAND, E.; BRUIJN, T. Shared responsibility at the regional level: the building of sustainable industrial states. **European Environment**, v. 9, p. 221-231, 1999.
- 28 BRAS, B. Material flow challenges in industrial ecosystems. **Materials Transactions**, v. 43, n. 3, p. 364-367, 2002.
- 29 BRENT, A. C.; OELOFSE, S.; GODFREY, L. Advancing the concepts of industrial ecology in South African institutions. **South Africa Journal of Science**, v. 104, n. 1, p. 9-12, 2008.
- 30 BUSTOS, S.; GOMEZ, C.; HAUSMANN, R.; HIDALGO, C. A. The dynamics of nestedness predicts the evolution of industrial ecosystems. **PLOS ONE**, v. 7, n. 11, p. 1-8, nov. 2012.

(continua ...)

(... continuação)

- 31 CANTLON, J. E.; KOENIG, H. E. Sustainable ecological economies. *Ecological Economics*, v. 31, n. 1, p. 107-121, 1999.
- 32 CAO, K.; FENG, X.; WAN, H. Applying agent-based modeling to the evolution of eco-industrial systems. *Ecological Economics*, v. 68, n. 11, p. 2868-2876, 2009.
- 33 CARPENTER, A. C.; GARDNER, K. H. Use of industrial by-products in urban roadway infrastructure: argument for increased industrial ecology. *Journal of Industrial Ecology*, v. 13, n. 6, p. 965-977, 2009.
- 34 CARR, A. J. P. Choctaw Eco-Industrial Park: an ecological approach to industrial land-use planning and design. *Landscape and Urban Planning*, v. 42, n. 2, p. 239-257, 1998.
- 35 CASAVANT, T. E.; CÔTÉ, R. P. Using chemical process simulation to design industrial ecosystems. *Journal of Cleaner Production*, v. 12, n. 8, p. 901-908, 2004.
- 36 CASTRO, E. R.; ORTEGA, J. M. P.; GONZÁLEZ, M. S.; EL-HALWAGI, M. M. Optimal reconfiguration of multi-plant water networks into an eco-industrial park. *Computers and Chemical Engineering*, v. 44, p. 58-83, 2012.
- 37 CASTRO, E. R.; ORTEGA, J. M. P.; GONZÁLEZ, M. S.; GUTIÉRREZ, A. J.; EL-HALWAGI, M. M. A global optimal formulation for the water integration in eco-industrial parks considering multiple pollutants. *Computers and Chemical Engineering*, v. 35, n. 8, p. 1558-1574, 2011.
- 38 CASTRO, E. R.; ORTEGA, J. M. P.; RIVERA, F. N.; EL-HALWAGI, M. M.; GONZÁLEZ, M. S.; GUTIÉRREZ, A. J. Water integration of eco-industrial parks using a global optimization approach. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 49, n. 20, p. 9945-9960, 2010.
- 39 CERVANTES, G. A methodology for teaching industrial ecology. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, v. 8, n. 2, p. 131-141, 2007.
- 40 CHAE, S. H.; KIM, S. H.; YOON, S-G.; PARK, S. Optimization of a waste heat utilization network in an eco-industrial park. *Applied Energy*, v. 87, n. 6, p. 1978-1988, 2010.
- 41 CHAVALPARIT, O.; RULKENS, W. H.; MOL, A. P. J.; KHAODHAIR, S. Options for environmental sustainability of the crude palm oil industry in Thailand through enhancement of industrial ecosystems. *Environment, Development and Sustainability*, v. 8, n. 2, p. 271-287, 2006.
- 42 CHEN, L.; WANG, R.; YANG, J.; SHI, Y. Structural complexity analysis for industrial ecosystem: a case study on LuBei industrial ecosystem in China. *Ecological Complexity*, v. 7, n. 2, p. 179-187, 2010.
- 43 CHEN, X.; FUJITA, T.; OHNISHI, S.; FUJII, M.; GENG, Y. The impact of scale, recycling boundary, and type of waste on symbiosis and recycling. An empirical study of Japanese eco-towns. *Journal of Industrial Ecology*, v. 16, n. 1, p. 129-141, 2012.
- 44 CHEN, Y. J.; SHEU, J-B. Pursuing extended producer responsibility in the context of EIPs by a Hotelling model. *Journal of Cleaner Production*, v. 57, p. 152-157, 2013.
- 45 CHERTOW, M. R. "Uncovering" industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, v. 11, n. 1, p. 11-30, 2007.
- 46 CHERTOW, M. R. The eco-industrial park model reconsidered. *Journal of Industrial Ecology*, v. 2, n. 3, p. 8-10, 1999.

(continua ...)

(... continuação)

- 47 CHERTOW, M.; EHRENFELD, J. Organizing self-organizing systems. Toward a theory of industrial symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. 1, p. 13-27, 2012.
- 48 CHEW, I. M. L.; FOO, D. C. Y. Automated targeting for inter-plant water integration. **Chemical Engineering Journal**, v. 153, n. 1, p. 23-36, 2009.
- 49 CHEW, I. M. L.; TAN, R. R.; FOO, D. C. Y.; CHIU, A. S. F. Game theory approach to the analysis of inter-plant water integration in an eco-industrial park. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 18, p. 1611-1619, 2009.
- 50 CHIU, A. S. F. Ecology, systems and networking. Walking the talk in Asia. **Journal of Industrial Ecology**, v. 5, n. 2, p. 6-8, 2002.
- 51 CHIU, A. S. F.; WARD, J. V.; MASSARD, G. Introduction to the special issue on advances in life-cycle approaches to business and resource management in the Asia-Pacific region. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 14, p. 1237-1240, 2009.
- 52 CLIFT, R.; LLOYD, S. Nanotechnology. A new organism in the industrial ecosystem? **Journal of Industrial Ecology**, v. 12, n. 3, p. 259-262, 2008.
- 53 COHEN-ROSENTHAL, E. Making sense out of industrial ecology: a framework for analysis and action. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 1111-1123, 2004.
- 54 CONNELLY, L.; KOSHLAND, C. P. Two aspects of consumption: using a exergy-based measure of degradation to advance the theory and implementation of industrial ecology. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 19, n. 3, p. 199-217, 1997.
- 55 CONTICELLI, E.; TONDELLI, S. Application of strategic environmental assessment to eco-industrial parks: Raibano case in Italy. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 139, n. 3, p. 185-196, 2013.
- 56 COSTA, I.; FERRão, P. A case study of industrial symbiosis development using a middle-out approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10, p. 984-992, 2010.
- 57 CÔTÉ, R. P. Exploring the analogy further. **Journal of Industrial Ecology**, v. 3, n. 2-3, p. 11-12, 2000.
- 58 CÔTÉ, R. P. Industrial ecosystems. Evolving and Maturing. **Journal of Industrial Ecology**, v. 1, n. 3, p. 9-11, 1998.
- 59 CÔTÉ, R. P. Thinking like an ecosystem. **Journal of Industrial Ecology**, v. 2, n. 2, p. 9-11, 1998.
- 60 CÔTÉ, R. P.; COHEN-ROSENTHAL, E. Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences. **Journal of Cleaner Production**, v. 6, n. 3, p. 181-188, 1998.
- 61 CÔTÉ, R. P.; HALL, J. Industrial parks as ecosystems. **Journal of Cleaner Production**, v. 3, n. 1, p. 41-46, 1995.
- 62 CÔTÉ, R. P.; SMOLENAARS, T. Supporting pillars for industrial ecosystems. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1, p. 67-74, 1997.
- 63 CURRAN, T.; WILLIAMS, I. D. A zero waste vision for industrial networks in Europe. **Journal of Hazardous Materials**, v. 207, p. 3-7, 2012.

