

# Simbiose Industrial e a redução dos impactos ambientais dos processos produtivos: estudos realizados entre 2012 e 2017

Eduardo Herzer<sup>1</sup>

Vanusca Dalosto Jahno<sup>2</sup>

Daniela Montanari Migliavacca Osório<sup>3</sup>

Dusan Schreiber<sup>4</sup>

---

## Resumo

Os impactos ambientais oriundos de gestão inadequada dos recursos naturais junto com as mudanças climáticas vêm exigindo modelos de gestão baseados no construto de desenvolvimento sustentável, que possam qualificar os processos produtivos para atender as demandas da sociedade atual e futura. Uma forma de qualificar os sistemas produtivos que tem sido cada vez mais difundida baseia-se no conceito de simbiose, que consiste em aproximar as organizações para melhorar os fluxos de energia e material de forma a reduzir os impactos ambientais. Nesta perspectiva este estudo busca por meio de uma revisão da literatura, identificar e analisar artigos que relatam estudos de casos sobre simbiose industrial no âmbito internacional. Os resultados apontam que a simbiose industrial vem sendo aplicada para gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos em diferentes setores produtivos, além de contribuir para modelos de gestão urbana, agricultura familiar e construção civil. Nota-se também que a China é o país que mais desenvolveu estudos sobre o assunto, enquanto no Brasil nenhum estudo com essa abordagem foi encontrado.

**Palavras-chave:** Ecologia Industrial. Simbiose Industrial. Desenvolvimento Sustentável. Sistemas Produtivos.

## Abstract

Environmental impacts resulting from inadequate management of natural resources along with climate change have required management models based on the sustainable development construct that can qualify productive processes to meet the demands of current and future society. One way to qualify production systems that has been increasingly widespread is based on the concept of symbiosis, which is to bring organizations closer together to improve energy and material flows so as to reduce environmental impacts. In this perspective, this study seeks, through a systematic review of the literature, to identify and analyse articles that report case studies on industrial symbiosis at the international level. The results indicate that industrial symbiosis has been applied to generate environmental, social and economic benefits in different productive sectors, besides contributing to models of urban management, family agriculture and civil construction. It is also noted that China is the country that most developed studies on the subject, while in Brazil, no study with this approach was found.

**Keywords:** Industrial Ecology. Industrial symbiosis. Sustainable development. Production Systems.

---

<sup>1</sup> Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial, Bolsista de Pós-Graduação da Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil. [duduherzer@hotmail.com](mailto:duduherzer@hotmail.com)

<sup>2</sup> Doutora em Ciências da Saúde e Medicina. Professora do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias de Materiais e Processos Industriais e do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale. [vanusca@feevale.com.br](mailto:vanusca@feevale.com.br)

<sup>3</sup> Doutora em Ecologia (UFRGS). Professora do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale. [danielaosorio@feevale.com.br](mailto:danielaosorio@feevale.com.br)

<sup>4</sup> Doutor em Administração. Professor do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental da Universidade Feevale. [dusan@feevale.com.br](mailto:dusan@feevale.com.br)

## 1 Introdução

Os impactos ambientais gerados por meio das mudanças climáticas e unidos ao esgotamento de recursos naturais demandam modelos de gestão que possuem como premissa o desenvolvimento sustentável, onde as necessidades das gerações presentes e futuras sejam atendidas de forma harmônica, fazendo com que as questões sociais, econômicas e ambientais contribuam para a qualificação dos processos produtivos devido a sua importância (CMMAD, 1991; BARBIERI, SANTOS, 2018). É notório que os sistemas produtivos sejam aperfeiçoados para atender aos requisitos do desenvolvimento sustentável, assim garantindo que as necessidades de hoje e amanhã sejam atendidas.

Para alcançar o desenvolvimento sustentável, Glavič & Lukman (2007) afirmam que os “sistemas sustentáveis” demandam mudanças dos padrões de comportamento, incorporando o consumo responsável e produção sustentável. A gestão sustentável visa integrar a saúde, segurança e o meio ambiente de forma a contribuir com uma sociedade sustentável. A produção e consumo sustentável exigem a adoção de tecnologias que reduzam o desperdício e emissão de poluentes ao meio ambiente de forma a promover a qualidade ambiental. Oliveira et al. (2015) corrobora com seu estudo onde expõe que as organizações buscam formar uma ecologia industrial através de ações de mudanças ecológicas incrementais na rede de suprimentos através a implantação de sistema de gestão ambiental, desenvolvimento de produtos ecológicos ou modificações em existentes e a logística reversa para o tratamento correto de resíduos sólidos. A ecologia industrial é uma importante premissa teórica e prática que pode auxiliar no desenvolvimento de modelos de produção sustentáveis.

O conceito de ecologia industrial surgiu na década de 1980, onde Robert Frosch & Nicholas Gallopoulos (FROSCH, 1992) publicaram um estudo onde descreviam que o ecossistema industrial deveria se assemelhar ao natural, pois neste o ciclo é fechado não existindo espaços para rejeitos. A ecologia industrial se divide em diversas áreas de atuação e pesquisa, sendo que um deles é a simbiose industrial, podendo ser considerado um importante construto para o desenvolvimento de modelos de produção sustentável (BOONS et al., 2017). A simbiose industrial vem se desenvolvendo no mundo com o intuito de reduzir impactos ambientais e melhorar resultados econômicos das atividades industriais.

