

UMA ABORDAGEM INTEGRATIVA ENTRE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E SIMBIOSE INDUSTRIAL EM ECOPARQUES INDUSTRIAIS

AN INTEGRATIVE APPROACH BETWEEN CLEANER PRODUCTION AND INDUSTRIAL SYMBIOSIS IN ECO-INDUSTRIAL PARKS

Henrique Lisbôa da Cruz^a, Carlos Alberto Mendes Moraes^a

^aUniversidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

cruzhnrq@yahoo.com.br, cmoraes@unisinis.br

Submissão: 04 de dezembro de 2022

Aceitação: 20 de novembro de 2023

Resumo

Os Ecoparques Industriais estão inseridos no contexto da Ecologia Industrial como importantes estratégias para um desenvolvimento industrial mais sustentável. Este estudo buscou compreender como a Produção mais Limpa e a Simbiose Industrial podem ser aplicadas para o gerenciamento mais eficiente da oferta e da demanda de recursos em Ecoparques Industriais, tendo como estudo de caso um parque logístico localizado no sul do Brasil. Uma abordagem integrativa entre essas duas ferramentas foi proposta. Para tanto, foram realizadas vistorias técnicas ao empreendimento e nas empresas situadas no parque, a fim de identificar o processo produtivo de cada empresa. A partir da análise de entradas e saídas do macroprocesso e de entrevistas com os gestores responsáveis, foram vislumbradas as ações aplicáveis ao parque. A Produção mais Limpa foi aplicada à gestão da demanda de recursos, propondo-se ações visando ao uso mais eficiente de recursos e reduzindo a extração e a busca por novas fontes. Concomitantemente, a Simbiose Industrial foi relacionada à gestão da oferta, especialmente de água e energia, buscando por fontes mais limpas. A necessidade de atuação intrafirma, por meio da redução na fonte do consumo de materiais, água e energia, foi complementada por estratégias de Simbiose Industrial no nível interfirmas no parque, por intermédio de sinergias envolvendo o compartilhamento de utilidades (energia renovável e água da chuva) e serviços (gerenciamento de resíduos e consultoria ambiental compartilhada). A conjunção dessas ferramentas, para a gestão da oferta e da demanda, mostra-se necessária para garantir a disponibilidade futura dos recursos.

Palavras-chave: Simbiose Industrial; Ecoparque Industrial; Produção mais Limpa; Gestão da Oferta; Gestão da Demanda.

Abstract

Eco-Industrial Parks are embedded in the context of Industrial Ecology as important strategies for a more sustainable industrial development. This study aimed to understand how Cleaner Production and Industrial Symbiosis can be applied for a more efficient management of resource supply and demand in Industrial Ecoparks, using a logistics park located in southern Brazil as a case study. An integrative approach between these two tools was proposed. Technical inspections were conducted at the facility and the companies located in the park to identify the production processes of each company. Through the analysis of inputs and outputs of the macroprocess and interviews with the responsible managers, actions applicable to the park were envisioned. Cleaner Production was applied to resource demand management, proposing actions aimed at more efficient resource use, reducing extraction and the search for new sources. Simultaneously, Industrial Symbiosis was related to supply management, especially for water and energy, seeking cleaner sources. The need for intra-firm action, through reducing the consumption of materials, water, and energy at the source, was complemented by strategies of Industrial Symbiosis at the inter-firm level within the park, through synergies involving the sharing of utilities (renewable energy and rainwater) and services (waste management

and shared environmental consulting). The conjunction of these tools, for supply and demand management, proves necessary to ensure future resource availability.

Keywords: Industrial Symbiosis; Eco-industrial Park; Cleaner Production; Supply Management; Demand Management.

1. INTRODUÇÃO

Os Ecoparques Industriais (EIP, sigla para o original em inglês *Eco-Industrial Parks*) podem ser conceituados como comunidades de organizações que buscam alcançar melhorias ambientais e econômicas, com base na colaboração mútua (LOWE *et al.*, 1996). Nos EIP, a proximidade geográfica entre organizações favorece a criação de sinergias por meio da Simbiose Industrial (SI), pelas quais os fluxos materiais e energéticos são otimizados. Esse ponto os aproxima do conceito de ecossistema industrial preconizado pela Ecologia Industrial (EI), que objetiva a reestruturação dos sistemas industriais em ecossistemas industriais, a partir de princípios identificados no ecossistema biológico (GRAEDEL; ALLENBY, 2010). Para tanto, a EI possui 3 níveis de atuação: intrafirma, entre firmas e regional/global (CHERTOW, 2000).

Nos EIP, dada a prerrogativa de colaboração entre as empresas, a SI é evidenciada, tendo em vista sua atuação no nível entre firmas. Contudo, a estruturação de um ecossistema industrial requer uma abordagem integrativa, isto é, que considere desde o nível individual das organizações, até além de suas fronteiras. No nível individual, a Produção mais Limpa (P+L) é uma das principais ferramentas para a prevenção da poluição e de combate a ineficiências de processos (CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS, 2003). Como a Produção mais Limpa pode ser aliada à Simbiose Industrial no contexto dos Ecoparques Industriais? Este estudo teve como objetivo investigar como os conceitos de P+L podem ser aplicados em consonância à SI para a estruturação de EIP.

Como contribuição, a pesquisa propõe uma integração entre essas ferramentas, de modo a promover melhorias na gestão da demanda e da oferta de recursos em EIP, visando à redução de custos, melhorias na eficiência de recursos, redução de emissões de carbono, estímulo à inovação e fortalecimento das relações colaborativas entre empresas. Por outro lado, em sintonia aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) elaborados pela Organização

das Nações Unidas (ONU), o estudo vincula-se aos Objetivos 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura e 12 – Consumo e Produção Sustentáveis. Quanto ao ODS 9, construir infraestrutura resiliente, promover a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação são seus principais objetivos. Já ODS 12 almeja assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis. Verifica-se, assim, que os potenciais resultados e benefícios do projeto podem contribuir sobremaneira para com as metas e indicadores dos ODS 9 e 12 mencionados.

