UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS, ADMINISTRATIVAS E CONTÁBEIS - ICEAC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO - PPGA

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL NA ZONA PORTUÁRIA DO SUL DO BRASIL

Catherine Santos Salomão

Rio Grande, RS

2025

Catherine Santos Salomão

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL NA ZONA PORTUÁRIA DO SUL DO BRASIL

Projeto de Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração – PPGA da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, como requisito para a defesa ao título de Mestre em Administração.

Orientador: Prof. Dr Samuel Vinícius Bonato

Rio Grande, RS

2025

Ficha Catalográfica

S173d Salomão, Catherine Santos.
Desenvolvimento de um modelo de simbiose industrial na zona portuária do sul do Brasil/ Catherine Santos Salomão. – 2025.
77 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Administração – PPGA, Rio Grande/RS, 2025.
Orientador: Dr. Samuel Vinícius Bonato.

1. Simbiose industrial 2. Economia circular 3. Portos
4. Design Science Research I. Bonato, Samuel Vinícius II. Título.

CDU 334

Catalogação na Fonte: Bibliotecária Simone Tarouco Przybylski CRB 10/1166

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
COORD CUR DE PG EM ADMINISTRAÇÃO

ATA DE REUNIÃO, DE 08 DE JULHO DE 2025

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 10 dias do mês de Julho de dois mil e vinte e cinco, às 15h30, realizou-se a defesa de dissertação do Programa de Pós-Graduação em Administração, nível mestrado, da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, no ambiente virtual da SEaD, cuja Banca foi constituída pelos professores: Samuel Vinícius Bonato, Clandia Maffini Gomes e Vanessa de Campos Junges, para arguir da mestranda **Catherine Santos Salomão**. Após a apresentação da dissertação intitulada "***DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL NA ZONA PORTUÁRIA DO SUL DO BRASIL*** " e a arguição dos avaliadores seguida de defesa, a Banca reuniu-se e considerou o trabalho Aprovado, emitindo o parecer a seguir:

Aprovado sem restrições

Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente Ata que após lida e aprovada será assinada pelos membros componentes da Banca.

gov.br Documento assinado digitalmente
SAMUEL VINICIUS BONATO
Data: 18/07/2025 10:35:55-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Samuel Vinícius Bonato
Orientador

gov.br Documento assinado digitalmente
CLANDIA MAFFINI GOMES
Data: 22/07/2025 15:21:41-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Clandia Maffini Gomes
FURG

gov.br Documento assinado digitalmente
VANESSA DE CAMPOS JUNGES
Data: 21/07/2025 21:29:29-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Vanessa de Campos Junges
UNICRUZ

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande (FURG) pela formação sólida e pelo conhecimento construído ao longo da minha trajetória acadêmica. A FURG foi mais do que uma instituição de ensino para mim, foi um espaço de descobertas, crescimento e transformação pessoal e profissional.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Samuel Vinícius Bonato, que esteve ao meu lado sendo um verdadeiro incentivador do meu percurso. Obrigada por acreditar no meu potencial, por me encorajar a buscar sempre mais, por abrir caminhos em projetos de pesquisa, por sua orientação e paciência ao longo de todos esses anos. Ter sido sua orientanda no mestrado foi uma honra e uma oportunidade que levarei com gratidão e carinho.

Meus mais profundos agradecimentos à minha mãe, Cecília Janete Santos Salomão, meu porto seguro, minha vida e minha maior inspiração. É por você que sigo em frente com coragem e determinação. Você é o motivo das minhas forças, inclusive para correr atrás de sonhos que, em outros tempos, eu sequer imaginava sonhar. Obrigada por sempre acreditar em mim, mesmo nos momentos em que eu mesma duvidava.

Agradeço também à minha dinda, Nanci Salomão, que sempre guiou meus passos com sabedoria e amor, acreditando no meu potencial mesmo antes de eu compreendê-lo plenamente. Sua presença em minha vida foi e continua sendo essencial.

Às amigas que estiveram comigo ao longo dessa jornada: obrigada por cada palavra de incentivo, por cada gesto de apoio e por serem inspiração constante. A troca de ideias, os momentos de escuta, conselhos e o acolhimento foram combustíveis poderosos para eu não desistir.