(continua ...)

(... continuaçāo)

- 64 DESPEISSE, M.; BALL, P. D.; EVANS, S.; LEVERS, A. Industrial ecology at factory level – a conceptual model. *Journal of Cleaner Production*, v. 31, p. 30-39, 2012.
- 65 DESROCHERS, P. Cities and industrial symbiosis. Some historical perspectives and policy implications. *Journal of Industrial Ecology*, v. 5, n. 4, p. 29-44, 2002.
- 66 DESROCHERS, P. Eco-industrial parks. The case for private planning. *The Independent Review*, v. 5, p. 345-371, 2001.
- 67 DESROCHERS, P. Industrial ecology and the rediscovery of inter-firm recycling linkages: historical evidence and policy implications. *Industrial and Corporate Change*, v. 11, n. 5, p. 1031-1057, 2002.
- 68 DESROCHERS, P. Industrial symbiosis: the case for market coordination. *Journal of Cleaner Production*, v. 12, n. 8, p. 1099-1110, 2004.
- 69 DEUTZ, P.; GIBBS, D. Eco-industrial development and economic development: industrial ecology or place promotion? *Business Strategy and the Environment*, v. 13, n. 5, p. 347-362, 2004.
- 70 DING, J.; HUA, W. Featured chemical industrial parks in China: history, current status and outlook. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 63, p. 43-53, 2012.
- 71 DOMÉNECH, T.; DAVIES, M. Structure and morphology of industrial symbiosis networks: the case of Kalundborg. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, v. 10, p. 79-89, 2011.
- 72 DOMÉNECH, T.; DAVIES, M. The role of embeddedness in industrial symbiosis networks: phases in the evolution of industrial symbiosis networks. *Business Strategy and the Environment*, v. 20, n. 5, p. 281-296, 2011.
- 73 DONG, H.; OHNISHI, S.; FUJITA, T.; GENG, Y.; FUJII, M.; DONG, L. Achieving carbon emission reduction through industrial & urban symbiosis: a case of Kawasaki. *Energy*, v. 64, p. 277-286, 2014.
- 74 DONG, L.; FUJITA, T.; ZHANG, H.; DAI, M.; FUJII, M.; OHNISHI, S.; GENG, Y.; LIU, Z. Promoting low-carbon city through industrial symbiosis: a case in China by applying HPIMO model. *Energy Policy*, v. 62, p. 864-873, 2013.
- 75 DONG, L.; GU, F.; FUJITA, T.; HAYASHI, Y.; GAO, J. Uncovering opportunity of low-carbon city promotion with industrial system innovation: case study on industrial symbiosis projects in China. *Energy Policy*, v. 65, p. 388-397, 2014.
- 76 DONG, L.; ZHANG, H.; FUJITA, T.; OHNISHI, S.; LI, H.; FUJII, M.; DONG, H. Environmental and economic gains of industrial symbiosis for Chinese iron/steel industry: Kawasaki's experience and practice in Liuzhou and Jinan. *Journal of Cleaner Production*, v. 59, p. 226-238, 2013.
- 77 EHRENFELD, J. R. Industrial ecology: a framework for product and process design. *Journal of Cleaner Production*, v. 5, n. 1, p. 87-95, 1997.
- 78 EHRENFELD, J. R.; GERTLER, N. Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg. *Journal of Industrial Ecology*, v. 1, n. 1, p. 67-79, 1997.
- 79 ERKMAN, S. Industrial ecology: an historical view. *Journal of Cleaner Production*, v. 5, n. 1, p. 1-10, 1997.

(continua ...)

(... continuação)

- 80 FANG, Y.; CÔTÉ, R. P.; QIN, R. Industrial sustainability in China: practice and prospects for eco-industrial development. **Journal of Environmental Management**, v. 83, n. 3, p. 315-328, 2007.
- 81 FERNÁNDEZ, I.; RUIZ, M. C. Descriptive model and evaluation system to locate sustainable industrial areas. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 1, p. 87-100, 2009.
- 82 FICHTNER, W.; FRANK, M.; RENTZ, O. Inter-firm energy supply concepts: an option for cleaner energy production. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 891-899, 2004.
- 83 FONS, S.; ACHARI, G.; ROSS, T. A fuzzy cognitive mapping analysis of the impacts of an eco-industrial park. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 15, n. 2, p. 75-88, 2004.
- 84 FROSCH, R. A.; GALLOPOULOS, N. E. Strategies for manufacturing. **Scientific American**, v. 189, n. 3, p. 144-152, 1989.
- 85 GAO, L.; WU, H.; JIN, H.; YANG, M. System study of combined cooling, heating and power system for eco-industrial parks. **International Journal of Energy Research**, v. 32, n. 12, p. 1107-1118, 2008.
- 86 GENG, Y.; FU, J.; SARKIS, J.; XUE, B. Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 23, n. 1, p. 216-224, 2012.
- 87 GENG, Y.; HAIGHT, M.; ZHU, Q. Empirical analysis of eco-industrial development in China. **Sustainable Development**, v. 15, n. 1, p. 121-133, 2007.
- 88 GENG, Y.; HENGXIN, Z. Industrial park management in the Chinese environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 14, p. 1289-1294, 2009.
- 89 GENG, Y.; TSUYOSHI, F.; CHEN, X. Evaluation of innovative municipal solid waste management through urban symbiosis: a case study of Kawasaki. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10, p. 993-1000, 2010.
- 90 GENG, Y.; ZHANG, P.; CÔTÉ, R. P.; FUJITA, T. Assessment of the national eco-industrial park standard for promoting industrial symbiosis in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 13, n. 1, p. 15-26, 2008.
- 91 GENG, Y.; ZHU, Q.; DOBERSTEIN, B.; FUJITA, T. Implementing China's circular economy concept at the regional level: A review of progress in Dalian, China. **Waste Management**, v. 29, n. 2, p. 996-1002, 2009.
- 92 GENG, Y.; ZHU, Q.; HAIGHT, M. Planning for integrated solid waste management at the Industrial Park level: a case of Tianjin, China. **Waste Management**, v. 27, n. 1, p. 141-150, 2007.
- 93 GIBBS, D.; DEUTZ, P. Implementing industrial ecology? Planning for eco-industrial parks in the USA. **Geoforum**, v. 36, n. 4, p. 452-464, 2005.
- 94 GIBBS, D.; DEUTZ, P. Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 17, p. 1683-1695, 2007.
- 95 GIURCO, D.; BOSSILKOV, A.; PATTERSON, J.; KAZAGLIS, A. Developing industrial water reuse synergies in Port Melbourne: cost effectiveness, barriers and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 8, p. 867-876, 2011.

(continua ...)

