

ECOLOGIA INDUSTRIAL: ASPECTOS DE UMA JORNADA NECESSÁRIA

1 INTRODUÇÃO

A partir dos anos 2000, os estudos que relacionam a economia e os impactos ao meio ambiente passaram a pautar a relevância de integrar os meios de produção e suas práticas às discussões sobre os impactos na natureza. Com o avanço dos debates, a necessidade dessa integração nas tomadas de decisões e moldaram de forma positiva as práticas de mercado.

A magnitude do potencial de influência dessas atividades foi subestimada pelo mundo dos negócios (Graedel; Allenby, 1995). Nesse contexto, surge a Ecologia Industrial (EI), uma nova abordagem empresarial que busca mitigar os impactos negativos decorrentes das atividades industriais causados ao meio ambiente. O objetivo deste ensaio é tratar da ecologia industrial apresentando a evolução do termo e evidenciando a relação com a economia circular.

2 FUNDAMENTAÇÃO E DISCUSSÃO

2.1 Ecologia Industrial

A Ecologia Industrial surge oficialmente como campo de estudo em 1991 por ocasião de seu reconhecimento pela National Academy of Sciences, decorrente dos trabalhos apresentados no colóquio realizado em maio de 1991 em Washington/DC. Desde então, os estudos relacionados à EI vêm sendo explorados por um conjunto diversificado de pesquisadores de diversas áreas, mas, ainda assim, relacionadas ao ambiente industrial de negócios, cujo objetivo é modificar os sistemas de produção e consumo secularmente vigentes (Checchin *et al.* 2021; Keitsch; Korhonen, 2006; Korhonen, 2004; Graedel, 1996; Lowe, 1993; Jelinski *et al.*, 1992; Frosch; Gallopoulos, 1989).

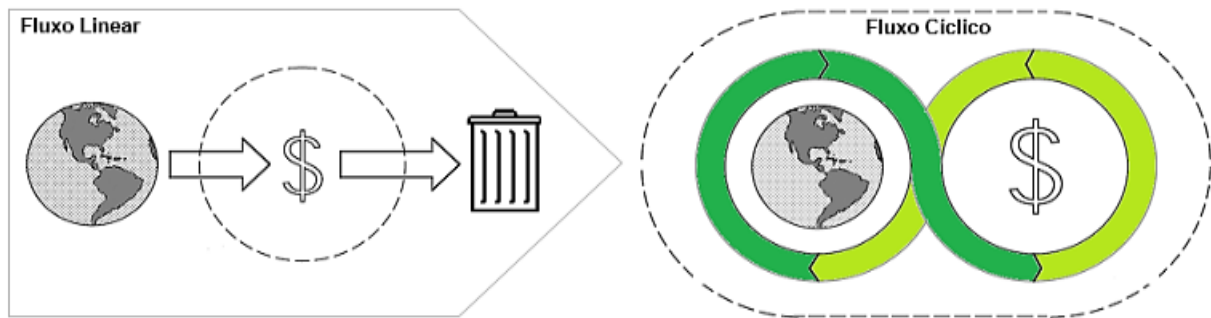
No livro *Industrial Ecology* de Thomas E. Graedel e Braden R. Allenby de 1995 primeiro livro a respeito do tema a Ecologia Industrial “é o meio pelo qual a humanidade pode deliberada e racionalmente se aproximar e manter uma capacidade de suporte desejável, dada a contínua evolução econômica, cultural e tecnológica”. (Graedel; Allenby, 1995, p. 9, tradução nossa).

Em múltiplas lentes teóricas, há alinhamento conceitual quanto ao desenvolvimento de fluxos de matéria e energia oriundos da remodelação dos sistemas industriais para formação dos ecossistemas industriais, com as atividades industriais interconectadas e pautadas na cooperação interorganizacional para mitigar impactos ambientais.

A Ecologia Industrial aplicada ao mundo dos negócios é tratada como uma disciplina emergente, “como uma estrutura eficaz para abordar e integrar a ampla gama de questões ambientais” (Tibbs, 1993, p. 3, tradução nossa) enfrentadas por empresas e governos.