E, por fim, agradeço à Deus por ter me amparado até aqui. Foi Ele quem me deu forças nos dias difíceis, serenidade nas dúvidas e luz nas decisões. A conclusão desta dissertação é também um testemunho da fé que me acompanha e me sustenta.

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL NA ZONA PORTUÁRIA DO SUL DO BRASIL

DEVELOPMENT OF A MODEL OF INDUSTRIAL SYMBIOSIS IN THE PORT AREA OF SOUTHERN BRAZIL

RESUMO

Diante dos desafios ambientais enfrentados por pequenas e grandes cidades, políticas públicas têm incentivado a adoção de práticas sustentáveis voltadas à preservação dos recursos naturais. Nesse contexto, a Economia Circular (EC) surge como uma alternativa estratégica para o reaproveitamento de recursos e a redução de impactos ambientais. Inserida nessa lógica, a Simbiose Industrial (SI) representa uma abordagem inovadora que promove a cooperação entre empresas para a valorização de resíduos e maior eficiência no uso de insumos. Em zonas portuárias, onde há intensa movimentação de materiais e produtos, o potencial para aplicação da EC e da SI é ampliado, especialmente diante de desafios como poluição, congestionamento e pressão sobre os recursos naturais.Com o objetivo de propor um modelo para o desenvolvimento da SI em zonas portuárias, esta pesquisa adotou a metodologia Design Science Research (DSR), estruturada em etapas que contemplam diagnóstico, construção e avaliação de artefatos. A partir da identificação e adaptação de modelos de SI presentes na literatura, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com gestores de cinco empresas de diferentes segmentos localizadas no Porto de Rio Grande (RS), com foco na identificação dos resíduos gerados e na análise de seu potencial de reaproveitamento.Os resultados evidenciaram oportunidades significativas de sinergia entre as empresas, especialmente na reutilização de lodos industriais e sucatas metálicas. Como proposta prática, a pesquisa sugere a criação de uma plataforma digital para gestão compartilhada de resíduos e o fortalecimento de parcerias público-privadas como estratégias viabilizadoras da SI na região portuária. As principais contribuições do estudo incluem a proposição de um modelo adaptado às especificidades da zona portuária (validado por especialistas) e a ampliação da discussão sobre práticas colaborativas voltadas à sustentabilidade industrial. Como pesquisas futuras, recomenda-se a implementação e o monitoramento do modelo proposto, bem como a análise de viabilidade econômica das sinergias identificadas, destacando a necessidade de melhorias na infraestrutura regional para o reaproveitamento dos resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Simbiose Industrial; Economia Circular; Portos; Design Sciencie Research.

ABSTRACT

Given the environmental challenges faced by cities large and small, public policies have encouraged the adoption of sustainable practices aimed at preserving natural resources. In this context, the Circular Economy (CE) emerges as a strategic alternative for reusing resources and reducing environmental impacts. Within this framework, Industrial Symbiosis (IS) represents an innovative approach that promotes cooperation between companies to reclaim waste and increase the efficiency of inputs. In port areas, where there is intense movement of materials and products, the potential for applying CE and SI is enhanced, especially given challenges such as pollution, congestion, and pressure on natural resources. Aiming to propose a model for developing SI in port areas, this research adopted the Design Science Research (DSR) methodology, structured in stages that encompass diagnosis, construction, and evaluation of artifacts. Based on the identification and adaptation of IS models found in the literature, semi-structured interviews were conducted with managers of five companies from different segments located in the Port of Rio Grande, Rio Grande do Sul, focusing on identifying the waste generated and analyzing its potential for reuse. The results highlighted significant opportunities for synergy between the companies, especially in the reuse of industrial sludge and metal scrap. As a practical proposal, the research suggests the creation of a digital platform for shared waste management and the strengthening of public-private partnerships as strategies to enable IS in the port region. The main contributions of the study include the proposal of a model adapted to the specificities of the port area (validated by experts) and the expansion of the discussion on collaborative practices aimed at industrial sustainability. For future research, we recommend the implementation and monitoring of the proposed model, as well as the economic feasibility analysis of the identified synergies, highlighting the need for improvements in regional infrastructure for waste reuse.