(... continuação)

- 96 GIURCO, D.; COHEN, B.; LANGHAM, E.; WARNKEN, M. Backcasting energy futures using industrial ecology. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 78, n. 5, p. 797-818, 2011.
- 97 GLAVIC, P.; LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 18, p. 1875-1885, 2007.
- 98 GOLEV, A.; CORDER, G. D. Developing a classification system for regional resource synergies. **Minerals Engineering**, v. 29, p. 58-64, 2012.
- 99 GONDKAR, S.; SREERAMAGIRI, S.; ZONDERVAN, E. Methodology for assessment and optimization of industrial eco-systems. **Challenges**, v. 3, n. 1, p. 49-69, 2012.
- 100 GRANT, G. B.; SEAGER, T. P.; MASSARD, G.; NIES, L. Information and communication technology for industrial symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 5, p. 740-753, 2010.
- 101 GRANT, J. Planning and designing industrial landscapes for eco-efficiency. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1, p. 75-78, 1997.
- 102 GREGSON, N.; CRANG, M.; AHAMED, F. U.; AKTER, N.; FERDOUS, R.; FOISAL, S.; HUDSON, R. Territorial agglomeration and industrial symbiosis: Sitakunda-Bhatiary, Bangladesh, as a secondary processing complex. **Economic Geography**, v. 88, n. 1, p. 37-58, 2011.
- 103 GUO, L.; HU, X. Green technological trajectories in eco-industrial parks and the selected environment: the cases study of the Lubei Group and the Guitang Group. **Journal of Knowledge-based Innovation in China**, v. 3, n. 1, p. 54-68, 2011.
- 104 HA, N. T. V.; ANANTH, A. P.; VISVANATHAN, C.; ANBUMOZHI, V. Techno policy aspects and socio-economic impacts of eco-industrial networking in the fishery sector: experiences from An Giang Province, Vietnam. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 14, p. 1272-1280, 2009.
- 105 HARDY, C.; GRAEDEL, T. E. Industrial ecosystems as food webs. **Journal of Industrial Ecology**, v. 6, n. 1, p. 29-38, 2002.
- 106 HARPER, E. M.; GRAEDEL, T. E. Industrial ecology: a teenager's progress. **Technology in Society**, v. 26, n. 2, p. 433-445, 2004.
- 107 HASHIMOTO, S.; FUJITA, T.; GENG, Y.; NAGASAWA, E. Realizing CO₂ emission reduction through industrial symbiosis: a cement production case study for Kawasaki. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 10, p. 704-710, 2010.
- 108 HASKINS, C. A systems engineering framework for eco-industrial park formation. **Systems Engineering**, v. 10, n. 1, p. 83-97, 2007.
- 109 HASKINS, C. Multidisciplinary investigation of eco-industrial parks. **Systems Engineering**, v. 9, n. 4, p. 313-330, 2006.
- 110 HEERES, R. R.; VERMEULEN, W. J. V.; WALLE, F. B. Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 985-995, 2004.
- 111 HESS, G. The ecosystem: model or metaphor? Epistemological difficulties in Industrial Ecology. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 2, p. 270-285, 2010.
- 112 HIETE, M.; LUDWIG, J.; SCHULTMANN, F. Intercompany energy integration. Adaptation of thermal pinch analysis and allocation of savings. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. 5, p. 689-698, 2012.

(continua ...)

(... continuaçāo)

- 113 HUI, Z. Study on the fuzzy analytical hierarchy integrated evaluation method for eco-industrial parks. **Energy Procedia**, v. 5, p. 1944-1948, 2011.
- 114 HUO, C. H.; CHAI, L. H. Physical principles and simulations on the structural evolution of eco-industrial systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 18, p. 1995-2005, 2008.
- 115 ISENMANN, R. Industrial Ecology: shedding more light on its perspective of understanding nature as model. **Sustainable Development**, v. 11, n. 3, p. 143-158, 2003.
- 116 JEGATHEESAN, V.; LIOW, J. L.; SHU, L.; KIM, S. H.; VISVANATHAN, C. The need for global coordination in sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 7, p. 637-643, 2009.
- 117 JELINSKI, L. W.; GRAEDEL, T. E.; LAUDISE, R. A.; MCCALL, D. W.; PATEL, C. K. N. Industrial ecology: concepts and approaches. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 89, n. 3, p. 793-797, 1992.
- 118 JENSEN, P. D.; BASSON, L.; HELLA WELL, E. E.; BAILEY, M. R.; LEACH, M. Quantifying 'geographic proximity': experiences from United Kingdom's National Industrial Symbiosis Programme. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 7, p. 703-712, 2011.
- 119 JENSEN, P. D.; BASSON, L.; HELLA WELL, E. E.; LEACH, M. 'Habitat' suitability index mapping for industrial symbiosis planning. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. 1, p. 38-50, 2012.
- 120 JENSEN, P. D.; BASSON, L.; LEACH, M. Reinterpreting Industrial Ecology. **Journal of Industrial Ecology**, v. 15, n. 5, p. 680-692, 2011.
- 121 JIAO, W.; BOONS, F. Toward a research agenda for policy intervention and facilitation to enhance industrial symbiosis based on a comprehensive literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 67, p. 14-25, 2014.
- 122 JUNG, S.; AN, K-J.; DODBIBA, G.; FUJITA, T. Regional energy-related carbon emission characteristics and potential mitigation in eco-industrial parks in South Korea: logarithmic mean Divisia index analysis based on the Kaya identity. **Energy**, v. 46, n. 1, p. 231-241, 2012.
- 123 JUNG, S.; DODBIBA, G.; CHAE, S. H.; FUJITA, T. A novel approach for evaluating the performance of eco-industrial park pilot projects. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, p. 50-59, 2013.
- 124 KARLSSON, M.; WOLF, A. Using an optimization model to evaluate the economic benefits of industrial symbiosis in the forest industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 14, p. 1536-1544, 2008.
- 125 KIM, H. Building an eco-industrial park as a public project in South Korea. The stakeholders' understanding of and involvement in the project. **Sustainable Development**, v. 15, n. 6, p. 357-369, 2007.
- 126 KIM, S. H.; YOON, S-G.; CHAE, S. H.; PARK, S. Economic and environmental optimization of a multi-site utility network for an industrial complex. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 3, p. 690-705, 2010.
- 127 KIM, S-J. Korean waste management and eco-efficient symbiosis – a case study of Kwangmyong City. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 3, n. 4, p. 371-382, 2002.

(continua ...)