Tibbs (1993, p. 3) defende que no contexto da Ecologia Industrial “uma mudança industrial significativa e sistêmica será inevitável se a sociedade quiser eliminar as causas profundas dos danos ambientais” (Tibbs, 1993, p. 3, tradução nossa), questionando o “sistema” linear industrial hegemônico mais caracterizado como uma coleção de fluxos lineares, baseados na extração e processamento de materiais e energia fóssil da natureza para geração de valor econômico e descarte de resíduos no meio ambiente (Figura 1).

Figura 1 - Padrão de fluxo de materiais e geração de valor econômico e esquema de transição do sistema linear para o cíclico



Fonte: Adaptado de Tibbs (1993).

Na Figura 1 a linha pontilhada reflete o domínio de Mercado presente em ambos os fluxos e registra a manutenção da geração de valor econômico mesmo na transição para o Fluxo Industrial Cíclico, baseado em princípios ecológicos, que se realiza e retorna periodicamente com custos ambientais internalizados. Para Tibbs (1993, p. 5) “essa ‘economia cíclica’ não seria limitada em termos da atividade econômica e do crescimento que poderia gerar, mas seria limitada em termos de entrada de novos materiais e energia de que necessitava”. Assim, não há razão para a não circularidade da economia em nível global, sendo que esta atende o interesse de todas as partes.

Alguns termos de outras áreas do conhecimento são fundamentais para o entendimento e a aplicação prática da Ecologia Industrial, como o termo Metabolismo Industrial, formulado em 1988, e que se refere à investigação dos “fluxos de materiais e energia tanto dentro da indústria quanto entre a indústria e o ambiente natural” (Durney, 2004, p. 7, tradução nossa). Ayres (1989, p. 1, tradução nossa) explica que usar a matéria e a energia no atual sistema econômico “apresenta certos paralelos com o uso de matéria e energia por organismos biológicos e ecossistemas”. O estudo individual da totalidade dos fluxos de materiais e energia de cada indústria (Metabolismo Industrial) é um meio para se alcançar a Ecologia Industrial. Esse processo envolve, como explicam Graedel e Allenby (1995), os fabricantes, fornecedores e outras fábricas clientes.

Já os Ecossistemas Industriais consagra o “nível de organização da natureza” (Fornari, 2001, p. 89). No contexto da EI Frosch e Gallopoulos (1989, p. 144) defendem que o “ecossistema industrial funcionaria como um análogo dos ecossistemas biológicos”.

Outro termo incorporado à EI é Simbiose Industrial, que é a parte da EI que se ocupa da relação sinérgica entre empresas conectadas e que se influenciam mutuamente, numa abordagem coletiva para vantagem competitiva (Chertow, 2000).

Já o termo Resiliência no contexto da EI se refere à “evolução tecnológica dentro de restrições ambientais” (Graedel; Allenby, 1995, p. 68). Isso porque pode-se comparar a resiliência dos ecossistemas biológicos ao ecossistema industrial, que “tende a ser dominado por uma evolução rápida, em vez de resiliente” (Graedel, 1996, p. 85).

2.2 Evolução da Ecologia Industrial

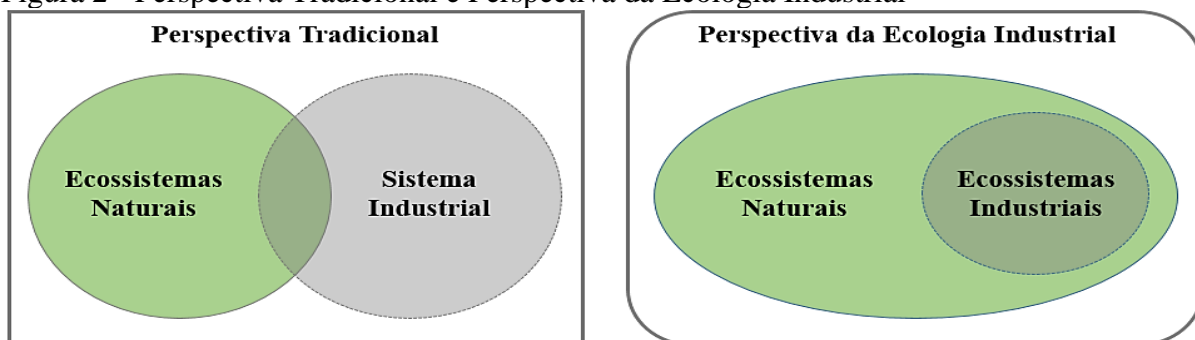
A Ecologia Industrial foi construída gradativamente e adotou termos de outras áreas do conhecimento. Isenmann (2003b) relata que a EI pode ser compreendida por meio de cinco características principais: (i) **Perspectiva**: ter a natureza como modelo; (ii) **Objetivo**: promover equilíbrio e integração entre os sistemas naturais e industriais; (iii) **Definição de trabalho**: ciência da sustentabilidade; (iv) **Objetos de trabalho**: produtos, processos, serviços e resíduos; (v) **Ideia central**: busca pelo entrelaçamento de sistemas.