O conceito de simbiose industrial se assemelha muito ao conceito de simbiose da biologia que em sentido literal significa “viver junto”, ou seja, nenhum organismo é capaz de sobreviver sem outro (ODUM & BARRETT, 2007; TOWNSEND, BEGON & HARPER, 2010). Ao analisar este conceito, constata que as relações simbióticas são características da diversidade e da vida do sistema biológico, onde um organismo depende do outro para sobreviver (CARRAPIÇO; RITA, 2009). A estratégia de simbiose industrial é utilizada para desenvolver negócios com a finalidade de diminuir o impacto ambiental em diversos países, um celebre exemplo é do município Kalundburg da Dinamarca (EHRENFELD; GERTLER, 1997). Frente a este contexto este estudo tem como objetivo analisar artigos que relatem estudos de casos sobre simbiose industrial na esfera internacional.

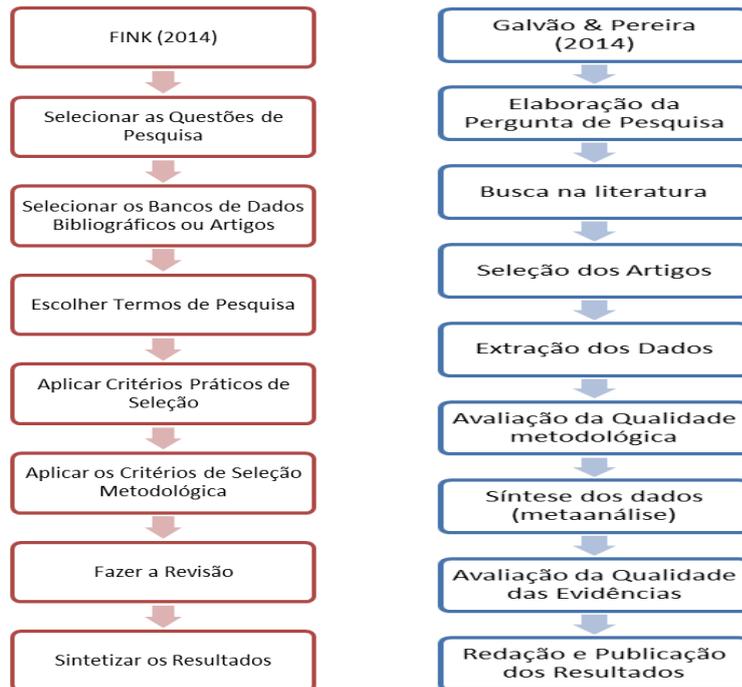
## **2 Metodologia**

A abordagem deste estudo é qualitativa com objetivo exploratório com o procedimento de pesquisa bibliográfica. A abordagem é qualitativa, fazendo uma análise subjetiva com base em leituras nos textos. Quanto ao aspecto exploratório, ele se classifica como tal pelo fato de buscar mais informações sobre um determinado assunto e a técnica de pesquisa bibliográfica por adotar publicações científicas como fontes de pesquisa (GIL, 2007; PRODANOV, 2013).

Para auxiliar a atingir os objetivos, foi adotada a metodologia de revisão sistemática da literatura a qual é um protocolo para a busca e tratamento de estudos conforme o objetivo e problemática do pesquisador. De acordo com Machi & McEvoy (2012), é necessário elaborar um protocolo apropriado para a seleção dos artigos, frente ao rápido crescimento do conhecimento científicos e tecnologias de informações. A Revisão Sistemática da literatura demanda tempo e esforço considerável para buscar, triar e tratar estudos relevantes, mas é necessário atentar que esta metodologia é uma forma de facilitar o trabalho de pesquisados por reunir conhecimentos sobre uma determinada temática (KITCHENHAM et al., 2010).

Diversos processos de revisão sistemática da literatura foram propostos por diferentes autores buscando destacar fases de planejamento, condução e demonstração dos dados evidenciados. A Figura 1 demonstra dois processos propostos por diferentes autores, onde se pode notar evidências de divergências e convergências nos processos propostos por ambos.

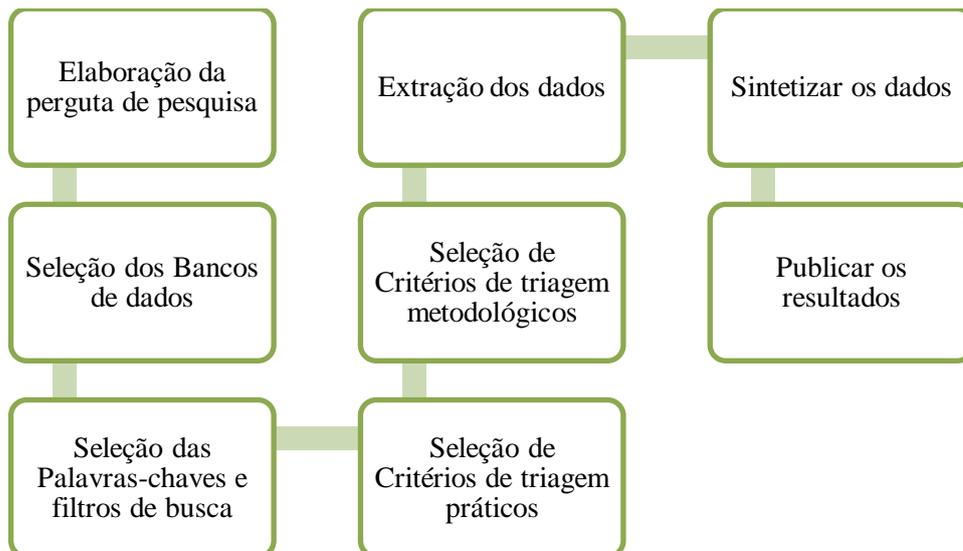
Figura 1 – Comparação de Processos de Revisão Sistemática da Literatura



Fonte: Adaptado pelos Autores de Galvão & Pereira (2014) e Fink (2014).