KEYWORDS: Industrial Symbiosis; Circular Economy; Ports; Design Sciencie Research.

LISTA DE SIGLAS

EC – Economia Circular
ENEC – Estratégia Nacional de Economia Circular
SI – Simbiose Industrial
EI – Ecologia Industrial
ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários
RSL – Revisão Sistemática da Literatura
ONU – Organização das Nações Unidas
AHP – Processo de Hierarquia Analítica
SIEI – Sociedade Internacional da Ecologia Industrial
DSR – Design Science Research
EIP - Parques Eco-Industriais

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Framework criado por Spekkink 30
Figura 2 - Estrutura de análise das interações de Simbiose Industrial, esferas e domínios 35
Figura 3 - Método para revisão da literatura 38
Figura 4 - Fluxo de informações nas diferentes fases de uma revisão sistemática (RSL) 40
Figura 5 - Método de trabalho conforme o método de pesquisa DSR 48
Figura 6 - Framework modelo atual dos resíduos gerados 54
Figura 7 - Framework com o mapeamento de resíduos e potenciais sinergias 56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características da Simbiose Industrial encontradas na literatura 25
Quadro 2 - Indicadores para avaliação de desempenho de redes simbióticas 29
Quadro 3 - Tipos de interações identificadas 31
Quadro 4 - Modelos encontrados na literatura 37
Quadro 5 - Protocolo final de Pesquisa 39
Quadro 6 - Empresas localizadas no complexo portuário de Rio Grande segundo o plano mestre 41
Quadro 7 - Perfil das empresas entrevistadas 42
Quadro 8 - Perfil dos especialistas entrevistados 43
Quadro 9 - Matriz de amarração 44
Quadro 10 - Instruções para o uso da Design Science Research (DSR) 47
Quadro 11 - Descrição das 5 etapas da DSR 47
Quadro 12 - Etapas da Design Science Research aplicadas à construção do modelo de SI para Zonas Portuárias 50
Quadro 13 - Tipos de Produto / Serviço que a empresa oferece 51
Quadro 14 - Resíduos que as empresas geram 51
Quadro 15 - Quantidade total de resíduos gerados 52
Quadro 16 - Destinação, coleta e reúso de resíduos 53
Quadro 17 - Iniciativas para rentabilização de resíduos 53
Quadro 18 - Principais indicadores sugeridos 57
Quadro 19 - Fases de implementação 58
Quadro 20 - Avaliação do modelo proposto por especialistas 60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **10**
1.1 OBJETIVOS 16
1.1.1 OBJETIVO GERAL 16
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16
1.2 JUSTIFICATIVA 16
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO 18
2 REVISÃO DA LITERATURA **18**
2.1 ECONOMIA CIRCULAR 18
2.2 SIMBIOSE INDUSTRIAL 21
2.2.1 PRÁTICAS DE SIMBIOSE INDUSTRIAL 24
2.3 PORTOS E A SIMBIOSE INDUSTRIAL 26
2.4 MODELOS DE SIMBIOSE INDUSTRIAL 27
3 MÉTODO **38**
3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA 38
3.1.1 COLETA DE DADOS 41
3.1.2 ENTREVISTAS 43
3.2 ANÁLISE DE DADOS 44
3.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO 46
4. ANÁLISE DAS ENTREVISTAS **50**
5. RESULTADOS **55**
5.1 ETAPAS DO MODELO 55
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS **63**
REFERÊNCIAS **67**
APÊNDICE A **76**
APÊNDICE B **77**

1 INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial, os processos de industrialização e urbanização nos grandes centros urbanos intensificaram-se significativamente, promovendo alterações drásticas no uso dos recursos naturais e na organização dos territórios. Esse avanço, embora tenha impulsionado o crescimento econômico, também contribuiu para a intensificação da degradação ambiental e o desequilíbrio dos ecossistemas, configurando o que se reconhece atualmente como uma crise ambiental global (Li e Zhang, 2025).