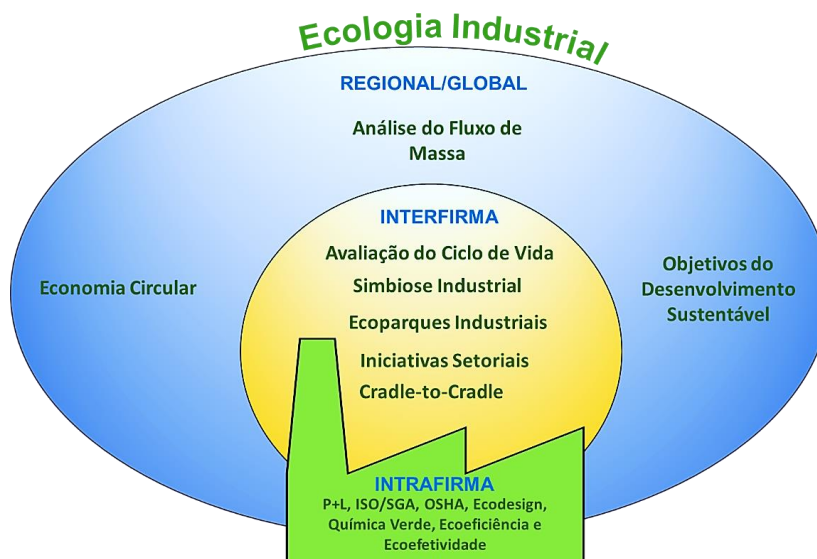
Este artigo está dividido nas seguintes seções: além desta breve introdução, na qual foi definido o objetivo principal e contribuição do trabalho, a seção 2 apresenta os conceitos gerais da Ecologia Industrial e de duas de suas ferramentas destacadas nesse trabalho: Produção mais Limpa e Simbiose Industrial. Na sequência, adentra-se na perspectiva da integração dessas ferramentas, apresentando-se o estudo de caso, resultados e discussões e as considerações finais.

2. A ECOLOGIA INDUSTRIAL PARA GESTÃO AMBIENTAL

A urbanização e a industrialização crescentes, em nível global, enquanto proporcionam benefícios econômicos e bem-estar à sociedade, provocam diversos impactos ambientais. Visando conciliar o desenvolvimento da economia e a manutenção dos ecossistemas, a Ecologia Industrial surge com inúmeras ferramentas para a gestão ambiental desses impactos. Dentre essas, este artigo destaca a Simbiose Industrial e a Produção mais Limpa, cuja importância vem sendo reconhecida, gradativamente, por pesquisadores, empresas e órgãos públicos em todo o mundo, pelo menos desde o início da década de 1990 (CHERTOW, 2000; CNTL, 2003; NEVES *et al.*, 2020).

De acordo com as definições de Chertow (2000), a Ecologia Industrial, que está inserida no contexto da Sustentabilidade, opera em três níveis, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Níveis de Ecologia Industrial



Fonte: Adaptado de Chertow (2000).

A Figura 1 apresenta um esquema ilustrativo sobre as diferentes ferramentas de gestão ambiental e sua alocação no escopo da Ecologia Industrial, nos seguintes níveis: intrafirma (organização individual), interfirma (entre diferentes organizações), até o nível mais abrangente, regional ou global. A Simbiose Industrial, por preconizar interações entre empresas distintas, ocorre no nível interfirma. De acordo com Schwarz e Steininger (1997), o conceito de simbiose vem, originalmente, da biologia e significa “[...] uma associação de indivíduos de diferentes espécies em um relacionamento onde há benefícios mútuos.” Esses autores discutem que, na natureza, as taxas de produção e decomposição são praticamente idênticas, garantindo um equilíbrio. Em contraposição, nos sistemas industriais, o foco está, primariamente, na produção. Além disso, novos materiais são desenvolvidos frequentemente, muitos deles sendo de difícil degradação na natureza. Por essa razão, a reutilização e a reciclagem tornam-se indispensáveis para a manutenção do equilíbrio entre produção e decomposição. Isso porque, nos ecossistemas naturais, muitos organismos são especializados tanto em produzir quanto em consumir resíduos (SCHWARZ; STEININGER, 1997). Deste modo, o conceito fundamental da Simbiose Industrial vem a ser que o resíduo de uma empresa pode ser a matéria-prima de outra (CHERTOW; EHRENFELD, 2012).

O conceito de Simbiose foi integrado à Ecologia Industrial por Chertow (2000). Para esse pesquisador, as relações simbióticas podem acontecer entre diferentes organizações (indivíduos), na forma de intercâmbios de materiais, energia e conhecimento. Como vantagens, o autor expõe que, agindo em conjunto, as organizações podem obter benefícios coletivos que não seriam possíveis de alcançar individualmente. Segundo Lawal *et al.* (2021), o aumento de produtividade, otimização do uso de recursos (matérias-primas, água e energia), e conseqüente redução de custos com sua aquisição e com tratamento e disposição de resíduos são alguns dos benefícios potenciais.

Já a Produção mais Limpa (P+L) foi introduzida em 1989 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), definida como a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada envolvendo processos, produtos e serviços (CATAPAN *et al.*, 2010). De acordo com CNTL (2003), a P+L é a

[...] aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos. (CNTL, 2003, pg. 7).

Para Catapan *et al.* (2010), a P+L é a terceira geração da Gestão Ambiental, cuja premissa fundamental é a prevenção. Historicamente, a Gestão Ambiental passou por três fases principais: inicialmente, uma lógica baseada na disposição, na qual a preocupação ambiental era incipiente, cujo objetivo era livrar-se dos resíduos; após, evoluiu-se para técnicas de tratamento, nas quais houve um aumento da preocupação, mas em uma ótica reativa às exigências legais – fim-de-tubo; finalmente, a prevenção, por meio da redução na fonte de geração (CNTL, 2003).