Com base nestes dois processos foi elaborado um novo processo de revisão sistemática pelos pesquisadores, apresentado na Figura 2, no qual se propôs uma combinação dos dois processos para atender os objetivos da pesquisa.

Figura 2 – Proposta de Processos de Revisão Sistemática da Literatura.



Fonte: Elaborado pelos Autores com base em Galvão & Pereira (2014) e Fink (2014).

A pergunta de pesquisa é o ponto de partida para uma investigação científica, que, neste estudo, é a seguinte: “o que os estudos de casos sobre simbiose industrial estão abordando no mundo?”. Com base nesta pergunta se selecionou a base de dados Scopus, por apresentar um expressivo banco de dados de citações e resumos da literatura revisada por pares, contando mais de cinco mil editoras e mecanismos inteligentes para a busca, apreciação e visualização de pesquisas, assim podendo compor um cenário genérico dos estudos realizados no mundo nas áreas diversas do conhecimento (ELSEVIER, 2018).

A palavra-chave utilizada foi “*industrial symbiosis*” e os filtros de busca aplicados foram no título, resumo e palavras-chaves entre os anos de 2012 e 2017 considerando apenas artigos. Foram adotados dois critérios de triagem sendo o primeiro deveria possuir o termo “*industrial symbiosis*” no título e resumo e o segundo que deveria possuir no título e no resumo o termo “study case”. Barbieri & Santos (2018) em sua pesquisa utilizam uma metodologia semelhante, onde no título deveria possuir a palavra-chave ou algum termo relacionado à temática da pesquisa que estavam realizando. Neste estudo não será aberto para termos relacionados, visando apenas pesquisar o termo exato definido no título e resumo.

O critério de triagem metodológico seguido foi que o periódico deveria possuir um *Journal Citation Reports* (JCR) de no mínimo três pontos de fator de impacto. Conforme a CAPES (2016), o JCR analisa dados de citação, métricas e influência de forma objetiva de um determinado periódico da literatura acadêmica. Fink (2014) descreve que essa etapa visa selecionar os estudos com melhor qualidade. A extração dos dados buscou através da leitura do resumo e artigo completo evidenciar os objetivos, aspectos metodológicos, resultados e considerações dos estudos.

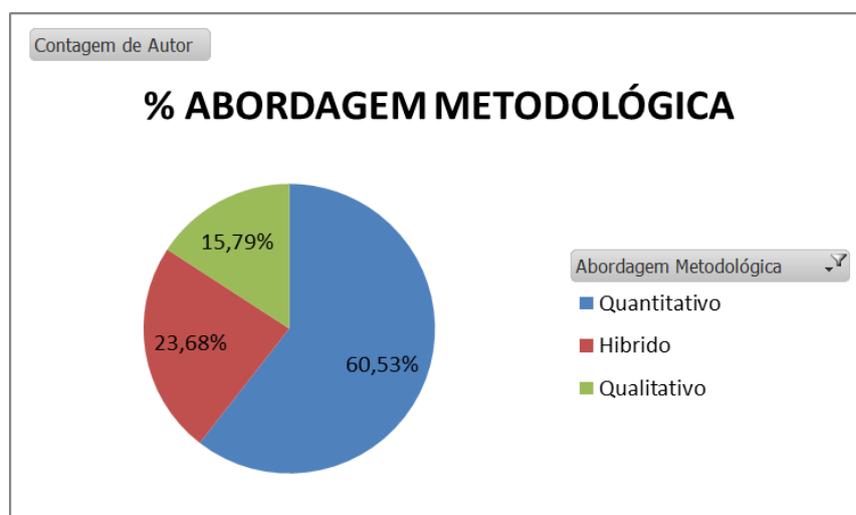
A síntese dos resultados visou compreender onde os estudos ocorreram, sobre o que falaram e como eles se inter-relacionam. Esta metodologia de pesquisa visa auxiliar na identificação de como os trabalhos se relacionam um com o outro de modo a compreender o assunto e fornecendo subsídio para direcionar estudos posteriores (BOOTH, SUTTON, PAPAIOANNOU 2016; KERN et al, 2015). Por fim a publicação dos resultados é efetuada por meio deste estudo para a comunidade acadêmica, para que possa ser subsídio para novas pesquisas. Na próxima seção serão apresentados os resultados e a análise deles de forma qualitativa.

### 3 Resultados e Discussão

A coleta dos dados na base Scopus ocorreu no dia cinco de maio de dois mil e dezoito, onde foi obtida uma amostra de trezentos e trinta e nove artigos. Destes artigos foram coletados os dados de título, resumo, ano e periódico em uma planilha eletrônica. Depois de computados os dados foram aplicados os critérios de seleção, onde foi selecionado no primeiro critério foram selecionados 275 artigos, ao aplicar o segundo critério seleção foi selecionado 76 artigos. Para aplicar o critério metodológico foram consultados os periódicos dos 76 artigos selecionados na base on-line do JCR. Após a consulta foram selecionados 38 artigos que foram submetidos a extração de dados.

Quanto aos aspectos metodológicos, constata-se que existem estudos de abordagem qualitativa, quantitativa e híbridas. A Figura 3 demonstra a distribuição dos estudos quanto a abordagem, que se constata que os estudos quantitativos compõem a maior parte da amostra.

Figura 3 – Distribuição da Abordagem Metodológica.



Fonte: Elaborado pelos Autores

Os estudos qualitativos contaram com técnicas de coletas de dados como entrevistas, observação não participante, pesquisa documental e questionários. Os dados foram analisados por meio de técnicas de análise de contexto, histórica, documental e qualitativa. Prodanov (2013) descreve que as pesquisas qualitativas não utilizam análises estatísticas e o pesquisador está em contato com o objeto de pesquisa sem a preocupação de comprovar a hipótese enquanto a

quantitativa deve-se formular hipóteses para que não comprometam o processo de análise e interpretação.