Um dos principais agravantes dessa crise é o aumento da poluição, impulsionado, entre outros fatores, pelo descarte incorreto de resíduos sólidos. Quando esses resíduos são depositados em locais inadequados como lixões, aterros sanitários irregulares ou terrenos baldios, geram impactos ambientais, mas também sérios riscos à saúde pública, devido à proliferação de vetores de doenças e à perda de recursos naturais (Figueiredo, 2023).

No mesmo campo da degradação ambiental, situa-se a poluição de todos os cursos d'água urbanos pelo esgoto não tratado (Da Silva e Brito, 2021). O aumento da poluição tem como principais fatores o descarte incorreto e a falta de tratamento dos resíduos gerados a partir de atividades industriais, de agricultura, de mineração e de atividades domiciliares, visto que, grande parte desses detritos tem como destino os rios, enquanto o restante se acumula em aterros sanitários e lixões. Da Silva e Brito (2021) explicam que são claras as implicações da gestão inadequada de tais resíduos sólidos no meio ambiente, que refletem na degradação do solo, no comprometimento dos mananciais, na poluição do ar e na saúde pública. Neste quesito, o Brasil é o quarto maior produtor mundial de plástico e não possui políticas voltadas ao controle e reciclagem deste resíduo, que continua presente nas prateleiras dos mercados mundiais (Conceição et al., 2019).

Nesse cenário, a Economia Circular (EC) se apresenta como uma alternativa ao modelo linear tradicional, propondo a conciliação entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental. Fundamentada no uso eficiente dos recursos, a EC prioriza insumos duráveis, recicláveis e renováveis, promovendo a reutilização de materiais, o aumento da vida útil dos produtos e a minimização de desperdícios ao longo de toda a

cadeia produtiva. De acordo com a norma ISO 59004, a EC é definida como um sistema econômico que mantém o fluxo de recursos por meio da adição, retenção e regeneração de valor, contribuindo significativamente para o desenvolvimento sustentável.Empresas como Coca-Cola, CBPak e Nespresso são algumas das diversas indústrias que possuem iniciativas de EC.[1] Ambas possuem projetos que visam a sustentabilidade, como a reutilização das garrafas de vidros, itens que servem como adubo e centros de reciclagem.

De acordo com site da Ellen Macarthur Fundation (2015), a EC foi criada em torno de três princípios, sendo: eliminar o desperdício e a poluição, reintroduzir produtos e materiais que seriam jogados no lixo novamente dentro do ciclo produtivo (aumentando seu valor) e, ações que ajudam a natureza a se regenerar mais rápido. Se vinculada a uma definição econômica, Morseletto (2020) ressalta que a EC é como um modelo econômico voltado para o uso eficiente e eficaz dos recursos, através da minimização de resíduos, valor a longo prazo, retenção, redução de recursos primários e ciclos fechados de produtos.

Segundo Silva (2021), países líderes na adoção dos princípios da EC têm políticas públicas mais robustas e bem organizadas, estabelecidas através de planos ou leis. A Alemanha foi pioneira na implementação do conceito de EC, começando em 1996 com a aprovação de uma legislação sobre gestão de substâncias tóxicas e resíduos em ciclo fechado (Sehnem e Pereira, 2018). Posteriormente, em 2000, o Japão também promulgou uma lei para promover a EC nacionalmente, incentivando a criação de uma sociedade com alta produção e consumo para desenvolver um projeto-piloto focado nessa abordagem (Zang, 2006).

No Brasil, até recentemente, existiam iniciativas voltadas para a EC, mas faltava uma política pública nacional regulatória que garantisse uma transição eficaz para esse modelo (Pa, 2024). Em junho de 2024, um avanço significativo ocorreu quando o presidente da República assinou o [2]Decreto que estabelece a Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC) durante uma reunião do Conselhão. A ENEC visa transformar o modelo linear de produção em uma EC, promovendo o uso eficiente

[1] https://fia.com.br/blog/economia-circular/

[2] https://www.gov.br/planalto/pt-br/vice-presidencia/central-de-conteudo/noticias/governo-federal-lanca-a-estrategia-nacional-de-economia-circular

dos recursos naturais e práticas sustentáveis em toda a cadeia produtiva. A estratégia cria um ambiente normativo e institucional para a EC, incentiva a inovação, educação e competências, e inclui diretrizes para a eliminação da poluição, manutenção do valor dos materiais e redução da dependência de recursos naturais, além de propor instrumentos financeiros e promover a articulação entre diferentes setores e trabalhadores para uma transição justa e inclusiva.