De acordo com CNTL (2003), existem três diferentes níveis de P+L. As ações prioritárias são aquelas de Nível 1 – Redução na Fonte, que visem eliminar ou minimizar resíduos, efluentes e emissões no processo produtivo onde são gerados. A principal meta é, portanto, encontrar medidas para evitar a geração de resíduos na fonte, seja por intermédio de modificações no produto ou no processo, sendo este último por meio de boas práticas de P+L, substituição de matérias-primas e insumos e modificação tecnológica. Os demais níveis envolvem a reciclagem interna (Nível 2) e externa (Nível 3), devendo ser aplicadas somente depois de esgotadas todas as possibilidades de medidas de redução na fonte.

2.1 Integração de Ferramentas de Gestão Ambiental

As ferramentas de gestão ambiental da Ecologia Industrial podem manter interfaces entre si e entre outros níveis, para uma abordagem holística das organizações, como preconizam Cruz *et al.* (2022). A literatura apresenta casos em que essas interfaces são exploradas.

Herzer *et al.* (2017) identificaram possibilidades de aplicação da Produção Mais Limpa em conjunto à Simbiose Industrial para a gestão dos resíduos sólidos de uma indústria de laminados sintéticos no Vale dos Sinos, Rio Grande do Sul. Os autores observaram oportunidades de aplicação da P+L para a redução na fonte e reciclagem interna de resíduos. Para aqueles cujo aproveitamento não era possível internamente, a Simbiose Industrial foi selecionada como ferramenta para proporcionar intercâmbios, na forma de trocas ou vendas de materiais, entre diferentes empresas em uma rede simbiótica. Por meio dessas estratégias, os pesquisadores estimaram a possibilidade de redução de mais de 95 % dos custos relacionados ao transporte e

destinação de resíduos, além de desviá-los de aterros e reintroduzi-los ao ciclo produtivo.

Rocha (2010) desenvolveu um modelo para implantação de Simbiose Industrial com foco em indústrias do setor metalomecânico. O modelo é composto por sete etapas, sendo as três primeiras com ações intrafirmas. Nele, sugeriu-se que as organizações participantes da rede simbiótica adotassem programas internos de gestão ambiental, como a P+L, associada ao SGA (Sistema de Gestão Ambiental) da empresa, quando este existir, bem como a outras ferramentas, como a Avaliação do Ciclo de Vida. Com isso, Rocha (2010) enfatiza a necessidade de aplicação de uma ou mais ferramentas de gestão ambiental conjuntas à Simbiose Industrial.

Semelhantemente, Yuan *et al.* (2006) apontam que, na China, a implementação da Economia Circular segue três níveis – equivalentes à proposta de Chertow (2000) para a Ecologia Industrial – em que as organizações são estimuladas a aderir a programas de Produção Mais Limpa no nível intrafirma, prática ainda adotada, conforme estudo mais recente de Hong e Gasparatos (2020). Esse tipo de abordagem promove a qualificação no nível intrafirma, permitindo que as práticas interfirmas se consolidem.

Para fins ilustrativos, a Figura 2 apresenta uma análise bibliométrica baseada nos principais termos ocorrentes na literatura científica a partir da pesquisa dos termos em inglês *industrial symbiosis AND cleaner production* na base de dados *Web of Science*. Ao todo, foram reportados 46 estudos contendo essas palavras-chave no título, resumo ou como palavras-chave.

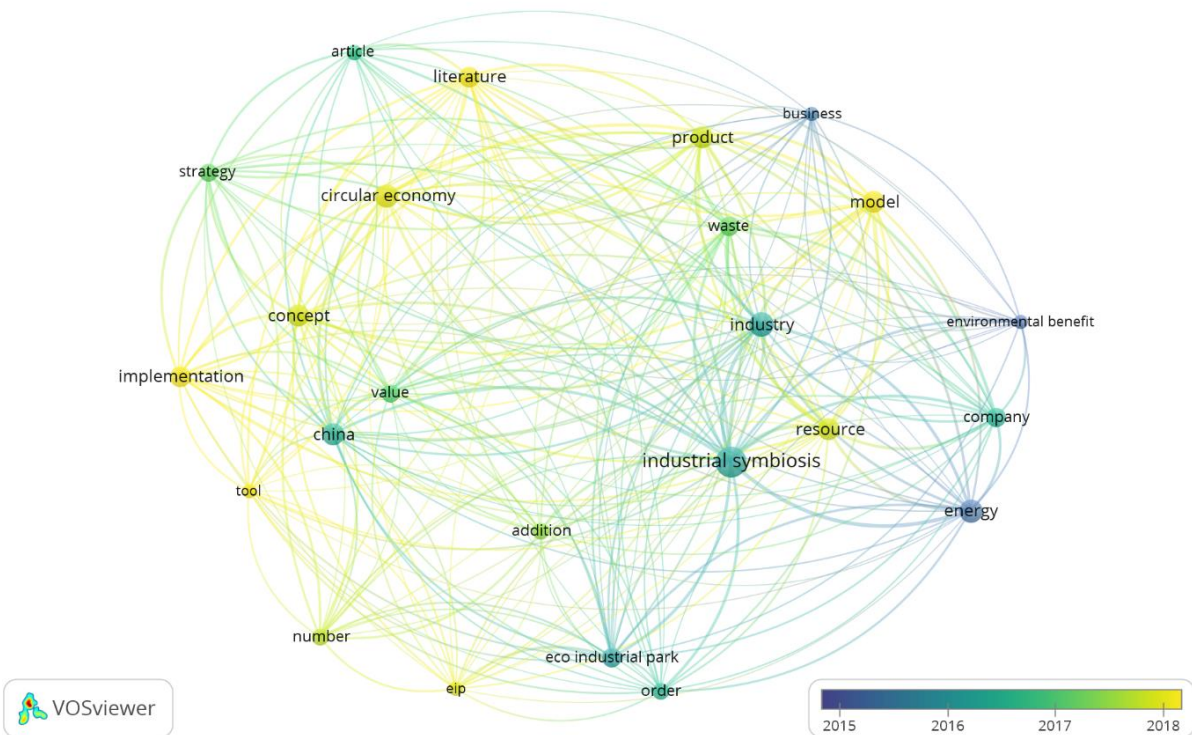
Observa-se, na Figura 2, que o termo Ecoparque Industrial (Eco Industrial Park e EIP, na figura) estão diretamente conectados à Simbiose Industrial (Industrial Symbiosis, na figura). A partir do ano de 2017 e 2018, despontam os termos Economia Circular e China, também conectados à SI e aos EIP. Como exemplo dessa interconexão, Chen *et al.* (2022) analisaram um EIP na China, propondo um método abrangente de avaliação dos benefícios da simbiose industrial, por meio da produtividade de recursos e análise de emergia. Os autores identificaram que a Simbiose Industrial teve um efeito positivo em muitos aspectos, incluindo o aumento da produtividade de materiais de entrada direta, água e energia em 0,33, 36,50 e 0,38 vezes, respectivamente, a redução do impacto das emissões em 30,91 %, economia de