As pesquisas de abordagem quantitativa utilizam modelos matemáticos para analisar os dados numéricos coletados em documentos, literatura ou por trabalho de coleta de campo. E os de abordagem híbrida fizeram um contraste entre ambos para atingirem os objetivos utilizando as ferramentas de coleta e análise elencadas. Dresch, Lacerda & Antunes (2015) descrevem que as técnicas de coleta e análise de dados viabilizam a proposta metodológica sugerida pelo pesquisador e através da análise os dados ganham uma compreensão nas informações coletadas.

Constata-se que a maior parte dos estudos publicados foi realizada na China. Para Dong et al. (2013) o acelerado advento urbano-industrial da China trouxeram novas inquietações para o desenvolvimento sustentável, assim a simbiose industrial torna-se uma forma de responder a estes desafios. Este pode ser um dos fatores que levou ao interesse pelo tema, de acordo com Yu Han & Cui (2015a) foi na década de 1980 que os primeiros parques industriais foram constituídos em áreas costeiras ao leste, onde se impulsionaram o crescimento econômico chinês, mas por sua vez a pressão sobre o meio ambiente trouxe alguns passivos a serem reparados pelos parques industriais, assim fazendo com que o governo o Programa de Parques Eco Industriais.

Os estudos na China ocorreram com diversos objetivos e metodologias, visando compreender como a simbiose industrial auxiliaria na redução de emissões de carbono. Yu, Han & Cui (2015b) destacam que ela pode ser uma ferramenta importante na redução de emissões por buscar o uso efetivo de recursos e mitigar as emissões de carbono. Liu et al. (2012) descreve que em sua pesquisa o potencial da eficácia das estratégias aplicadas para a redução de emissões de carbono e frente ao cenário construído constata que se não haver mudanças de naturezas políticas e práticas, o cenário tende a piorar e por fim propõe a aplicação da simbiose industrial e energias renováveis para a redução das emissões de carbono.

Foram encontrados estudos utilizam uma abordagem histórica para verificar os fatores do sucesso para a evolução da simbiose industrial no tempo e espaço onde Wu, Qi & Wang (2016) demonstraram que as ligações simbióticas ao longo do tempo aumentaram significativamente, sendo que os fatores desencadeadores foram as políticas e regulamentos relacionados e não apenas o interesse entre as empresas. Outra pesquisa buscou a compreensão do papel do governo para a promoção da simbiose industrial através da simbiose industrial e foi

possível apontar que o governo tem o papel importante neste contexto através do estímulo das partes interessadas e de estabelecer padrões ambientais rigorosos, incentivos financeiros e fiscais, e orientação para uma economia circular e de projetos de eco parques industriais (YU; HAN; CUI, 2015a).

A pesquisa elaborada por Wang, Deutz & Chen (2017) buscou, por meio de uma abordagem qualitativa, entender o desenvolvimento de uma rede de coordenação de simbiose industrial na região de Tianjin Binhain, onde foi evidenciado pelos pesquisadores que a capacidade institucional e vários tipos de conhecimento cresceram, de forma a promover o vínculos relacional entre a governança as organizações para coordenar a simbiose industrial. Li et al. (2017) exploraram em seu estudo as vulnerabilidades de uma rede de simbiose industrial através do modelo de rede interdependente em Chongqing, e os resultados destas sugerem que é necessário o uso de sistemas de informações como facilitadores na redução das vulnerabilidades descobertas.

Por fim também foi encontrado um estudo no qual o que foi realizado em um parque industrial do ramo de alumínio sobre redes de simbiose industrial e economia circular. Neste estudo os pesquisadores coletaram dados através de pesquisa documental, entrevistas e questionários tendo um horizonte temporal de 10 anos no Xinfra Industrial Park, um dos maiores produtores de alumínio na China. Foi possível evidenciar a redução concomitantemente do consumo de energia e materiais devido ao metabolismo industrial criado, assim os pesquisadores postulam que economia circular criada neste caso pode ser exemplo para mais parques industriais para otimizarem os resultados econômicos e ambientais (HAN et al., 2017)

Outros autores buscaram aplicar métodos matemáticos para quantificar os benefícios da simbiose industrial (DONG et al., 2017; LI; DONG; REN, 2015; WEN; MENG, 2015; ZHE et al., 2016). Fan et al. (2017) aplicou a análise de emergia para avaliar o desempenho da simbiose industrial em Hefei por meio de uma coleta de dados em anuários estatísticos e um instrumento próprio, foi possível constar que o desenvolvimento sustentável melhorou em 33% com a aplicação da Simbiose Industrial, além de reduzir o consumo de matéria-prima e energia utilizados.

Outros países asiáticos exploraram o tema foram a Malásia e o Japão. Na Malásia o estudo teve como objetivo de desenvolver uma estrutura integrada para uma área produtora de borracha por meio de conceitos de simbiose industrial e análise das partes interessadas, onde foi possível identificar 10 sinergias entre as empresas, onde 5 são potenciais de simbiose industrial

para o local (SHARIB; HALOG, 2017). Um dos estudos japoneses avaliou a pegada de carbono do ciclo de vida de produtos, uma vez que para os autores foi apontado como uma lacuna na literatura técnica, uma vez que constataram que a aplicação da simbiose industrial pode reduzir em 13% as emissões de carbono (DONG et al., 2014a). O outro estudo japonês buscou arquitetar uma simbiose industrial na qual utilizaria recursos renováveis locais para uma usina combinada de aquecimento e energia regional onde, assim permitindo a operação de fábricas sustentáveis com produtos e serviços de valor agregado através da flexibilização de combustíveis de biomassa (KIKUCHI et al., 2016).