Com base nos princípios da EC, pequenas e grandes cidades, impulsionadas por políticas públicas, têm adotado práticas sustentáveis voltadas à preservação dos recursos naturais e à construção de um futuro mais resiliente para as próximas gerações. Essas iniciativas não apenas buscam evitar o esgotamento dos insumos ambientais, como também visam gerar benefícios econômicos por meio da utilização eficiente dos recursos. Nesse contexto, consolida-se uma abordagem sistêmica de enfrentamento dos desafios urbanos, na qual a natureza é integrada como parte da solução. A EC, assim, torna-se uma diretriz estratégica para o (re)planejamento das cidades, orientando a reutilização dos diversos recursos gerados e utilizados pelas organizações, ao mesmo tempo em que contribui para a mitigação dos impactos ambientais. Nesse cenário, destaca-se a Simbiose Industrial (SI) como um desdobramento prático da EC, promovendo a cooperação entre empresas para o uso compartilhado de resíduos, energia e insumos, contribuindo para a circularidade dos processos produtivos (Bocken et al., 2014).

Segundo Marques (2021), estudos referentes a proposição de mecanismos para a inserção de práticas sustentáveis pelas indústrias são comumente encontrados na literatura. A adoção de medidas relacionadas a EC, principalmente sobre a geração de frameworks, modelos de avaliação de níveis de sustentabilidade industrial e a implementação de Parques Eco-Industriais (EIP), ajudam a obter formas para propor esse gerenciamento de resíduos provenientes das indústrias, denominado como SI (Liu e Côté, 2017; Zhao, Zhao e Guo, 2017; Hein et al., 2015; Huang et al., 2019). A SI é entendida como um dos principais meios de implementar a EC, sendo considerada uma das principais áreas de atuação para o incentivo e a alavancagem da transição para o desenvolvimento de modelos de negócios sustentáveis e circulares (Fagliari, 2023; European Comission, 2014).

Trevisan et al. (2016) destacam que o termo "simbiose" significa, literalmente, “viver junto” e é utilizado para descrever interações entre organismos de diferentes espécies que mantêm relações diretas e mutuamente benéficas (Begon, Townsend e Harper, 2007; Callenbach, 2001; Pinto-Coelho, 2009). No campo organizacional, Lombardi e Laybourn (2012) definem a SI como uma rede formada por múltiplas empresas com o objetivo de promover a eco-inovação e estimular uma mudança cultural de longo prazo. Nesse sentido, a SI representa um sistema de interações colaborativas que possibilita o desenvolvimento e a troca de conhecimentos, resultando em transações vantajosas para todos os envolvidos e em processos de negócios mais eficientes (Trevisan et al., 2016).

O primeiro registro prático da aplicação do conceito de SI com enfoque circular na produção remonta a 1972, na cidade de Kalundborg, na Dinamarca. Conforme descrito por Chertow (2000), esse pioneiro ecossistema industrial emergiu quando quatro empresas, juntamente com o município, passaram a compartilhar recursos como água subterrânea, água superficial, águas residuais, vapor e eletricidade. Além disso, estabeleceram trocas de resíduos que passaram a ser utilizados como matérias-primas em outros processos produtivos, totalizando aproximadamente 2,9 milhões de toneladas de materiais reutilizados por ano. Essa cooperação interorganizacional resultou em expressivos ganhos de eficiência ambiental e econômica, além de promover benefícios operacionais por meio da partilha de infraestrutura, mão de obra e informações. Foi nesse contexto que Chertow (2000) estabeleceu o termo “Simbiose Industrial”, definindo-o como um modelo de colaboração entre indústrias no qual a presença de cada uma fortalece a viabilidade das demais, ao mesmo tempo em que atende às crescentes demandas da sociedade por uso racional dos recursos e preservação ambiental.