investimentos equivalente a 30,18 % do produto interno bruto.

No tocante à integração das ferramentas em EIP, como referido, os EIP são exemplos clássicos de aplicação da Simbiose Industrial, contudo, os conceitos de Prevenção da Poluição e P+L devem ser enfatizados (LOWE, 2001). Lowe (2001) coordenou um projeto de expansão de EIP nos Estados Unidos na década de 1990, propondo uma série de estratégias para o *design* de EIP,

contemplando aspectos relativos aos sistemas energéticos, fluxos de materiais, uso da água, gerenciamento de resíduos, dentre outros. Veiga e Magrini (2009) complementam que a Ecologia Industrial e a Produção Mais Limpa são a base dos Ecoparques Industriais. Assim, observa-se que as estratégias apontadas por Lowe (2001) podem ser desenvolvidas por ferramentas de gestão ambiental no nível intrafirma, visto que estas atuam nas áreas mencionadas.

Figura 2 - Coocorrência de termos entre Simbiose Industrial e Produção mais Limpa na literatura científica



Fonte: Autoria própria (2022).

A partir de observações em iniciativas existentes nos Estados Unidos e Canadá, Côte e Cohen-Rosenthal (1998), precursores de projetos de EIP nesses países, listaram 11 aspectos e características necessárias a ecoparques industriais. Na lista, vários dos itens remetem à utilização de ferramentas de gestão ambiental intrafirma, podendo-se mencionar: redução do impacto ambiental e da pegada ecológica, por meio da substituição de materiais tóxicos; absorção de dióxido de carbono; intercâmbio de materiais e tratamento integrado de efluentes; maximização da eficiência energética por meio do design e construção das empresas; cogeração; uso da energia em cascata; otimização do uso de materiais, igualmente por meio do *design* e construção das organizações; e reuso,

recuperação e reciclagem. Mais do que isso, os pesquisadores referem que, em um ecoparque, faz-se necessária uma abordagem sistêmica de quantificação de fluxos materiais e de energia, assim como as características físico-químicas dos materiais.

Nota-se que, para alcançar as características propostas por Côte e Cohen-Rosenthal (1998), as empresas participantes da rede simbiótica ou ecoparque podem aderir, paralelamente, a ferramentas orientadas à Prevenção da Poluição, como a Produção Mais Limpa. Mais do que isso, Qu *et al.* (2015) recomendam que gestores de ecoparques industriais devem encorajar as empresas a implementarem. Isso, porque a P+L, em sua metodologia, preconiza uma avaliação sistêmica sobre a organização em estudo, com

suas entradas e saídas, visando ao aproveitamento integral de materiais, água e energia. Contudo, como referem Ji *et al.* (2020), dificilmente uma organização consegue eliminar a geração de resíduos por si só. Nesse sentido, a interface Simbiose Industrial-P+L é necessária para que os materiais excedentes possam ser aproveitados por outras organizações. Outro fator de destaque é a ênfase dada pela P+L às ações de educação, necessárias para o comprometimento de toda a equipe da organização e continuidade do programa. Todavia, algumas barreiras devem ser superadas para a implantação da P+L, como a falta de incentivos econômicos e a insuficiente fiscalização ambiental, limitando o interesse das organizações sobre o programa (Ji *et al.*, 2020).

Ainda, Côte e Cohen-Rosenthal (1998) propõem que um ecoparque industrial deve adotar um sistema regulatório que incentive as organizações a atingirem determinadas metas de performance, bem como criem mecanismos de educação e orientação para seus colaboradores e gestores sobre as novas estratégias, ferramentas e tecnologias. Aditivamente, os autores enfatizam que o sucesso de redes de simbiose está ligado, evidentemente, ao fator econômico, isto é, ao custo de produção e preço final de venda. Desta maneira, a P+L pode contribuir com a criação de indicadores ambientais e econômicos, bem como para a melhoria da eficiência de processos, acarretando redução de custos, dada sua preocupação com os aspectos econômicos.