(... continuação)

- | | |
|-----|--|
| 128 | KINCAID, J.; OVERCASH, M. Industrial ecosystem development at the metropolitan level. <i>Journal of Industrial Ecology</i> , v. 5, n. 1, p. 117-126, 2001. |
| 129 | KOENIG, A. Quo Vadis EIP? How eco-industrial parks are evolving. <i>Journal of Industrial Ecology</i> , v. 9, n. 3, p. 12-14, 2005. |
| 130 | KORHONEN, J. A material and energy flow model for co-production of heat and power. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 10, n. 6, p. 537-544, 2002. |
| 131 | KORHONEN, J. Co-production of heat and power: an anchor tenant of a regional industrial ecosystem. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 9, n. 6, p. 509-517, 2001. |
| 132 | KORHONEN, J. Environmental planning vs. systems analysis: four prescriptive principles vs. four descriptive principles. <i>Journal of Environmental Management</i> , v. 82, n. 1, p. 51-59, 2007. |
| 133 | KORHONEN, J. Industrial ecology in the strategic sustainable development model: strategic applications of industrial ecology. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 12, n. 8, p. 809-823, 2004. |
| 134 | KORHONEN, J. Regional industrial ecology: examples from regional economic systems of forest industry and energy supply in Finland. <i>Journal of Environmental Management</i> , v. 63, n. 4, p. 367-375, 2001. |
| 135 | KORHONEN, J. Some suggestions for regional industrial ecosystems – extended industrial ecology. <i>Eco-Management and Auditing</i> , v. 8, n. 1, p. 57-69, 2001. |
| 136 | KORHONEN, J.; HUISINGH, D.; CHIU, A. S. F. Applications of industrial ecology – an overview of the special issue. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 12, n. 8, p. 803-807, 2004. |
| 137 | KORHONEN, J.; NIEMELÄINEN, H.; PULLIAINEN, K. Regional industrial recycling network in energy supply – the case of Joensuu City, Finland. <i>Corporate Social Responsibility and Environmental Management</i> , v. 9, n. 3, p. 170-185, 2002. |
| 138 | KORHONEN, J.; NIUTANEN, V. Material and energy flows of a local forest industry system in Finland. <i>Sustainable Development</i> , v. 11, n. 3, p. 121-132, 2003. |
| 139 | KORHONEN, J.; OKKONEN, L.; NIUTANEN, V. Industrial ecosystem indicators – direct and indirect effects of integrated waste and by-product management and energy production. <i>Clean Technologies and Environmental Policy</i> , v. 6, n. 3, p. 162-173, 2004. |
| 140 | KORHONEN, J.; SAVOLAINEN, I. Cleaner energy production in industrial recycling networks. <i>Eco-Management and Auditing</i> , v. 8, n. 3, p. 144-153, 2001. |
| 141 | KORHONEN, J.; SAVOLAINEN, I.; OHLSTRÖM, M. Applications of the industrial ecology concept in a research project: Technology and Climate Change (CLIMTECH) Research in Finland. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 12, p. 1087-1097, 2004. |
| 142 | KORHONEN, J.; SNÄKIN, J-P. Analysing the evolution of industrial ecosystems: concepts and application. <i>Ecological Economics</i> , v. 52, n. 2, p. 169-186, 2005. |
| 143 | KORHONEN, J.; SNÄKIN, J-P. Industrial ecosystem evolution of North Karelia heating energy system. <i>Regional Environmental Change</i> , v. 3, n. 4, p. 128-139, 2003. |

(continua ...)

(... continuaçao)

- 144 KORHONEN, J.; VON MALMBORG, F.; STRACHAN, P. A.; EHRENFELD, J. R. Management and policy aspects of industrial ecology: an emerging research agenda. **Business Strategy and the Environment**, v. 13, n. 5, p. 289-305, 2004.
- 145 KORHONEN, J.; WIHERSAARI, M.; SAVOLAINEN, I. 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**, v. 39, n. 1, p. 145-161, 2001.
- 146 KORHOREN, J. Completing the industrial ecology cascade chain in the case of a paper industry – SME potential in industrial ecology. **Eco-Management and Auditing**, v. 7, n. 1, p. 11-20, 2000.
- 147 KRIVTSOV, V.; WÄGER, P. A.; DACOMBE, P.; GILGEN, P. W.; HEAVEN, S.; HILTY, L. M.; BANKS, C. J. Analysis of footprints associated with recycling of glass and plastic – case studies for industrial ecology. **Ecological Modelling**, v. 174, n. 1, p. 175-189, 2004.
- 148 LAMBERT, A. J. D.; BOONS, F. A. Eco-industrial-parks: stimulating sustainable development in mixed industrial parks. **Technovation**, v. 22, n. 8, p. 471-484, 2002.
- 149 LEHTORANTA, S.; NISSINEN, A.; MATTILA, T.; MELANEN, M. Industrial symbiosis and the policy instruments of sustainable consumption and production. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 16, p. 1865-1875, 2011.
- 150 LEVÄNEN, J. O.; HUKKINEN, J. I. A methodology for facilitating the feedback between mental models and institutional change in industrial ecosystem governance: a waste management case-study from northern Finland. **Ecological Economics**, v. 87, p. 15-23, 2013.
- 151 LEVINE, S. H. Comparing products and production in ecological and industrial systems. **Journal of Industrial Ecology**, v. 7, n. 2, p. 33-42, 2003.
- 152 LI, H.; BAO, W.; XIU, C.; ZHANG, Y.; XU, H. Energy conservation and circular economy in China's process industries. **Energy**, v. 35, n. 11, p. 4273-4281, 2010.
- 153 LIANG, S.; SHI, L.; ZHANG, T. Achieving dewaterization in industrial parks. A case study of the Yixing Economic Development Zone. **Journal of Industrial Ecology**, v. 15, n. 4, p. 597-613, 2011.
- 154 LIU, C.; MA, C.; ZHANG, K. Going beyond the sectoral boundary: a key stage in the development of a regional industrial ecosystem. **Journal of Cleaner Production**, v. 22, n. 1, p. 42-49, 2012.
- 155 LIU, C.; ZHANG, K. Industrial ecology and water utilization of the marine chemical industry: A case study of Hai Hua Group (HHG), China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 70, p. 78-85, 2013.
- 156 LIU, C.; ZHANG, K.; ZHANG, J. Sustainable utilization of regional water resources: experiences from the Hai Hua ecological industry pilot zone (HHEIPZ) project in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 5, p. 447-453, 2010.
- 157 LIU, L.; ZHANG, B.; BI, J.; WEI, Q.; PAN, H. The greenhouse gas mitigation of industrial parks in China: A case study of Suzhou Industrial Park. **Energy Policy**, v. 43, p. 301-307, 2012.
- 158 LIU, Q.; JIANG, P.; ZHAO, J.; ZHANG, B.; BIAN, H.; QIAN, G. Life cycle assessment of an industrial symbiosis based on energy recovery from dried sludge and used oil. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 15, p. 1700-1708, 2011.

(continua ...)