Ademais, Faria (2022) destaca que o conceito de SI se baseia em uma analogia com os ecossistemas naturais, nos quais ocorrem trocas entre os seres vivos. Na SI, essas trocas físicas de materiais, energia, água e subprodutos acontecem entre empresas durante seus processos produtivos, integrando assim o campo relativamente novo da Ecologia Industrial (EI). Nesse sentido, Chertow (2000) ressalta que os ecossistemas de SI representam exemplos concretos da aplicação desse conceito. Deste modo, as SI’s configuram-se como uma estratégia para alcançar a EC, com uma concepção ligada à

capacidade das empresas de reutilizar os resíduos de uma organização como matéria-prima para outra.

Além disso, De Souza Leite et al. (2023) destacam que as abordagens da EC e da SI propõem novas práticas de produção e consumo baseadas em um modelo industrial que busca otimizar o uso dos recursos e minimizar ou eliminar o desperdício. Contudo, apesar dos avanços na agenda do desenvolvimento sustentável e do progresso acadêmico nessas áreas, tais conceitos ainda não se traduziram em mudanças concretas na prática. A economia global permanece baseada no modelo linear de produção, no qual os bens de consumo são fabricados a partir de matérias-primas, vendidos, utilizados e descartados como resíduos (Saavedra et al., 2018).

Dados comprovados da realidade brasileira fortalecem esse entendimento. No período de 9 anos, a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil aumentou de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano, onde a quantidade de resíduos coletados também cresceu, passando de 59 milhões de toneladas em 2010 para 72,7 milhões de toneladas em 2019, sendo que, a maior parte deles ainda segue para disposição em aterros sanitários e para unidades inadequadas como os lixões (Abrelpe, 2020). A nível organizacional, algumas práticas vêm sendo implementadas pelas empresas, como as práticas de produção mais limpa (Oliveira et al., 2019; Sakr e Sena, 2017; Sousa-Zomer et al., 2018), o ecodesign (Cicconi, 2020; Donnelly et al., 2006) e a logística reversa (Caiado et al., 2017; Chileshe et al., 2018; Kaviani et al., 2020).

Perante o exposto, é perceptível que o aumento na quantidade de resíduos coletados reflete tanto o crescimento populacional quanto o aumento do consumo, o que evidencia a necessidade de abordagens mais eficientes para o gerenciamento desses resíduos. No entanto, em nível interorganizacional, ou seja, nas estratégias em que empresas de diferentes setores colaboram para se adaptar a um mercado cada vez mais competitivo, são poucas as iniciativas registradas relacionadas ao reaproveitamento dos fluxos residuais de materiais e energia. Nesse contexto, a Simbiose Industrial (SI) apresenta-se como uma estratégia abrangente para redes interorganizacionais, na qual as organizações cooperam com o objetivo de alcançar a sustentabilidade industrial, considerando não apenas os aspectos econômicos, mas também os sociais e ambientais (Faria, 2022).

Estudar EC e SI em empresas é fundamental por diversos motivos, visto que, esses conceitos oferecem abordagens transformadoras para a sustentabilidade (Korhonen et al., 2018), a eficiência de recursos (Farias, 2021) e a resiliência empresarial (Ferreira, Da Silva e Ferreira, 2017). A EC e a SI permitem que as empresas reduzam seu impacto ambiental (Farias, 2021), ao adotar práticas circulares, como o reaproveitamento de materiais e a minimização de resíduos, contribuindo para a preservação dos ecossistemas e a mitigação das mudanças climáticas; otimização de uso dos recursos; reutilização de materiais, o que pode resultar em economia de custos e maior competitividade; além de incentivar a criatividade e a colaboração entre empresas (Sebastián Suarez e Martín Ortolani, 2019).

No campo referente às Zonas Portuárias, as empresas dispõem de acesso privilegiado a fluxos de materiais e produtos, ao mesmo tempo em que enfrentam desafios significativos, tais como poluição, congestionamento e pressão sobre os recursos naturais. Nesse contexto, utilizar a EC e a SI revela-se fundamental para a integração dos processos logísticos e a otimização do uso desses recursos, além da mitigação dos impactos ambientais, promovendo a sustentabilidade das operações. Dessa forma, a análise dessas práticas nessas organizações torna-se imprescindível, uma vez que estimulam a adoção de processos produtivos mais limpos (Isoton, Giacomello e Fachinelli, 2023; Herzer, 2017) e estão em consonância com os objetivos de desenvolvimento sustentável (Reis, 2019; Weetman, 2019).