Park *et al.* (2008) narraram o processo evolutivo do complexo industrial composto por seis parques industriais na região de Ulsan, Coréia do Sul. Nesse projeto, observa-se que a interação P+L e SI está intimamente ligada para a transição dos parques a EIP. No caso, a P+L se apresentava como o principal conceito norteador das políticas e ações, vinculada a estratégias de controle e prevenção da poluição. A SI, por sua vez, surge como uma consequência dessas estratégias, decorrentes de uma legislação ambiental restritiva e de benefícios econômicos, de forma espontânea entre os atores, mas direcionada pelos gestores do projeto. Os principais intercâmbios consolidados envolviam águas residuais (efluentes líquidos industriais, água de reuso etc.), havendo perspectivas futuras para integração energética.

Wang *et al.* (2021) investigaram como promover a reciclagem em parques industriais na China, tendo como estudo de caso o parque em

Tianjin. Os autores observaram que a aplicação de programas e auditorias de P+L no nível intrafirmas era um fator decisivo para identificação dos fluxos materiais críticos e, assim, atuar sobre eles na forma de intercâmbios por meio da SI. Mais do que isso, a P+L auxiliava na redução de poluentes e estruturação de rotas de logística reversa.

Diante dos casos selecionados na literatura, é importante compreender que essas estratégias e políticas buscam, fundamentalmente, gerir dois aspectos básicos: a oferta e a demanda de recursos (BORELLI; MONTI, 2014). Essa perspectiva foi analisada por Herczeg, Akkerman e Hauschild (2018), que buscaram integrar a Simbiose Industrial à Gestão da Cadeia de Suprimentos. No tocante aos recursos naturais, as ferramentas devem apontar para uma atuação prioritária na gestão da demanda, ou seja, buscar a melhoria de eficiência dos processos para garantir a produção, ao mesmo tempo em que se reduz a necessidade de utilização e consumo de materiais, água e energia. Essa perspectiva contrapõe a lógica que vinha sendo empregada até então, qual seja, aumentar indefinidamente a oferta de recursos – estes cada vez mais escassos e caros – para atender a uma demanda sempre crescente.

3. METODOLOGIA

Inicialmente, realizou-se pesquisa bibliográfica referente ao tema em estudo, documentada nesse artigo nas seções anteriores e na discussão dos resultados. Após, partiu-se para o estudo de caso prático no empreendimento, que consistiu em estudo no Ecoparque Empresarial Lourenço e Souza, situado na região metropolitana de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul. O parque pode ser caracterizado como misto, possuindo atividades industriais associadas a empresas de logística. O parque dispõe de pavilhões modulares de 1.000 m² cada, podendo ser unificados de acordo com a necessidade. O empreendimento foi selecionado para estudo de caso em virtude de sua emergência e importância para o contexto regional em que se insere. O parque está em franca expansão e, ao final das obras, projeta-se mais de 100 mil metros quadrados de pavilhões para locação. Além disso, o nome Ecoparque exige ao parque ações efetivas de gestão ambiental, por isso, a execução do trabalho no local pode auxiliar os gestores na tomada de decisão acerca de melhorias a serem implementadas.

O primeiro passo foi a realização de visitas técnicas para o reconhecimento e familiarização com o empreendimento. Foram realizadas visitas técnicas nas empresas que já operam na primeira fase (Fase I), denominadas Empresa A, B, C, D e E, entre agosto de 2021 e fevereiro de 2022. Na

Fase I, estão localizadas 5 empresas de pequeno porte (área útil inferior a 3.000 m²), instaladas em pavilhões industriais interligados que perfazem 13.000 m², cuja relação é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo geral sobre as empresas localizadas na Fase I

Empresa	Atividade	Área Nº func.	Breve descrição da atividade executada
A	Metalomecânica: fabricação de equipamentos de refrigeração industrial	3.185 m ² 120	Operações de caldeiraria (corte, conformação, soldagem e montagem) para fabricação de túneis de congelamento outros equipamentos de refrigeração industrial.
B	Metalomecânica: fabricação de extrusoras	2.490 m ² 45	Operações de caldeiraria e usinagem para fabricação de extrusoras.
C	Fabricação de cosméticos	725 m ² 5	Fabricação de ceras depilatórias, envolvendo o fracionamento das matérias-primas, manipulação em tanques encamisados e envase do produto.
D	Centro de distribuição de produtos farmacêuticos e de higiene pessoal	3.600 m ² 100	Armazenamento de produtos, segmentação de acordo com a quantidade solicitada pelo cliente e expedição.
E	Centro de distribuição de polímeros peletizados	1.660 m ² 7	Armazenamento de polímeros peletizados, segmentação de acordo com a quantidade solicitada pelo cliente e expedição

Fonte: Autoria própria (2022).

Em um segundo momento, foram realizadas visitas para o reconhecimento da estrutura e dos processos produtivos de cada empresa. Para tanto, utilizaram-se questionário e entrevista estruturada com os gestores responsáveis por cada empresa. As entrevistas foram conduzidas individualmente ao proprietário e/ou um colaborador designado por cada empresa. Durante as entrevistas, as empresas foram convidadas a oferecer sugestões de melhoria para o parque. Foram coletadas informações gerais sobre as empresas, tais como o ramo de atividade, o número de funcionários e a existência de licenciamento ambiental e sistema de gestão ambiental. Além disso, coletaram-se informações qualitativas básicas acerca do processo produtivo, como principais etapas do processo produtivo, etapas em que ocorrem a geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas, bem como informações

quantitativas, quando disponíveis, relacionadas à geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas, bem como de uso de recursos como água, energia e materiais.