Existem estudos de casos na Europa, sendo eles em seis países diferentes. Na Itália foram desenvolvidos três estudos, no qual Meneghetti & Nardin, (2012) desenvolveram um modelo de otimização de sistemas de geração de energia e aquecimento para uso urbano e industrial com base na simbiose industrial que serviu como ferramenta de suporte para a tomada de decisão do provedor deste serviço. Simboli et al. (2014) analisam em um núcleo indústria de motocicletas as questões sobre uma rede industrial local levando em consideração os fatores para o desenvolvimento da simbiose industrial e por sua vez os pesquisadores apontam condições favoráveis para a implementação de abordagens colaborativas entre as empresas. Mannino et al. (2015) estudaram os fatores endógenos e exógenos que promoveram ou dificultaram o desenvolvimento do conceito de simbiose industrial, no parque industrial de Veneza (forte polo da indústria química italiana), através de uma análise de contexto histórico e foi possível evidenciar que desde 2004 o local do estudo passa por dificuldades, colocando em risco a continuidade da atividade eco-industrial, devido aos fatores europeus e globais do setor químico.

Existem também estudos gregos no qual tratam da simbiose industrial no âmbito da tecnologia da informação onde (RAAFAT et al., 2013) aplicaram a abordagem ontológica na forma de serviço onde buscaram classificar e caracterizar as tecnologias de processos e produtos a serem consideradas para o sucesso da simbiose industrial em uma rede e o outro estudo de (TROKANAS; CECELJA; RAAFAT, 2015) sistematizam métricas ambientais importantes para a simbiose industrial com base na abordagem semântica com base na modelagem do conhecimento, apontando que o uso de uma métrica única auxilia na comparação entre redes simbióticas por transforma os impactos em um custo, assim se tornando relevante ao usuário.

Existe uma relação nestes estudos, pois, foram escritos pelos mesmos autores e ocorrerem na cidade de Viotia, além de abordarem metodologias da área de TI na sua essência.

Na França Hein et al. (2017) buscaram explorar a distribuição energia entre as partes interessadas em uma simbiose industrial através de uma adaptação da abordagem da rede de valor, onde foi possível constatar que o domínio e os recursos relativo entre as partes interessadas. No Reino Unido o estudo propôs uma compreensão de como a ecologia industrial pode influenciar na inovação de modelo de negócios sustentáveis de forma a criar valor e vantagens competitivas em uma indústria de açucareira, mais especificamente o caso da British Sugar, onde foi possível verificar a existência de uma ligação entre a ecologia industrial e modelos de negócio, uma vez que propõem uma inovação no sistema através de mútuos benefícios econômicos e ambientais (SHORT et al., 2014).

No estudo holandês os pesquisadores trataram da simbiose urbana onde procurava identificar como as autoridades locais urbanas poderiam melhorar a gestão dos recursos visando mitigar as mudanças climáticas, onde se compreendeu que as autoridades locais cumpriram um pape central no projeto de simbiose urbana, além é claro da maior participação no ente privado na fase de projetos como este (LENHART; VAN VLIET; MOL, 2015). Rosa & Beloborodko (2015) pesquisaram na Letônia a qualidade das sinergias industriais no ramo cervejeiro e de beneficiamento de madeira, onde os autores puderam considerar benéficas as sinergias geradas no quesito ambiental, econômico e geográfico e destacam que para uma melhor análise destas sinergias, poderia ser integrados indicadores quantitativos à metodologia utilizada.

Na Austrália os pesquisadores exploraram o potencial em planta de beneficiamento mineral e energia para formar uma simbiose industrial com o objetivo de reduzir as emissões de dióxido de carbono através de uma modelagem matemática, onde apontaram uma sugestão que as empresas deste segmento devem ficar próximas instalação de geração e distribuição de energia (BRENT et al., 2012). Nos Estados Unidos Gonela & Zhang (2014) realizaram um estudo sobre configurações ótimas da simbiose industrial em uma planta de biocombustível, através da aplicação do modelo estocástico na Dakota do norte, onde foi possível compreender que alguns padrões de sustentabilidade são mais forte que outros.

Também foram encontrados estudos de caso no continente africano sendo eles na Libéria e nas Ilhas Maurício. O estudo desenvolvido na Libéria abordou a simbiose industrial no contexto da agricultura familiar, onde os autores aplicaram uma modelagem matemática para

compreender o nível de compromisso da comunidade e verificar se a simbiose industrial pode gerar benefícios sistemas agrícolas famílias, que cumprem um importante papel no suprimento de alimentos em países em desenvolvimento. (ALFARO; MILLER, 2014). MAUTHOOR, (2017) nas Ilhas Mauricio buscou compreender como a simbiose industrial poderia auxiliar na gestão dos resíduos, este contexto a pesquisa evidenciou que os benefícios em destaque são a preservação da fauna e flora e a redução das importações de matérias-primas da Ilha, além da implementação de redes industriais e de tecnologias avançadas, onde proporciona um destino mais nobre aos resíduos.