Segundo Rouffiac (2016), os portos ligam uma região à outra através do transporte internacional. A importância é inegável, pois os portos podem representar até 25% da produção primária global (Turner, Subak e Adger, 1996), fornecendo valor agregado às cidades. Contudo, as atividades portuárias geralmente envolvem indústrias pesadas, como refinarias, fábricas de produtos químicos, produção de carvão siderúrgico, processamento de papel e celulose, aeroespacial e geração de energia renovável (Merk, 2013), setores que demandam elevados recursos e que geram impactos ambientais consideráveis (Rouffiac, 2016). Deste modo, a integração da SI emerge como uma estratégia para promover a EC, contribuindo para a otimização dos recursos disponíveis.

Assim sendo, em uma sociedade ainda predominantemente orientada por um modelo de economia linear (caracterizado pela extração intensiva de recursos naturais,

produção em larga escala e descarte inadequado de resíduos), os impactos ambientais se intensificam, comprometendo o equilíbrio ecológico e agravando a crise climática global (Nunes, 2022). Diante desse cenário, torna-se imprescindível repensar os sistemas produtivos, buscando alternativas sustentáveis capazes de promover a harmonia entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental. Nesse contexto, surge a seguinte questão de pesquisa: "**Como desenvolver a Simbiose Industrial em uma Zona Portuária do Sul do Brasil?"**, propondo-se a investigar formas de transformar resíduos em recursos por meio da cooperação entre empresas.

1.1 OBJETIVOS

Nesta seção apresenta-se o objetivo geral do estudo, assim como os objetivos específicos para sustentar o mesmo.

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Propor um modelo para desenvolvimento da Simbiose Industrial na Zona Portuária de Rio Grande.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, apresenta-se os objetivos específicos deste trabalho:

- Analisar a atual situação da Zona Portuária de Rio Grande em relação a Sl (empresa/resíduos e destinatários);
- Identificar as oportunidades de cooperação e troca de resíduos entre as empresas;
- Propor orientações para promover a SI nas zonas portuárias;
- Desenvolver e propor um modelo de SI adaptado às necessidades e características das empresas localizadas no Porto de Rio Grande.

1.2 JUSTIFICATIVA

A degradação generalizada dos ecossistemas ao redor do mundo tem colocado a sociedade diante de uma situação sem precedentes, cujos efeitos atingem tanto as

organizações quanto a população em geral. Segundo De Abreu e Fernandes (2023), o crescimento populacional e o avanço das atividades organizacionais têm provocado um aumento significativo na geração de resíduos e acelerado o esgotamento dos recursos naturais, resultando em sérios impactos ambientais. A falta de conscientização ambiental e o uso inadequado desses recursos agravam mais o cenário, tornando necessário a adoção de práticas mais sustentáveis.

Utilizar os recursos de forma mais eficiente deve ser o ponto de partida para transformar o sistema industrial tradicional em um ecossistema industrial (Faria, 2022). Diante desse contexto, é fundamental que medidas ambientais sejam implementadas com rigor, desde ações individuais simples, como o descarte correto do lixo, até estratégias corporativas complexas, como a reutilização de insumos. É nesse panorama que se insere a SI, cuja proposta central é aproveitar os resíduos de um processo produtivo como matéria-prima para outro, contribuindo diretamente para a redução dos impactos ambientais causados pela indústria (Faria, 2022).

Referente a modelos de implementação de SI, Chertow (2007) define dois tipos: o modelo planejado e o modelo auto-organizado. O modelo planejado envolve um esforço racional para identificar empresas de diferentes setores e agrupá-las de modo que possam compartilhar recursos, geralmente com a participação de pelo menos um órgão governamental. Já o modelo auto-organizado ocorre de forma espontânea, quando um ecossistema industrial surge a partir de decisões independentes e descentralizadas tomadas por empresas privadas, motivadas pela troca de recursos para alcançar objetivos como redução de custos, aumento de receita ou expansão dos negócios. Vale de Paula et al. (2021) destacam que, nos estágios iniciais, os participantes geralmente não possuem consciência da existência da SI ou de sua inserção em um ecossistema industrial, mas essa percepção pode se desenvolver gradualmente ao longo do tempo.