(... continuaçāo)

- 159 LIWARSKA-BIZUKOJC, E.; BIZUKOJC, M.; MARCINKOWSKI, A.; DONIEC, A. The conceptual model of an eco-industrial park based upo ecological relationships. *Journal of Cleaner Production*, v. 17, n. 8, p. 732-741, 2009.
- 160 LOMBARDI, D. R.; LAYBOURN, P. Redefining industrial symbiosis. Crossing academic-practitioner boundaries. *Journal of Industrial Ecology*, v. 16, n. 1, p. 28-37, 2012.
- 161 LOVELADY, E. M.; EL-HALWAGI, M. M. Design and integration of eco-industrial parks for managing water resources. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, v. 28, n. 2, p. 265-272, 2009.
- 162 LOWE, E. A. Creating by-product resource exchanges: strategies for eco-industrial parks. *Journal of Cleaner Production*, v. 5, n. 1, p. 57-65, 1997.
- 163 LOWE, E. A.; EVANS, L. K. Industrial ecology and industrial ecosystems. *Journal of Cleaner Production*, v. 3, n. 1, p. 47-53, 1995.
- 164 LOWITT, P.; CÔTÉ, R. Putting the eco into eco parks. *Journal of Industrial Ecology*, v. 17, n. 3, p. 343-344, 2013.
- 165 LÜ, Y.; YANG, K.; CHE, Y.; SHANG, Z.; TAI, J.; JIAN, Y. Industrial solid waste flow analysis of eco-industrial parks: implications for sustainable waste management in China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, v. 6, n. 4, p. 575-587, 2012.
- 166 LYONS, D. I. A spatial analysis of loop closing among recycling, remanufacturing, and waste treatment firms in Texas. *Journal of Industrial Ecology*, v. 11, n. 1, p. 43-54, 2007.
- 167 LYONS, D.; RICE, M.; WACHAL, R. Circuits of scrap: closed loop industrial ecosystems and the geography of US international recyclable material flows 1995-2005. *The Geographical Journal*, v. 175, n. 4, p. 286-300, 2009.
- 168 MACMANUS, P.; GIBBS, D. Industrial ecosystems? The use of tropes in the literature of industrial ecology and eco-industrial parks. *Progress in Human Geography*, v. 32, n. 4, p. 525-540, 2008.
- 169 MAES, T.; VAN EETVELDE, G.; DE RAS, E.; BLOCK, C.; PISMAN, A.; VERHOFSTEDE, B.; VANDENDRIESSCHE, F.; VANDEVELDE, L. Energy management on industrial parks in Flanders. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 4, p. 1988-2005, 2011.
- 170 MAMOUNE, A.; YASSINE, A. Creating an inductive model of industrial development with optimized flows for reducing its environmental impacts. *Energy Procedia*, v. 6, p. 396-403, 2011.
- 171 MARTIN, M.; EKLUND, M. Improving the environmental performance of biofuels with industrial symbiosis. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, n. 5, p. 1747-1755, 2011.
- 172 MATHEWS, J. A.; TAN, H. Progress toward a circular economy in China. *Journal of Industrial Ecology*, v. 15, n. 3, p. 435-457, 2011.
- 173 MATTILA, T.; LEHTORANTA, S.; SOKKA, L.; MELANEN, M.; NISSINEN, A. Methodological aspects of applying Life Cycle Assessment to industrial symbioses. *Journal of Industrial Ecology*, v. 16, n. 1, p. 51-60, 2012.
- 174 MATTIUSSI, A.; ROSANO, M.; SIMEONI, P. A decision support system for sustainable energy supply combining multi-objective and multi-attribute analysis: an Australian case study. *Decision Support Systems*, v. 57, p. 150-159, 2014.

(continua ...)

(... continuaçao)

- 175 MENEGHETTI, A.; NARDIN, G. Enabling industrial symbiosis by a facilities management optimization approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 35, p. 263-273, 2012.
- 176 MIRATA, M. Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and coordination challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 967-983, 2004.
- 177 MONTASTRUC, L.; BOIX, M.; PIBOULEAU, L.; AZZARO-PANTEL, C.; DOMENECH, S. On the flexibility of an eco-industrial park (EIP) for managing industrial water. **Journal of Cleaner Production**, v. 43, p. 1-11, 2013.
- 178 MU, H.; FENG, X.; CHU, K. H. Improved emergy indices for evaluation of industrial systems incorporating waste management. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 2, p. 335-342, 2011.
- 179 NIUTANEN, V.; KORHONEN, J. Management of old landfills by utilizing forest and energy industry waste flows. **Journal of Environmental Management**, v. 65, n. 1, p. 39-47, 2002.
- 180 OH, D-S.; KIM, K-B.; JEONG, S-Y. Eco-industrial park design: a Daedeok technovalley case study. **Habitat International**, v. 29, n. 2, p. 269-284, 2005.
- 181 OHNISHI, S.; FUJITA, T.; CHEN, X.; FUJII, M. Econometric analysis of the performance of recycling projects in Japanese Eco-Towns. **Journal of Cleaner Production**, v. 33, p. 217-225, 2012.
- 182 OMURA, M.; QIN, C. Y.; OHTANI, H.; IWASAKI, R.; SHIGENO, Y.; YU, J. S.; NAKAZAWA, S. Networking possibilities for waste recycling in Miyagi prefecture, Japan. **Waste Management**, v. 27, n. 5, p. 711-719, 2007.
- 183 O'Rourke, D.; CONNELLY, L.; KOSHLAND, C. Industrial ecology: a critical review. **International Journal of Environment and Pollution**, v. 6, n. 2-3, p. 89-112, 1996.
- 184 ÖZYURT, D. B.; REALFF, M. J. Combining a geographical information system and process engineering to design an agricultural-industrial ecosystem. **Journal of Industrial Ecology**, v. 5, n. 3, p. 13-31, 2002.
- 185 PANYATHANAKUN, V.; TANTAYANON, S.; TINGSABDH, C.; CHARMONDUSIT, K. Preliminary study on the community-based-eco-industrial state development of Northern Region Industrial State, Thailand. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, v. 40, p. 478-484, 2012.
- 186 PANYATHANAKUN, V.; TANTAYANON, S.; TINGSABHAT, C.; CHARMONDUSIT, K. Development of eco-industrial states in Thailand: initiatives in the northern region community-based eco-industrial state. **Journal of Cleaner Production**, v. 51, p. 71-79, 2013.
- 187 PARK, H-S.; BEHERA, S. K. Methodological aspects of applying eco-efficiency indicators to industrial symbiosis networks. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 478-485, 2014.
- 188 PARK, H-S.; RENE, E. R.; CHOI, S-M.; CHIU, A. S. F. Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan, South Korea - from spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis. **Journal of Environmental Management**, v. 87, n. 1, p. 1-13, 2008.
- 189 PARK, H-S.; WON, J-Y. Ulsan eco-industrial park. Challenges and opportunities. **Journal of Industrial Ecology**, v. 11, n. 3, p. 11-13, 2007.

(continua ...)

(... continuação)