Como pode-se evidenciar algumas pesquisas acabam se interligando de alguma forma como por exemplo o estudo de Brent et al. (2012), Liu et al. (2012), Dong et al. (2013) e Dong et al. (2014b) onde buscaram a compreensão da simbiose industrial no contexto das emissões de carbono. Dong et al., (2014a) indica que a simbiose industrial pode ser aplicada na cadeia de produção, uma vez que a extração de materiais virgens consome uma quantidade expressiva de energia, assim tornando-se mais eficaz. Outro estudo sobre o mesmo tema foi o de Zhang et al. (2013b), onde através da simbiose industrial se buscou um alívio para as emissões de carbono, empregando a análise de fluxo de substância e pode-se revelar que ações de simbiose industrial e eficiência energética podem gerar chances de redução por meio, de troca de resíduos e uso de energia secundária. Através disso, a simbiose industrial é um instrumento facilitador na redução de impactos e aspectos ambientais ligados as emissões de carbono em uma determinada cadeia de produção.

Outro campo na qual a simbiose se expandiu foi o meio urbano, onde se desenvolveu um novo construto chamado “simbiose urbana”. Lenhart, Van Vliet & Mol (2015) descrevem que quando o foco migra de parques industriais para as cidades, as complexidades ficam maiores devido os atores envolvidos nesta gestão serem mais diversificados que dos parques industriais e Dong et al. (2014a) postula que a simbiose urbana e industrial devem andar juntas para melhorar a eficiência das emissões de carbono. Novamente nota-se o envolvimento da simbiose industrial como facilitador da redução de emissões de carbono

O estudo de Wu et al. (2017) explorou a estabilidade e a segurança de uma rede simbiótica de resíduos perigosos onde os autores destacam ser importante porque fornecem diretrizes para o gerenciamento de eco parques industriais. O estudo de autoria de Albino, Fraccascia & Giannoccaro (2016) buscou elencar um mecanismo para o gerenciamento de

relações simbióticas industriais estáveis no contexto de desalinhamento de incentivos, onde evidenciam benefícios econômicos. Leong et al. (2017) por meio de um modelo analítico buscam equacionar os critérios para a tomada de decisão na construção de um eco parque industrial, onde fica possível constatar que o modelo é favorável aos tomadores de decisão. Já Ubando et al. (2016) desenvolveu uma modelo através de programação não linear para a escolha de inquilinos em um parque industrial, através de um estudo de caso real e hipotético, onde deste modelo desenvolvido auxilia as partes interessadas a identificar os fluxos estabelecer pontos limites entre os inquilinos e preços.

Pode também se perceber estudos da simbiose industrial na construção civil e na Agricultura familiar. Nestes estudos pode-se notar a construção de modelos de gerenciamento onde se busque a geração de benefícios econômicos, ambientais e sociais. Nota-se isso no estudo de Alfaro & Miller (2014) buscam gerenciar com a pressão ambiental e sanitária em agricultores familiares e no de Teng et al. (2017) sobre o relacionamento entre as partes interessadas na construção civil, onde se constatou que o sistema proposto sofreu com a baixa aceitação pelas partes, onde causou um certo desequilíbrio, mas por ser o primeiro estudo este pode ter causado rupturas em barreiras determinadas barreiras, além de colaborar com a alcançar a sustentabilidade dos recursos.

Na amostra coletada não foi identificado nenhum estudo de caso brasileiro, sugerindo a falta de difusão do tema para os ambientes acadêmicos e corporativos, uma vez que fornecem vantagens econômicas, sociais e ambientais. Taminoto (2004) relata que a simbiose industrial sofre com barreiras legais, mercadológicas e econômicas no contexto brasileiro e Paula, Abreu e Souza (2015) descrevem em seus estudos a barreira cultural e cognitiva além da técnica e legal no Programa Mineiro de Simbiose Industrial no estado de Minas Gerais. Então como pode-se verificar, os estudos permeiam diversos temas e locais com diferentes pontos de vista sobre simbiose industrial. Frente a isso compreende-se que a simbiose industrial se expandiu para novos nichos econômicos com a finalidade de auxiliar na gestão de recursos financeiros e impactos ambientais.

## 4 Considerações finais

Esta pesquisa apresentou uma revisão sistemática da literatura dos últimos cinco anos sobre os estudos de caso de simbiose industrial. Foi possível constatar algumas tendências e assuntos estudados a nível mundial sobre o assunto em questão e pode-se compreender as divergências e convergências dos estudos e autores.

Compreende-se que os estudos de simbiose industrial seguem uma tendência de quantificar e qualificar os benefícios de natureza ambiental e financeira seja por meio avaliações e simulações. Também pode-se constatar que o assunto está saindo de seu contexto original e se desenvolvendo em outros na forma de se transformar em uma ferramenta de gestão para a redução de impactos ambientais e melhorar resultados econômicos da sociedade em setores como agricultura e construção civil, além da aplicação do conceito de forma integrada em cidades. Outro ponto evidente que o Brasil durante o período estudado, não publicou a nível mundial estudos sobre simbiose industrial, indicando a possibilidade como o assunto é incipiente nos ambientes corporativos e acadêmicos.

Mesmo que atendidos os objetivos e o protocolo seguidos com rigor, esta pesquisa não se exime da existência de limitações tais como operacionais e de interpretações por parte dos autores além de utilizarem como parâmetros de seleção, como o de fator de impacto, podem interferir na seleção dos artigos no futuro. Como sugestão de futuros trabalhos pode-se aplicar o mesmo protocolo de pesquisa em outras bases e avaliar as publicações deles versus a deste estudo, desenvolver estudos de caso brasileiros sobre simbiose industrial e submetê-los em periódicos indexados a Scopus e por fim propor melhorias na metodologia de pesquisa adotada com a finalidade de aperfeiçoá-la para utilizar em outros estudos.

## Referências

ALBINO, V.; FRACCASCIA, L.; GIANNOCCARO, I. *Exploring the role of contracts to support the emergence of self-organized industrial symbiosis networks: An agent-based simulation study*. Journal of Cleaner Production, v. 112, p. 4353–4366, 2016.