Diante das informações obtidas, estratégias de Produção mais Limpa e Simbiose Industrial para o parque em estudo foram identificadas. Essas estratégias foram vinculadas à gestão da oferta e da demanda, sendo apresentadas e discutidas na seção seguinte.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das informações coletadas nas empresas da Fase I do empreendimento Ecoparque Lourenço e Souza, buscou-se identificar possíveis sinergias entre os processos produtivos das diferentes empresas, visando à aplicação da Simbiose Industrial. Todavia, observando-se as organizações, verificou-se a

ausência de complementariedade e relação entre os processos produtivos. Ou seja, por se tratar de ramos de atividade distintos, o uso de resíduos (sólidos ou líquidos) de uma organização como matéria-prima ou insumo de outra, não foi identificado como oportunidade viável em face à inexistência de correlação. Por isso, não foram identificadas oportunidades de intercâmbios diretos de materiais, água e energia entre as empresas. Todavia, as empresas compartilham de necessidades semelhantes em termos de água e energia elétrica, pois todas consomem esses insumos de processo. Além disso, também demandam por certos tipos de serviços, como consultoria ambiental e gerenciamento de resíduos sólidos na forma de prestadores de serviços para coleta, transporte e destinação final ambientalmente adequada de resíduos. Nesse sentido, em que pese os intercâmbios físicos envolvendo materiais, água e energia não sejam factíveis ao empreendimento, observa-se a possibilidade de aplicação de outras estratégias de SI, como o compartilhamento de utilidades e serviços. Essas estratégias, quando aplicadas de modo coletivo, resultam em menores custos e outros benefícios.

Conforme discutido por Marinho, Freire e

Kiperstok (2019), a gestão da oferta deve ser acompanhada pela gestão da demanda, uma vez que existe uma limitação decorrente da escassez de recursos. Torna-se cada vez mais difícil ampliar a oferta de um recurso sem rever se é realmente necessário consumi-lo mais, seja por questões ambientais ou econômicas. Nesse sentido, a P+L e a SI em EIP se mostram como estratégias complementares: a P+L se relaciona à gestão da demanda de recursos, ao propor ações visando ao uso mais eficiente de recursos e reduzindo a extração e a busca por novas fontes, enquanto a SI pode atuar na gestão da oferta, especialmente de água e energia, buscando por fontes mais limpas. A conjunção dessas ferramentas, para a gestão da oferta e da demanda, mostra-se necessária para garantir a disponibilidade futura dos recursos (GODOI; OLIVEIRA JÚNIOR, 2009). Assim, constatou-se a necessidade de associar as estratégias de SI à abordagem da P+L, considerando os 3 níveis P+L propostos por CNTL (2003).

Por conseguinte, as proposições são apresentadas no Quadro 1, para os principais tipos de recurso e necessidades identificadas no parque.

Quadro 1 – Estratégias de P+L e SI propostas para o parque estudado

Tipo de Recurso	Produção mais Limpa (Gestão da Demanda)	Simbiose Industrial (Gestão da Oferta)
Materiais	Estratégias de Nível 1 – Redução na Fonte: Modificações em Produto, Processo Boas Práticas	Estratégias de Nível 3 – Reciclagem externa: Gerenciamento coletivo de Resíduos Sólidos
Água		Geração/Aquisição compartilhada de Energias Renováveis
Energia		Uso de água da chuva
Conhecimento	Formação de Ecotime interno para implantação de programa de P+L	Formação de time com representantes das empresas para reuniões periódicas
Suporte Técnico	Consultoria para atendimento individual da empresa	Serviço de consultoria compartilhado para as empresas do parque

Fonte: Autoria própria, 2022.

Como pode ser observado a partir do Quadro 1, um EIP deve, primordialmente, gerir a demanda dos recursos, considerando, para isso, ações de P+L no nível interno de cada organização. Nesse sentido, o primeiro nível de atuação da Ecologia

Industrial em um EIP é o intrafirma. Cada empresa deve ser instigada a promover melhorias internas em seu processo produtivo, o que reverbera na coletividade do EIP como um todo. No parque em questão, as empresas estão localizadas muito

próximas umas às outras, em virtude de os pavilhões serem interligados e, nesses casos, o potencial de conflito é amplificado. Portanto, ao reduzir a geração de resíduos, há menos conflito pelo uso de espaço físico e por eventual incômodo atmosférico olfativo ou mesmo pela poluição visual causada pelo resíduo.

Em complementariedade às ações de redução na fonte, a SI apresenta como estratégia o gerenciamento compartilhado de resíduos sólidos, para os materiais excedentes não aproveitados integralmente nas organizações, aumentando a possibilidade de valorização desses materiais. Essa estratégia se origina da necessidade por empresas habilitadas e licenciadas para o recolhimento, transporte e destinação de resíduos sólidos e líquidos. Ao utilizarem um mesmo prestador de serviço, os custos são reduzidos e compartilhados. Além disso, somados os resíduos de cada empresa, o maior volume pode proporcionar possibilidades de valorização que não seriam possíveis de serem realizadas com o quantitativo gerado por uma única empresa. Nesse sentido, com o advento das demais fases do parque, até mesmo uma pequena unidade de beneficiamento de resíduos poderia ser instalada no interior do parque, reduzindo custos com transporte e servindo como um serviço adicional e atrativo comercial oferecido pela gestão do parque às empresas que já operam no local ou que pretendem se instalar. Na perspectiva da Ecologia Industrial, o parque se aproxima de um EIP ao gerir de modo mais adequado e eficiente o fluxo de materiais e energia no local.

Na mesma lógica, para a energia e água, além de medidas internas para redução de consumo interno e individual de cada empresa, a SI pode ser aplicada por meio do compartilhamento de energia renovável e de reuso da água da chuva. Novamente, a gestão da demanda é realizada por meio da P+L, pelo uso racional desses recursos, que possuem claros impactos financeiros em cada organização. Na gestão da oferta, o parque pode oferecer às empresas a oportunidade de instalação de painéis solares fotovoltaicos e sistema de reuso de água da chuva.

A sensibilização ambiental é de suma importância para o sucesso do projeto. Na lógica da P+L, há necessidade de formação de um ecotime (CNTL, 2003), responsável por conduzir o programa e implementá-lo juntamente com a

empresa. De forma mais ampla, para o parque como um todo, a noção de compartilhamento pretendida pela SI pode ser aplicada na forma de um time composto por representantes de cada empresa, para discussões acerca das melhorias no parque, com foco nas questões ambientais. A mesma lógica pode ser aplicada para serviço de consultoria ambiental. Um mesmo prestador de serviço pode ser contratado para o parque, para atender as empresas, o que reduz os custos e se torna um atrativo para a instalação no local.