Sob a perspectiva da eficiência dos recursos baseada na imitação da natureza, os autores seminais Frosch e Gallopoulos (1989) constroem argumento pautado em: (I) reúso de resíduos

industriais; (II) eficiência na produção e utilização energética; e (III) desenvolvimento de um sistema industrial sustentável, sendo considerada uma mudança pioneira por Isenmann (2003a, p. 27) “a perspectiva da ecologia industrial indica uma mudança importante na interpretação da natureza, do interesse em intervir ou preservar a natureza para uma orientação pela natureza, da compreensão da natureza como um objeto para a compreensão da natureza como um modelo”.

Para Graedel e Allenby (1995, p. 9) na EI “um sistema industrial não pode ser visto isoladamente de seus sistemas circundantes”. Chertow e Portlock (2002) apresentam um modelo de estrutura conceitual com duas perspectivas distintas. Na primeira há uma relação paralela e de baixa integração. Na segunda, o Sistema Industrial se constitui como um subsistema do Sistema Natural e integrado (Figura 2).

Figura 2 - Perspectiva Tradicional e Perspectiva da Ecologia Industrial



Fonte: Adaptado de Chertow e Portlock (2002).

As perspectivas estão representadas no Diagrama de Venn, que é uma representação gráfica de conjuntos. Na Perspectiva Tradicional existe uma relação de intersecção entre os Eossistemas Naturais e unidades “isoladas” de um Sistema Industrial num contexto de baixa conexão, considerado aqui pelo retângulo de quatro ângulos retos, em outro contexto está simbolizada por cantos arredondados. Nesta perspectiva, ocorreria uma relação de inclusão, o conjunto de Eossistemas Industriais é visto como um subconjunto dos Eossistemas Naturais, significando a Perspectiva da Ecologia Industrial, estando as organizações interconectadas em redes colaborativas (Côte; Smolenaars, 1997; Korhonen, 2004). Portanto, “passamos a chamar essas redes de Eossistemas Industriais porque, como Eossistemas da Natureza, eles envolvem uma teia de conexões baseadas na circularidade e uso adaptativo de energia e materiais” (Chertow; Portlock, 2002, p. 9, tradução nossa), pois conforme explicam Graedel e Allenby, “nenhuma empresa existe no vácuo” (1995, p. 8, tradução nossa).

A Economia Circular é um guarda-chuva que abriga a Ecologia Industrial, e este por sua vez abriga os Ecoparques Industriais. Desta forma, em qualquer estágio que se apresentem, a Economia Circular e os Ecoparques Industriais são importantes estratégias para um desenvolvimento industrial mais sustentável e de baixo carbono.

“A ideia da economia circular (EC) é, em certo sentido, a aplicação da metáfora fundamental da ecologia industrial a toda uma economia” (Graedel; Allenby, 2010, p. 348). Os Parques Ecoindustriais ou Ecoparques Industriais se caracterizam pela formação de comunidades industriais colaborativas buscando alcançar maiores eficiências ambientais e econômicas mútuas, promovendo assim, sinergias por meio dos fluxos energéticos e de materiais denominada Simbiose Industrial, corroborando o conceito de ecossistema industrial preconizado pela Ecologia Industrial, que objetiva a reestruturação dos sistemas industriais em ecossistemas industriais baseados em ecossistemas biológicos (Graedel; Allenby, 1995, 2010).