ALFARO, J.; MILLER, S. *Applying Industrial Symbiosis to Smallholder Farms: Modeling a Case Study in Liberia, West Africa*. Journal of Industrial Ecology, v. 18, n. 1, p. 145–154, 2014.

BARBIERI, R.; SANTOS, D. F. L. *Fatores Direcionadores à EcoInovação Empresarial: Uma Revisão*

*Sistemática*. Revista de Administração, Contabilidade e Economia da FUNDACE, v. 9, n. 1, p. 47–63, 2018.

BOONS, F. et al. *Industrial Symbiosis Dynamics and the Problem of Equivalence: Proposal for a Comparative Framework*. Journal of Industrial Ecology, v. 21, n. 4, p. 938–952, 2017.

BOOTH, A.; SUTTON, A.; PAPAIOANNOU, D. *Systematic approaches to a successful literature review*. Sage Publications, 2. ed., 2016

BRENT, G. F. et al. *Mineral Carbonation as the Core of an Industrial Symbiosis for Energy-Intensive Minerals Conversion*. Journal of Industrial Ecology, v. 16, n. 1, p. 94–104, 2012.

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. *JCR apresenta dados de 2015-2016*. Disponível em:

[https://www.periodicos.capes.gov.br/?option=com\\_pnews&component=NewsShow&view=pnnewsnewsshow&cid=385&mn=0](https://www.periodicos.capes.gov.br/?option=com_pnews&component=NewsShow&view=pnnewsnewsshow&cid=385&mn=0)

CARRAPIÇO, F.; RITA, O. *Simbiogênese e Evolução*. Evolução. Conceitos e Debates, p. 175–198, 2009.

CMMAD - Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

DRESCH, A; LACERDA, D. P.; ANTUNES J, J. A. V. *Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DONG, H. et al. *Achieving carbon emission reduction through industrial & urban symbiosis: A case of Kawasaki*. Energy, v. 64, p. 277–286, 2014a.

DONG, L. et al. Promoting low-carbon city through industrial symbiosis: A case in China by applying HPIMO model. Energy Policy, v. 61, p. 864–873, 2013.

DONG, L. et al. *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, 2014b.

DONG, L. et al. *Highlighting regional eco-industrial development: Life cycle benefits of an urban industrial symbiosis and implications in China*. Ecological Modelling, v. 361, p. 164–176, 2017.

EHRENFELD, J.; GERTLER, N. Industrial Ecology in Practice. Journal of Industrial Ecology, v. 1, n. 1, p. 67–79, 1997.

ELSEVIER. *Plataformas de pesquisa 2018*. Disponível em <https://www.elsevier.com/pt-br/research-platforms>.

FAN, Y. et al. *Emergy analysis on industrial symbiosis of an industrial park – A case study of Hefei economic and technological development area*. Journal of Cleaner Production, v. 141, p. 791–798, 2017.

FINK, A. G. *Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper*. Sage Publications, 3 ed, 2014.

FROSCHE, R. A. *Industrial ecology: a philosophical introduction*. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 89, n. 3, p. 800–803, 1992.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. *Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração*.

Epidemiologia e Serviços de Saúde, v. 23, n. 1, p. 183–184, 2014.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo, Atlas, 4. ed., 2007.

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

GONELA, V.; ZHANG, J. *Design of the optimal industrial symbiosis system to improve bioethanol production*. Journal of Cleaner Production, v. 64, p. 513–534, 2014.

GONELA, V.; ZHANG, J.; OSMANI, A. *Stochastic optimization of sustainable industrial symbiosis based hybrid generation bioethanol supply chains*. Computers and Industrial Engineering, v. 87, p. 40–65, 2015.

HAN, F. et al. *Circular economy measures that boost the upgrade of an aluminum industrial park*. Journal of Cleaner Production, v. 168, p. 1289–1296, 2017.

HEIN, A. M. et al. *Stakeholder power in industrial symbioses: A stakeholder value network approach*. Journal of Cleaner Production, v. 148, p. 923–933, 2017.

KERN, E.; DICK, M.; NAUMANN, S.; HILLER, T. *Impacts of software and its engineering on the carbon footprint of ICT*. Environmental Impact Assessment Review, 52, 53-61, 2015.  
doi:10.1016/j.eiar.2014.07.003

KIKUCHI, Y. et al. *Industrial Symbiosis Centered on a Regional Cogeneration Power Plant Utilizing Available Local Resources: A Case Study of Tanegashima*. Journal of Industrial Ecology, v. 20, n. 2, p. 276–288, 2016.

KITCHENHAM, B. et al. *Systematic literature reviews in software engineering-A tertiary study*. Information and Software Technology, v. 52, n. 8, p. 792–805, 2010.

LENHART, J.; VAN VLIET, B.; MOL, A. P. J. *New roles for local authorities in a time of climate change: The Rotterdam Energy Approach and Planning as a case of urban symbiosis*. Journal of Cleaner Production, v. 107, p. 593–601, 2015.

LEONG, Y. T. et al. *Multi-objective optimization for resource network synthesis in eco-industrial parks using an integrated analytic hierarchy process*. Journal of Cleaner Production, v. 143, p. 1268–1283, 2017.

LI, B. et al. *The vulnerability of industrial symbiosis: A case study of Qijiang Industrial Park, China*. Journal of Cleaner Production, v. 157, n. January 2016, p. 267–277, 2017.

LI, H.; DONG, L.; REN, J. *Industrial symbiosis as a countermeasure for resource dependent city: A case study of Guiyang, China*. Journal of Cleaner Production, v. 107, p. 252–266, 2015.

LIU, L. et al. *The greenhouse gas mitigation of industrial parks in China: A case study of Suzhou Industrial Park*. Energy Policy, v. 46, p. 301–307, 2012.