- 190 PARK, J.; SARKIS, J.; WU, Z. Creating integrated business and environmental value within the context of China's circular economy and ecological modernization. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 15, p. 1494-1501, 2010.
- 191 PARTO, S. Industrial ecology and regionalization of economic governance: an opportunity to 'localize' sustainability? **Business Strategy and the Environment**, v. 9, n. 5, p. 339-350, 2000.
- 192 PEARCE, J. M. Industrial symbiosis of very large-scale photovoltaic manufacturing. **Renewable Energy**, v. 33, n. 5, p. 1101-1108, 2008.
- 193 PECK, S. When is an eco-industrial park not an eco-industrial park? **Journal of Industrial Ecology**, v. 5, n. 3, p. 3-5, 2002.
- 194 POSCH, A. Industrial recycling networks as starting points for broader sustainability-oriented cooperation? **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 2, p. 242-257, 2010.
- 195 POSCH, A.; AGARWAL, A.; STRACHAN, P. Editorial: Managing industrial symbiosis (IS) networks. **Business Strategy and the Environment**, v. 20, n. 7, p. 421-427, 2011.
- 196 REJESKI, D. Mars, materials, and three morality plays: materials flows and environmental policy. **Journal of Industrial Ecology**, v. 1, n. 4, p. 13-18, 1998.
- 197 RENIERS, G.; DULLAERT, W.; VISSER, L. Empirically based development of a framework for advancing and stimulating collaboration in the chemical industry (ASC): creating sustainable chemical industrial parks. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 16, p. 1587-1597, 2010.
- 198 REUTER, M. A. The simulation of industrial ecosystems. **Minerals Engineering**, v. 11, n. 10, p. 891-918, 1998.
- 199 ROBERTS, B. H. The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 997-1010, 2004.
- 200 ROBERTS, P. Wealth from waste: local and regional economic development and the environment. **The Geographical Journal**, v. 170, n. 2, p. 126-134, 2004.
- 201 ROMERO, E.; RUIZ, M. C. Framework for applying a complex adaptive system approach to model the operation of eco-industrial parks. **Journal of Industrial Ecology**, v. 17, n. 5, p. 731-741, 2013.
- 202 ROMERO, E.; RUIZ, M. C. Proposal of an agent-based analytical model to convert industrial areas in industrial eco-systems. **Science of the Total Environment**, v. 468, p. 394-405, 2014.
- 203 ROTH, L.; EKLUND, M. Environmental evaluation of reuse of by-products as road construction materials in Sweden. **Waste Management**, v. 23, n. 2, p. 107-116, 2003.
- 204 RUTH, M. Dynamic modeling of industrial ecosystems. **Journal of Industrial Ecology**, v. 13, n. 6, p. 839-842, 2009.
- 205 RUTH, M. Mensch and Mesh. Perspectives on Industrial Ecology. **Journal of Industrial Ecology**, v. 2, n. 2, p. 13-22, 1998.

(continua ...)

(... continuaçao)

- 206 SAGAR, A. D.; FROSCH, R. A. A perspective on industrial ecology and its application to a metals-industry ecosystem. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1, p. 39-45, 1997.
- 207 SAKR, D.; BAAS, L.; EL-HAGGAR, S.; HUISINGH, D. Critical success and limiting factors for eco-industrial parks: global trends and Egyptian context. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 11, p. 1158-1169, 2011.
- 208 SALMI, O.; HUKKINEN, J.; HEINO, J.; PAJUNEN, N.; WIERINK, M. Governing the interplay between industrial ecosystems and environmental regulation. Heavy industries in the Gulf of Bothnia in Finland and Sweden. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. 1, p. 119-128, 2011.
- 209 SALMI, O.; TOPPINEN, A. Embedding Science in Politics. "Complex utilization" and industrial ecology as models of natural resource use. **Journal of Industrial Ecology**, v. 11, n. 3, p. 93-111, 2007.
- 210 SARKIS, J.; RASHEED, A. Greening the manufacturing function. **Business Horizons**, v. 38, n. 5, p. 17-27, 1995.
- 211 SCHEEL, C.; VAZQUEZ, M. The role of innovation and technology in industrial ecology systems for the sustainable development of emerging regions. **Journal of Sustainable Development**, v. 4, n. 6, p. 197-210, 2011.
- 212 SCHWARZ, E. J.; STEININGER, K. W. Implementing nature's lesson: the industrial recycling network enhancing regional development. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 1, p. 47-56, 1997.
- 213 SENDRA, C.; GABARRELL, X.; VICENT, T. Material flow analysis adapted to an industrial area. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 17, p. 1706-1715, 2007.
- 214 SEURING, S. Industrial ecology, life cycles, supply chains: differences and interrelations. **Business Strategy and the Environment**, v. 13, n. 5, p. 306-319, 2004.
- 215 SHARMA, S.; HENRIQUES, I. Stakeholder influences on sustainability practices in the Canadian forest products industry. **Strategic Management Journal**, v. 26, n. 2, p. 159-180, 2005.
- 216 SHI, H.; CHERTOW, M.; SONG, Y. Developing country experience with eco-industrial park: a case study of the Tianjin Economic-Technological Development Area in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 3, p. 191-199, 2010.
- 217 SHI, H.; TIAN, J.; CHEN, L. China's quest for eco-industrial parks, Part I. History and distinctiveness. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. 1, p. 8-10, 2012.
- 218 SHI, H.; TIAN, J.; CHEN, L. China's quest for eco-industrial parks, Part II. Reflections on a decade of exploration. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. 3, p. 290-292, 2012.
- 219 SHI, X.; YANG, J.; WANG, R.; ZHAO, L. An approach for analysing resources metabolism of industrial ecosystems. **Acta Ecologica Sinica**, v. 32, n. 7, p. 2012-2024, 2012.
- 220 SIMBOLI, A.; TADDEO, R.; MORGANTE, A. Analysing the development of industrial symbiosis in a motorcycle local industrial network: the role of contextual factors. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 372-383, 2014.

(continua ...)

(... continuaç&ao)

- 221 SINGH, A.; LOU, H. H. Hierarchical Pareto optimization for the sustainable development of industrial ecosystems. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 45, n. 9, p. 3265-3279, 2006.
- 222 SINGH, A.; LOU, H. H.; YAWS, C. L.; HOPPER, J. R.; PIKE, R. W. Environmental impact assessment of different design schemes of an industrial ecosystem. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 51, n. 2, p. 294-313, 2007.
- 223 SINGHAL, S.; KAPUR, A. Industrial estate planning and management in India – an integrated approach towards industrial ecology. **Journal of Environmental Management**, v. 66, n. 1, p. 19-29, 2002.
- 224 SOKKA, L.; LEHTORANTA, S.; NISSINEN, A.; MELANEN, M. Analyzing the environmental benefits of industrial symbiosis. Life cycle assessment applied to a Finnish forest industry complex. **Journal of Industrial Ecology**, v. 15, n. 1, p. 137-155, 2010.
- 225 SOKKA, L.; PAKARINEN, S.; MELANEN, M. Industrial symbiosis contributing to more sustainable energy use – an example from the forest industry in Kymenlaakso, Finland. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 4, p. 285-293, 2011.
- 226 SPEKKINK, W. Institutional capacity building for industrial symbiosis in the Canal Zone of Zeeland in the Netherlands: a process analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 52, p. 342-355, 2013.
- 227 STARFELT, F.; YAN, J. Case study of energy systems with gas turbine cogeneration technology for an eco-industrial park. **International Journal of Energy Research**, v. 32, n. 12, p. 1128-1135, 2008.
- 228 STERR, T.; OTT, T. 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**, v. 12, n. 8, p. 947-965, 2004.
- 229 STIJEPOVIC, M. Z.; LINKE, P. Optimal waste heat recovery and reuse in industrial zones. **Energy**, v. 36, n. 7, p. 4019-4031, 2011.
- 230 STIJEPOVIC, V. Z.; LINKE, P.; STIJEPOVIC, M. Z.; KIJEVCANIN, M. LJ.; SERBANOVIĆ, S. Targeting and design of industrial zone waste heat reuse for combined heat and power generation. **Energy**, v. 47, n. 1, p. 302-313, 2012.
- 231 SU, B.; HESHMATI, A.; GENG, Y.; YU, X. A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 215-227, 2013.
- 232 SUBHADRA, B. G. Macro-level integrated renewable energy production schemes for sustainable development. **Energy Policy**, v. 39, n. 4, p. 2193-2196, 2011.
- 233 TADDEO, R.; SIMBOLI, A.; MORGANTE, A. Implementing eco-industrial parks in existing clusters. Findings from a historical Italian chemical site. **Journal of Cleaner Production**, v. 33, p. 22-29, 2012.
- 234 TAN, R. R. From process integration to eco-industrial systems. Biological analogs and the road to sustainability. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 10, n. 1, p. 15-16, 2008.
- 235 TAN, R. R.; AVISO, K. B.; CRUZ JR., J. B.; CULABA, A. B. A note on an extended fuzzy bi-level optimization approach for water exchange in eco-industrial parks with hub topology. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 89, n. 2, p. 106-111, 2011.