No relatório “*Eco-Innovation in Industry: enabling green growth*” da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) em 2009, a EI como “é uma estrutura para projetar e operar atividades industriais em harmonia com os sistemas ecológicos por meio de

extensa aplicação de produção em circuito fechado além do limite de uma única empresa” (OECD, 2009b, p. 272), relacionando a Ecologia Industrial proposta por Frosch e Gallopoulos (1989) com a Ecoinovação discutida por Kemp e Pearson (2007).

Inicialmente, a Ecoinovação se referia a novos produtos e processos com geração de valor ao cliente e ao negócio, concatenados à redução significativa dos impactos ambientais. Com a discussão do Desenvolvimento Sustentável, o conceito passou a integrar os aspectos sociais e institucionais, tornando-se motor da manufatura sustentável (OECD, 2009b).

Segundo a OECD (2009 b), as relações conceituais entre Ecoinovação e Ecologia Industrial podem ser explicadas por meio das etapas evolutivas da manufatura sustentável, que relacionam as metas de inovação aos seus mecanismos, cuja natureza pode ou não ser tecnológica. O plano se inicia com o controle da poluição por meio da modificação de produtos e processos e das iniciativas de produção mais limpa. Na sequência, porém, as melhorias ambientais mais significativas estariam associadas às iniciativas de manufatura sustentáveis mais avançadas a médio e longo prazos, apontando para uma mudança sistêmica, incluindo o desenvolvimento tecnológico, estruturas institucionais e valores sociais.

Na Agenda 2030 das Nações Unidas as metas que compõem o ODS 9 tratam da construção de infraestruturas resilientes, promoção da industrialização inclusiva e sustentável e fomento à inovação, desta forma, entende-se que a Ecoinovação para o estabelecimento de Ecoparques industriais pode contribuir significativamente para enfrentar a escassez de recursos. Em complemento, as metas do ODS 12 estão orientadas para a produção e o consumo sustentáveis, assim as práticas de economia circular podem contribuir para reduzir a geração de resíduos e manejo sustentável dos produtos ao longo da cadeia produtiva como preconizam as metas desse ODS.

3 CONCLUSÃO

Nesse trabalho observa-se que há interesse crescente por estudos que entendem a produção industrial de forma associada aos impactos na natureza. Essa realidade requer abordagens que reduzam os problemas ambientais decorrentes da exploração dos recursos naturais e a produção em massa, a fim de encontrar alternativas às práticas danosas ao meio ambiente.

A Ecologia Industrial é um campo de estudos que, inserida no contexto da Economia Circular, apresenta alternativas a problemas complexos ao priorizar a formação de novos ecossistemas industriais. Isso é possível e eficaz ao se repensar as atividades da indústria, pois essas seriam interconectadas com o objetivo comum de mitigar e reduzir impactos ambientais negativos. A EI propõe a criação de estruturas novas em vez de sugerir alternativas aos modelos de negócio na produção em ciclo fechado, como mostra o OECD.

REFERÊNCIAS

AYRES, R. U. Industrial Metabolism. *In*: AYRES, R. U. *et al.* **Industrial metabolism: the environment, and application of materials-balance principles for selected chemicals.** Vienna, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis, 1989.

CHECCHIN, A. *et al.* What is in a name? The rising star of the circular economy as a resource-related concept for sustainable development. **Circular Economy and Sustainability**, [s. l.], v.1, p. 83–97, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00021-4>. Acesso em: 1 ago. 2024.

CHERTOW, M. R. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. **Annual Review of Energy and Environment**, [s. l.], v. 25, p. 313–337, 2000. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.energy.25.1.313>. Acesso em: 1 ago. 2024.

CHERTOW, M.; PORTLOCK, M. Developing Industrial Ecosystems: approaches, cases, and tools. **Yale School of Forestry & Environmental Studies Bulletin Series**, v. 106, n. 95, 2002. Disponível em: https://elischolar.library.yale.edu/yale_fes_bulletin/95. Acesso em: 13 abr. 2021.