4.1 Discussões gerais

A proposta fundamental de um ecossistema industrial requer interações simbióticas envolvendo materiais, água e/ou energia, para a configuração de um ciclo fechado. Contudo, operacionalizar essas práticas não é trivial, sobretudo os intercâmbios físicos. Devido à diversidade, sinergias desse tipo são complexas, sendo afetadas por fatores como qualidade, propriedades, quantidade disponível, sazonalidade, dentre outros requisitos de processo, que podem demandar mudanças tanto na empresa geradora quanto consumidora (ZHU; RUTH, 2014), sem mencionar as questões legais e burocráticas (SAKR *et al.*, 2011).

A idealização central da SI é que os materiais partam de uma indústria onde não foram completamente utilizados, para outra como matérias-primas ou insumos. Isso ocorre, na prática, com maior facilidade para os materiais que são coprodutos desejados dos processos, como é o caso da indústria química e petroquímica, cujos materiais possuem valor comercial atrativo e reduzido impacto ambiental negativo, tendo em vista suas potenciais aplicações, seja para reutilização, aproveitamento energético ou reciclagem. Contudo, as organizações ainda geram quantidades consideráveis de resíduos e rejeitos que não despertam interesse por parte de outras organizações, restando-lhes soluções de fim de tubo como os aterros ou a incineração, ou mesmo a reciclagem como subproduto, em uma perspectiva *downcycling*. A geração desses materiais é resultado, em inúmeros casos, de ineficiências e decorrente subutilização do recurso material e energético no processo produtivo de origem (DEUTZ, 2014). Para esse tipo de material, as dificuldades para se encontrar soluções de valorização e aproveitamento são ainda maiores,

de modo que a Simbiose Industrial pode não ser viável.

Diante disso, como recomendação aos *stakeholders* envolvidos em projetos de EIP torna-se imprescindível considerar os demais níveis de atuação da Ecologia Industrial para uma abordagem holística do ecoparque, particularmente a Prevenção da Poluição no nível intrafirma das organizações individuais. Isso, para combater os desperdícios e ineficiências de processos, por meio, por exemplo, da implantação e implementação de Programas de Produção Mais Limpa, como sugerem Qu *et al.* (2015) e Cruz *et al.* (2022). Buscar aplicar a Simbiose Industrial somente após a geração de um material, sem ações no processo que o gerou, isto é, em uma perspectiva fim-de-tubo, pode não ser suficiente para enfrentar as problemáticas presentes em um parque industrial, no que se refere ao uso de recursos e geração de resíduos. Em contraposição, a título de exemplo, no parque industrial de Naroda, na Índia, estratégias de Produção Mais Limpa foram aplicadas em indústrias de corantes e intermediários de corantes, que geravam lodos contendo substâncias perigosas. A partir das soluções, o lodo pôde ser vendido para indústrias de fabricação de materiais de construção (BAIN *et al.*, 2010). Por conseguinte, os materiais excedentes – não mais rejeitos – tornam-se coprodutos de interesse. Assim, a SI passa a despontar como uma das possibilidades de valorização dos materiais não aproveitados integralmente por uma organização, identificando oportunidades para mantê-los em um ciclo virtuoso e otimizado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo foi executado no Ecoparque Empresarial Lourenço e Souza, situado em Sapucaia do Sul, região Sul do Brasil. Focalizou-se na identificação de elementos pré-existentes que podem fomentar a transição a EIP do parque estudado. Observou-se que estratégias de Simbiose Industrial, ainda que de forma distinta dos parques industriais tradicionais, também podem ser aplicadas nesse tipo de empreendimento. Dessa forma, o trabalho colaborou para a inserção dos conceitos de SI e EIP em parques logísticos e de uso misto, que são menos estudados na literatura científica.

A pesquisa demonstrou a necessidade de uma abordagem conjunta entre diferentes

ferramentas e níveis de EI em EIP. Mais do que garantir a oferta de recursos, a demanda deve ser reconsiderada. Para tanto, a pesquisa apresentou como proposta a integração da SI, como uma ferramenta para gestão de oferta, à P+L, na gestão da demanda. Como limitações, o estudo teve como foco um único estudo de caso, executado em um parque de uso misto. Para trabalhos futuros, recomenda-se explorar outros tipos de parque e aprofundar as estratégias de P+L na prática, por meio da implementação e monitoramento das ações. O volume de controle do estudo pode ser ampliado para englobar os *stakeholders* externos às organizações, aprofundando as discussões acerca dos impactos do e-commerce, do expressivo aumento da movimentação de mercadorias e da cadeia de suprimentos como um todo.

REFERÊNCIAS

- BAIN, A. *et al.* Industrial symbiosis and waste recovery in an Indian industrial area. **Resources Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 54, n. 12, p. 1278–1287, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.04.007>. Acesso em: 15 nov. 2021.
- BORELLI, E.; MONTI, J. Análise da aplicabilidade mercadológica do seguro ambiental no Brasil. **Redeca**, v.1, n. 1, p. 01-20, jan./jun. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.23925/2446-9513.2014v1i1p1-20>. Acesso em: 16 nov. 2022.
- CATAPAN, D. *et al.* Produção mais Limpa – A Terceira Geração da Gestão Ambiental. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 3, São Carlos, SP, Brasil, 12 a 15 de outubro de 2010. 2010. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STO_121_787_16651.pdf. Acesso em: 01 dez. 2022.
- CHEN, X. *et al.* Comprehensive evaluation of environmental and economic benefits of industrial symbiosis in industrial parks. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 354, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131635>. Acesso em: 25 jun. 2023.
- CHERTOW, M. Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. **Annual Review of Energy and**

the Environment, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 313–337, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>. Acesso em: 3 mar. 2021.