(continua ...)

(... continuaçāo)

- 236 TASKHIRI, M. S.; TAN, R. R.; CHIU, A. S. F. Energy-based fuzzy optimization approach for water reuse in an eco-industrial park. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 7, p. 730-737, 2011.
- 237 TIAN, J.; LIU, W.; LAI, B.; LI, X.; CHEN, L. Study of the performance of eco-industrial park development in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 486-494, 2014.
- 238 TIAN, J.; SHI, H.; CHEN, Y.; CHEN, L. Assessment of industrial metabolisms of sulfur in a Chinese fine chemical industrial park. **Journal of Cleaner Production**, v. 32, p. 262-272, 2012.
- 239 TIBBS, H. Industrial Ecology – an agenda for environmental management. **Pollution Prevention Review**, v. 2, n. 2, p. 167-180, 1992.
- 240 TIEJUN, D. Two quantitative indices for the planning and evaluation of eco-industrial parks. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 7, p. 442-448, 2010.
- 241 TILLEY, D. R. Industrial ecology and ecological engineering. Opportunities for symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 7, n. 2, p. 13-32, 2003.
- 242 TING, G. Researches of development strategies and guarantee mechanism of energy saving and emission reduction on paper-making enterprises-case study of Shandong Haiyun High-Efficiency Ecological Park. **Energy Procedia**, v. 5, p. 674-678, 2011.
- 243 TONG, L.; LIU, X.; LIU, X.; YUAN, Z.; ZHANG, Q. Life cycle assessment of water reuse systems in an industrial park. **Journal of Environmental Management**, v. 129, p. 471-478, 2013.
- 244 TONN, B.; FRYMIER, P. D.; STIEFEL, D.; SKINNER, L. S.; SURAWEEERA, N.; TUCK, R. Toward an infinitely reusable, recyclable, and renewable industrial ecosystem. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 392-406, 2014.
- 245 TSVETKOVA, A.; GUSTAFSSON, M. Business model for industrial ecosystem: a modular approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 29, p. 246-254, 2012.
- 246 TUDOR, T.; ADAM, E.; BATES, M. Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): a literature review. **Ecological Economics**, v. 61, n. 2, p. 199-207, 2007.
- 247 VALERO, A.; USÓN, S.; TORRES, C.; VALERO, A.; AGUDELO, A.; COSTA, J. Thermo-economic tools for the analysis of eco-industrial parks. **Energy**, v. 62, p. 62-72, 2013.
- 248 VAN BEERS, D.; CORDER, G. D.; BOSSILKOV, A.; VAN BERKEL, R. Regional synergies in the Australian minerals industry: case-studies and enabling tools. **Minerals Engineering**, v. 20, n. 9, p. 830-841, 2007.
- 249 VAN BEERS, D.; CORDER, G.; BOSSILKOV, A.; VAN BERKEL, R. Industrial symbiosis in the Australian minerals industry. The case of Kwinana and Gladstone. **Journal of Industrial Ecology**, v. 11, n. 1, p. 55-72, 2007.
- 250 VAN BERKEL, R. Comparability of industrial symbioses. **Journal of Industrial Ecology**, v. 13, n. 4, p. 483-486, 2009.
- 251 VAN BERKEL, R. Quantifying sustainability benefits of industrial symbioses. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 3, p. 371-373, 2010.

(continua ...)

(... continuaçāo)

- 252 VAN LEEUWEN, M. G.; VERMEULEN, W. J. V.; GLASBERGEN, P. Planning eco-industrial parks: an analysis of Dutch planning methods. ***Business Strategy and the Environment***, v. 12, n. 3, p. 147-162, 2003.
- 253 VARGA, M.; KUEHR, R. Integrative approaches towards Zero Emissions regional planning: synergies of concepts. ***Journal of Cleaner Production***, v. 15, n. 13, p. 1373-1381, 2007.
- 254 VEIGA, L. B. E.; MAGRINI, A. Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development. ***Journal of Cleaner Production***, v. 17, n. 7, p. 653-661, 2009.
- 255 VON MALMBORG, F. Networking for knowledge transfer: towards an understanding of local authority roles in regional industrial ecosystem management. ***Business Strategy and the Environment***, v. 13, n. 5, p. 334-346, 2004.
- 256 WALLNER, H. P. Towards sustainable development of industry: networking, complexity and eco-industrial clusters. ***Journal of Cleaner Production***, v. 7, p. 49-58, 1999.
- 257 WANG, G.; FENG, X.; CHU, K. H. A novel approach for stability analysis of industrial symbiosis systems. ***Journal of Cleaner Production***, v. 39, p. 9-16, 2013.
- 258 WANG, L.; NI, W.; LI, Z. Emergy evaluation of combined heat and power plant eco-industrial park (CHP plant EIP). ***Resources, Conservation and Recycling***, v. 48, n. 1, p. 56-70, 2006.
- 259 WANG, L.; ZHANG, J.; NI, W. Emergy evaluation of eco-industrial park with power plant. ***Ecological Modelling***, v. 189, n. 1, p. 233-240, 2005.
- 260 WATKINS, G.; HUSGAFVEL, R.; PAJUNEN, N.; DAHL, O.; HEISKANEN, K. Overcoming institutional barriers in the development of novel process industry residue based symbiosis products – Case study at the EU level. ***Mineral Engineering***, v. 41, p. 31-40, 2013.
- 261 WELLS, P.; ZAPATA, C. Renewable eco-industrial development. A new frontier for industrial ecology? ***Journal of Industrial Ecology***, v. 16, n. 5, p. 665-668, 2012.
- 262 WENBO, L. Comprehensive evaluation research on circular economic performance of eco-industrial parks. ***Energy Procedia***, v. 5, p. 1682-1688, 2011.
- 263 WOLF, A.; EKLUND, M.; SÖDERSTRÖM, M. Developing integration in a local industrial ecosystem – an explorative approach. ***Business Strategy and the Environment***, v. 16, n. 6, p. 442-455, 2007.
- 264 WRIGHT, R. A.; CÔTÉ, R. P.; DUFFY, J.; BRAZNER, J. Diversity and connectance in an industrial context. The case of Burnside Industrial Park. ***Journal of Industrial Ecology***, v. 13, n. 4, p. 551-564, 2009.
- 265 XIAO, Z.; ZHOU, G.; WANG, B. Using modified Barabási and Albert model to study the complex logistic network in eco-industrial systems. ***International Journal of Production Economics***, v. 140, n. 1, p. 295-304, 2012.
- 266 XU, H-B.; ZHANG, Y.; LI, Z-H.; ZHENG, S-L.; WANG, Z-K.; QI, T.; LI, H-Q. Development of a new cleaner production process for producing chromic oxide from chromite ore. ***Journal of Cleaner Production***, v. 14, n. 2, p. 211-219, 2006.