CÔTÉ, R. P.; SMOLENAARS, T. Supporting pillars for industrial ecosystems. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 5, n. 1-2, p. 67–74, 1997.

DURNEY, A. **Industrial Metabolism**: extended definition, possible instruments and an Australian case study. Report FS II 97-404. Berlin: Science Center Berlin (WZB), 2004.

FORNARI, E. **Dicionário Prático de Ecologia**. São Paulo: Aquariana, 2001.

FRACCASCIA, L.; GIANNOCCARO, I.; ALBINO, V. Ecosystem indicators for measuring industrial symbiosis. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 183, n. 10694, p. 1–16, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2021.106944.

FRACCASCIA, L.; GIANNOCCARO, I.; ALBINO, V. Rethinking Resilience in Industrial Symbiosis: conceptualization and measurements. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 137, n. 1, p.148–162, 2017. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2017.02.026.

FROSCHE, R. A.; GALLOPOULOS, N. E. Strategies for Manufacturing. **Scientific American**, [s. l.], v. 261, n. 3, p. 144–152, 1989.

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

GRAEDEL, T. L.; ALLENBY, B. R. **Industrial Ecology and Sustainable Engineering**. EUA: Prentice Hall, 2010.

GRAEDEL, T. E. On the concept of Industrial Ecology. **Annual Reviews of Energy and the Environment**, [s. l.], v. 21, p. 69–98, 1996.

ISA. Instituto Socioambiental. **Almanaque Brasil Socioambiental 2008**: uma nova perspectiva para entender a situação do Brasil e a nossa contribuição para a crise planetária. São Paulo: ISA, 2007.

ISENMANN, R. Further Efforts to Clarify Industrial Ecology's Hidden Philosophy of Nature. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], v. 6, p. 27–48, 2003a.

ISENMANN, R. Industrial ecology: shedding more light on its perspective of understanding nature as model. **Sustainable Development**, [s. l.], v. 11, p. 143–158, 2003b.

JELINSKI, L. W. et al. Industrial Ecology: concepts and approaches. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 89, n. 3, p. 793-797, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.89.3.793>. Acesso em: 1 ago. 2024.

KEMP, R.; PEARSON, P. **Final report MEI project about Measuring Eco-Innovation**. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006). 2007. Disponível em: <https://www.oecd.org/env/consumption-innovation/43960830.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2019.

KEITSCH, M.; & KORHONEN, J. Editorial article: on the theoretical dimensions of industrial ecology. **Progress in Industrial Ecology**, [s. l.], v. 3, n. 1/2, p. 1–9, 2006.

KORHONEN, J. Theory of Industrial Ecology. **Progress in Industrial Ecology**, v.1, n. 1/2/3, p. 61–88, 2004.

KORHONEN, J. Industrial Ecology for Sustainable Development: Six Controversies in Theory Building. **Environmental Values**, [s. l.], v. 14, p. 83–112, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.3197/0963271053306096>.

KORHONEN, J. Theory of industrial ecology: The case of the concept of diversity. Progress in Industrial Ecology. **An International Journal**, [s. l.], v. 2, p. 35–72, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/PIE.2005.006782>.

LOWE, E. Industrial Ecology: an organizing framework for environmental management. **Environmental Quality Management**, [s. l.], v. 3, p. 73–85, 1993.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. **Sustainable Manufacturing and Eco-innovation**: framework, practices and measurement – Synthesis Report. Paris: OECD, 2009a.

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. **Eco-innovation in industry**: enabling green growth. Paris: OECD, 2009b.

ONU. Organização das Nações Unidas. Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 03 ago. 2024.

SAHAKIAN, M. The Social and Solidarity Economy: why is it relevant to Industrial Ecology? *In*: CLIFT, R.; DRUCKMAN, A. (ed.). **Taking Stock of Industrial Ecology**. New York: Springer, 2016.

TIBBS, H. **Industrial Ecology**: an Environmental Agenda for Industry. Emeryville, CA: Global Business Network, 1993.