CHERTOW, M.; EHRENFELD, J. Organizing Self-Organizing Systems: Toward a Theory of Industrial Symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**, New Haven, v. 16, n. 1, p. 13–27, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00450.x>. Acesso em: 03 nov. 2021.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS (CNTL). Implementação de Programas de Produção Mais Limpa. Porto Alegre: SENAI-RS/UNIDO/INEP, 2003. 42 p.

CÔTÉ, R. P.; COHEN-ROSENTHAL, E. Designing eco-industrial parks: A synthesis of some experiences. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 6, n. 3–4, p. 181–188, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(98\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(98)00029-8). Acesso em: 14 dez. 2020.

CRUZ, H. *et al.* Process system engineering and the development of tools for environmental considerations in the perspective of industrial ecology. In: SINGH, Pardeep, *et al.* (Org.). *Environmental Sustainability and Industries - Technologies for Solid Waste, Wastewater, and Air Treatment*. 1. ed. Amsterdam: Elsevier, v. 1, p. 289-304, 2022.

DEUTZ, P. Food for thought: Seeking the essence of industrial symbiosis. In: SALAMONE R., SAIJA G. (eds). **Pathways to Environmental Sustainability: Methodologies and Experiences**. [S. l.: s. n.], p. 3–11, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-03826-1_1. Acesso em: 15 mar. 2021.

GODOI, J.; OLIVEIRA JUNIOR, S. Gestão da Eficiência Energética. In: *International Workshop Advances in Cleaner Production*, 2, São Paulo: 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Silvio-De-Oliveira-Junior/publication/237582181_Gestao_da_Eficiencia_Energetica/links/54103a910cf2d8daaad26ef6/Gestao-da-Eficiencia-Energetica.pdf. Acesso em: 16 jun. 2022.

GRAEDEL, T. L.; ALLENBY, B. R. **Industrial Ecology and Sustainable Engineering**. 1. ed.

Nova Iorque: Prentice Hall, 2010.

HONG, H.; GASPARATOS, A. Eco-industrial parks in China: Key institutional aspects, sustainability impacts, and implementation challenges. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 274, p. 122853, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122853>. Acesso em: 11 dez. 2020.

HERCZEG, G; AKKERMAN, R.; HAUSCHILD, M. Supply chain collaboration in industrial symbiosis networks. **Journal of Cleaner Production**. [s. l.]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.046>. Acesso em: 16 nov. 2022.

HERZER, E. *et al.* Simbiose Industrial e Produção Mais Limpa como Estratégias de Gestão Ambiental. **Revista Ingeniería Industrial**. Concepción: n. 3, v. 16, p. 273 – 288, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.22320/S07179103/2017.16>. Acesso em: 16 nov. 2022.

Jl, Y. *et al.* Which factors promote or inhibit enterprises' participation in industrial symbiosis? An analytical approach and a case study in China. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 244, p. 118600, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118600>. Acesso em: 18 mar. 2021.

LAWAL, M. *et al.* Industrial symbiosis tools—A review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 280, p. 124327, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124327>. Acesso em: 11 dez. 2020.

LOWE, E. A. *et al.* Fieldbook for the Development of Eco-Industrial Parks Indigo Development. [S. l.: s. n.], 1996. Disponível em: <http://infohouse.p2ric.org/ref/10/09932.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2021.

MARINHO, M; FREIRE, M; KIPERSTOK, A. O Programa AGUAPURA de racionalização do consumo de água da Universidade Federal da Bahia. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.24 n.3, p. 481-492, 2019.

NEVES, A. *et al.* A comprehensive review of industrial symbiosis. **Journal of Cleaner**

Production, [s. l.], v. 247, p. 119113, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113>. Acesso em: 11 dez. 2020.

PARK, H.- S., *et al.* (2008). Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan, South Korea-From spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis. **Journal of Environmental Management**, 87(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.045>

QU, Y. *et al.* Environmental practice and its effect on the sustainable development of eco-industrial parks in China. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 685–700, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.2495/SDP-V10-N5-685-700>. Acesso em: 12 mar. 2021.

ROCHA, L. K. **A Simbiose Industrial aplicada na inter-relação de empresas e seus stakeholders na cadeia produtiva metal-mecânica na bacia do Rio dos Sinos**. 210 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

SAKR, D. *et al.* Critical success and limiting factors for eco-industrial parks: Global trends and Egyptian context. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 19, n. 11, p. 1158–1169, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.01.001>. Acesso em: 12 nov. 2021.

SCHWARZ, E. J.; STEININGER, K. W. Implementing nature's lesson: The industrial

recycling network enhancing regional development. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 5, n. 1–2, p. 47–56, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0959-6526\(97\)00009-7](https://doi.org/10.1016/s0959-6526(97)00009-7). Acesso em: 10 mar. 2021.

VEIGA, L.; MAGRINI, A. Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 17, n. 7, p. 653–661, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.009>. Acesso em: 11 dez. 2020.

WANG, T. *et al.* How to promote industrial park recycling transformation in China: An analytic framework based on critical material flow. **Environmental Impact Assessment Review**, [s. l.], v. 87, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106550>. Acesso em: 25 jun. 2023.

YUAN, Z. *et al.* The Circular Economy: A New Development Strategy in China. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], v. 10, n. 1–2, p. 4–8, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1162/108819806775545321>. Acesso em: 2 fev. 2022.

ZHU, J.; RUTH, M. The development of regional collaboration for resource efficiency: A network perspective on industrial symbiosis. **Computers, Environment and Urban Systems**, [s. l.], v. 44, p. 37–46, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.11.001>. Acesso em: 14 ago. 2021.