(continua ...)

(... continuaç&ao)

- 267 XUE, D.; LI, Y.; SHEN, J.; HU, S. Synthesis of eco-industrial system considering environmental value using adaptive simulated annealing genetic algorithms. **Computer Aided Chemical Engineering**, v. 15, p. 654-659, 2003.
- 268 YAN, L.; JIANLAN, R. An industrial path study on the development of recycle economy – a case study of Shandong Province. **Energy Procedia**, v. 5, p. 90-94, 2011.
- 269 YANG, P. P-J.; LAY, O. B. Applying ecosystem concepts to the planning of industrial areas: a case study of Singapore's Jurong Island. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 1011-1023, 2004.
- 270 YANG, S.; FENG, N. A case study of industrial symbiosis: Nanning Sugar Co.; Ltd. in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52, n. 5, p. 813-820, 2008.
- 271 YU, C.; DAVIS, C.; DIJKEMA, G. P. J. Understanding the evolution of industrial symbiosis research. A Bibliometric and network analysis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 18, n. 2, p. 280-293, 2014.
- 272 YU, C.; JONG, M.; DIJKEMA, G. P. J. Process analysis of eco-industrial park development – the case of Tianjin, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 464-477, 2014.
- 273 ZENG, Y.; XIAO, R.; LI, X. Vulnerability analysis of symbiosis networks of industrial ecology parks. **Procedia Computer Science**, v. 17, p. 965-972, 2013.
- 274 ZHANG, H.; HARA, K.; YABAR, H.; YAMAGUCHI, Y.; UWASU, M.; MORIOKA, T. Comparative analysis of socio-economic and environmental performances for Chinese EIPSs: case studies in Baotou, Suzhou, and Shanghai. **Sustainability Science**, v. 4, p. 263-279, 2009.
- 275 ZHANG, L.; YUAN, Z.; BI, J.; ZHANG, B.; LIU, B. Eco-industrial parks: national pilot practices in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 5, p. 504-509, 2010.
- 276 ZHANG, Y.; ZHENG, H.; CHEN, B.; YANG, N. Social network analysis and network connectedness analysis for industrial symbiotic systems: model development and case study. **Frontiers of Earth Science**, v. 7, n. 2, p. 169-181, 2013.
- 277 ZHANG, Y.; ZHENG, H.; YANG, Z.; LIU, G.; SU, M. Analysis of the industrial metabolic processes for sulfur in the Lubei (Shandong Province, China) eco-industrial park. **Journal of Cleaner Production**, p. 1-13, 2014.
- 278 ZHENG, H. M.; ZHANG, Y.; YANG, N. J. Evaluation of an eco-industrial park based on a social network analysis. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 1624-1629, 2012.
- 279 ZHOU, L.; HU, S-Y.; LI, Y.; JIN, Y.; ZHANG, X. Modeling and optimization of a coal-chemical eco-industrial system in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. 1, p. 105-118, 2012.
- 280 ZHU, J.; RUTH, M. Exploring the resilience of industrial ecosystems. **Journal of Environmental Management**, v. 122, p. 65-75, 2013.
- 281 ZHU, J.; RUTH, M. The development of regional collaboration for resource efficiency: a network perspective on industrial symbiosis. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 44, p. 37-46, 2014.

(continua ...)

(... continuação)

282 ZHU, L.; ZHOU, J.; CUI, Z.; LIU, L. A method for controlling enterprises access to an eco-industrial park. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 20, p. 4817-4825, 2010.

283 ZHU, Q.; CÔTÉ, R. P. Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 1025-1035, 2004.

284 ZHU, Q.; LOWE, E. A.; WEI, Y-A.; BARNES, D. Industrial symbiosis in China. A case study of the Guitang Group. **Journal of Industrial Ecology**, v. 11, n. 1, p. 31-42, 2007.

(conclusão)

Fonte: Elaborado pelo autor.

ANEXO B – COLEÇÃO II DE TRABALHOS CIENTÍFICOS (PUBLICAÇÃO BRASILEIRA)

CÓDIGO	REFERÊNCIA
01	AGUIAR, R. C. A. Estudos para subsidiar a implantação de um parque industrial ecológico no município de Maracanaú-CE. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2012.
02	CASTELLO BRANCO, R. C. Pólo industrial ecológico de Manaus: uma proposta para o alcance da sustentabilidade. 2009. 216 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.
03	COSTA, M. M. Princípios de Ecologia Industrial aplicados à sustentabilidade ambiental e aos sistemas de produção de aço. 2002. 257 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
04	DALBELO, T. S. Por uma indústria mais sustentável: da ecologia à arquitetura. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.
05	FELICIO, M. C. Proposta de um indicador para monitorar a evolução da simbiose industrial em parques eco-industriais segundo a perspectiva de sistemas dinâmicos. 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
06	FRAGOMENI, A. L. M. "Parques industriais ecológicos" como instrumento de planejamento e gestão ambiental cooperativa. 2005. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
07	MARINHO, M. B. Novas relações sistema produtivo/meio ambiente – do controle à prevenção da poluição. 2001. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001.
08	MARQUEZ JR., R. O. P. O macroambiente de emergência dos ecossistemas industriais: proposição de estrutura analítica e aplicação para o caso brasileiro. 2014. 144 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Instituto de Economia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
09	NEVES, S. F. Ecoeficiência produtiva: uma análise do metabolismo do Pólo Industrial de Manaus. 2013. 196 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
10	PACHECO, J. M. Ecossistemas industriais: proposição de estrutura analítica e avaliação do complexo sucroalcooleiro do Triângulo Mineiro. 2013. 212 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Instituto de Economia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.
11	QUEIROZ, E. F. Melhoria de processos pelo levantamento de indicadores ambientais via software. 2007. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

(continua ...)

(... continuação)

- | | |
|----|---|
| 12 | ROCHA, L. K. A simbiose industrial aplicada na interrelação de empresas e seus stakeholders na cadeia produtiva metal-mecânica na Bacia do Rio dos Sinos. 2010. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010. |
| 13 | SANTOLIN, B. R. Aglomerações industriais sob a ótica da sustentabilidade. 2014. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. |
| 14 | TANIMOTO, A. H. Proposta de simbiose industrial para minimizar os resíduos sólidos no pólo petroquímico de Camaçari. 2004. 167 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004. |
| 15 | TREVISAN, M. A Ecologia Industrial e as teorias de sistemas, institucional e da dependência de recursos a partir dos atores de um parque tecnológico. 2013. 231 f. Tese (Doutorado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. |
| 16 | VEIGA, L. B. E. Diretrizes para a implementação de um parque industrial ecológico: uma proposta para o PIE de Paracambi, RJ. 2007. 217 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. |

(conclusão)

Fonte: Elaborado pelo autor.