MACHI, L. A; MCEVOY, B. T. *The Literature Review: Six Steps to Success*. Thousand Oaks, Calif: Corwin Press, 2012

MANNINO, I. et al. *The decline of eco-industrial development in Porto Marghera, Italy*. Journal of Cleaner Production, v. 100, p. 286–296, 2015.

MAUTHOOR, S. *Uncovering industrial symbiosis potentials in a small island developing state: The case study of Mauritius*. Journal of Cleaner Production, v. 147, p. 506–513, 2017.

- MENEGHETTI, A.; NARDIN, G. *Enabling industrial symbiosis by a facilities management optimization approach*. Journal of Cleaner Production, v. 35, p. 263–273, 2012.
- ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. *Fundamentos de ecologia*. São Paulo: Cengage Learning, 2007.
- OLIVEIRA, N. G. C. . B et al. *Principles and tools of cleaner production: An exploratory study in Brazilian companies [Princípios e ferramentas da produção mais limpa: um estudo exploratório em empresas Brasileiras]*. Gestao e Producao, v. 22, n. 2, p. 326–344, 2015.
- PAULA, E. V.; ABREU, M. C. S.; SOUSA, C. B. *Motivações e Barreiras para a Simbiose Industrial: A Experiência no Estado de Minas Gerais*. XVI Congresso Latino-Iberoamericana de Gestão da Tecnologia. Porto Alegre de 19 a 22 out, 2015. Disponível em <http://altec2015.nitec.co/altec/papers/146.pdf>
- PRODANOV, C.C; FREITAS, E.C. *Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. Novo Hamburgo, Feevale, 2. Ed, 2013.
- RAAFAT, T. et al. *An ontological approach towards enabling processing technologies participation in industrial symbiosis*. Computers and Chemical Engineering, v. 59, p. 33–46, 2013.
- ROSA, M.; BELOBORODKO, A. *A decision support method for development of industrial synergies: Case studies of Latvian brewery and wood-processing industries*. Journal of Cleaner Production, v. 105, p. 461–470, 2015.
- SHARIB, S.; HALOG, A. *Enhancing value chains by applying industrial symbiosis concept to the Rubber City in Kedah, Malaysia*. Journal of Cleaner Production, v. 141, p. 1095–1108, 2017.
- SHORT, S. W. et al. *From refining sugar to growing tomatoes: Industrial ecology and business model evolution*. Journal of Industrial Ecology, v. 18, n. 5, p. 603–618, 2014.
- 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.
- TANIMOTO, A. H. *Proposta de simbiose industrial para minimizar os resíduos sólidos no Pólo Petroquímico de Camaçari*. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) UFBA, 2004.
- TENG, Y. et al. *Analysis of stakeholder relationships in the industry chain of industrialized building in China*. Journal of Cleaner Production, v. 152, p. 387–398, 2017.
- TOWNSEND, C. R.; BEGON, M; HARPER, J. L. *Fundamentos em ecologia*. Porto Alegre: Artmed, 3 ed, 2010.
- TROKANAS, N.; CECELJA, F.; RAAFAT, T. *Semantic approach for pre-assessment of environmental indicators in Industrial Symbiosis*. Journal of Cleaner Production, v. 96, p. 349–361, 2015.
- UBANDO, A. T. et al. *Fuzzy mixed integer non-linear programming model for the design of an algae-based eco-industrial park with prospective selection of support tenants under product price variability*. Journal of Cleaner Production, v. 136, p. 183–196, 2016.
- WANG, Q.; DEUTZ, P.; CHEN, Y. *Building institutional capacity for industrial symbiosis development: A case study of an industrial symbiosis coordination network in China*. Journal of Cleaner Production, v. 142, p. 1571–1582, 2017.

- WEN, Z.; MENG, X. *Quantitative assessment of industrial symbiosis for the promotion of circular economy: A case study of the printed circuit boards industry in China's Suzhou New District*. Journal of Cleaner Production, v. 90, p. 211–219, 2015.
- WU, J. et al. *The redundancy of an industrial symbiosis network: A case study of a hazardous waste symbiosis network*. Journal of Cleaner Production, v. 149, p. 49–59, 2017.
- WU, J.; QI, H.; WANG, R. *Insight into industrial symbiosis and carbon metabolism from the evolution of iron and steel industrial network*. Journal of Cleaner Production, v. 135, p. 251–262, 2016.
- YU, F.; HAN, F.; CUI, Z. *Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China*. Journal of Cleaner Production, v. 87, n. C, p. 339–347, 2015a.
- YU, F.; HAN, F.; CUI, Z. *Reducing carbon emissions through industrial symbiosis: A case study of a large enterprise group in China*. Journal of Cleaner Production, v. 103, p. 811–818, 2015b.
- ZHANG, H. et al. *Analysis of low-carbon industrial symbiosis technology for carbon mitigation in a Chinese iron/steel industrial park: A case study with carbon flow analysis*. Energy Policy, v. 61, p. 1400–1411, 2013a.
- ZHANG, H. et al. *Analysis of low-carbon industrial symbiosis technology for carbon mitigation in a Chinese iron / steel industrial park : A case study with carbon flow analysis*. Energy Policy, 2013b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.066>>
- ZHANG, Y.; ZHENG, H.; FATH, B. D. *Ecological network analysis of an industrial symbiosis system: A case study of the Shandong Lubei eco-industrial park*. Ecological Modelling, v. 306, p. 174–184, 2015.
- ZHE, L. et al. *An emergy-based hybrid method for assessing industrial symbiosis of an industrial park*. Journal of Cleaner Production, v. 114, p. 132–140, 2016.