Além disso, Lombardi et al. (2012) colaboram com essa divisão, mostrando em seu estudo que a SI tem se manifestado de duas maneiras, sendo internacionalmente, por meio de mandatos do governo do tipo *top-down* onde as políticas e regulamentações incentivam ou até mesmo exigem que as indústrias cooperem e compartilhem recursos, e na forma de programas independentes do tipo *bottom-up*, no qual redes de SI se formam organicamente, com parceiros que reconhecem os benefícios mútuos da colaboração, que podem ser independentes e não necessariamente limitadas a

proximidade geográfica, surgindo da vontade das empresas de otimizar recursos, reduzir desperdícios e melhorar sua eficiência.

À vista dos aspectos apresentados, a presente pesquisa se justifica pela oportunidade de desenvolver um modelo sustentável relacionado a SI, específico para as Zonas Portuárias, tendo como principal foco a redução do impacto ambiental (Herzer, 2020), garantia da realização das responsabilidades político ambientais (Saraceni, 2014) e a possibilidade da criação de um modelo que seja prático para esse setor que tem um impacto relevante no meio ambiente. Além disso, o estudo almeja inovar ao desenvolver e validar um modelo na área portuária visto que a SI pode ajudar a alcançar objetivos, como permitir que as empresas compartilhem recursos e materiais, reduzir o desperdício e aumentar a eficiência, criar produtos mais duradouros e fáceis de reparar, reduzir a necessidade de descarte e o aumento da vida útil dos produtos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho apresenta uma estrutura dividida em três partes principais. A primeira apresenta a importância da EC, com enfoque na SI; a segunda apresenta práticas de SI realizadas nas empresas situadas nos Portos do Rio Grande do Sul; e por fim, a terceira traz modelos de SI utilizados em organizações, para então conseguir chegar no objetivo principal, a criação de um modelo específico para as Zonas Portuárias. Ademais, no decorrer do trabalho são apresentados o método, contribuições teóricas e práticas, além dos resultados encontrados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo abordar diferentes elementos que sustentam o desenvolvimento desta dissertação. Inicialmente, apresentam-se os principais conceitos relacionados ao tema investigado. Em seguida, destaca-se a relevância da EC em conjunto com a SI. Ademais, são apresentados os modelos de SI encontrados na literatura, culminando com um quadro contendo um compilado de todos os modelos selecionados, englobando autor, ano, modelo e sua respectiva descrição.

2.1 ECONOMIA CIRCULAR

De acordo com Tiossi e Simon (2021), empresas, governos e a sociedade têm buscado, de maneira crescente, legar às futuras gerações um planeta em melhores

condições, adotando uma postura mais responsável em relação ao uso dos recursos naturais, a fim de assegurar sua disponibilidade futura, especialmente diante dos limites impostos pelo atual modelo econômico linear de produção. Isso porque, a geração de valor linear não leva em consideração que os recursos materiais e energéticos são finitos (Gonçalves e Barroso, 2019). Diante disso, a EC surge com o objetivo de oferecer uma alternativa ao modelo linear de produção, e estabelecer um novo paradigma de sustentabilidade (Vier, 2021).

As discussões sobre EC não são recentes, sendo um tema discutido por diversas escolas de pensamento desde meados de 1970 (Fontenele, 2023), tendo maior repercussão com a publicação do artigo intitulado “The Economics of the Coming Spaceship Earth”, do economista norte-americano Kenneth Boulding, apresentado no Fórum sobre o Futuro e Qualidade Ambiental em Economia Crescente, em Washington, em 1966. No evento, o autor utiliza a metáfora do planeta Terra como uma nave espacial, como explicação para o modelo econômico atual, além da relação com o meio ambiente, seus impactos e a crise ambiental moderna (De Assunção, 2019; Spash, 2013).

Sadowy e Biernacka (2022) evidenciam a EC enquanto um esforço para construir um novo paradigma econômico. Isto permitiria que a crescente população humana vivesse com segurança e prosperidade, ao mesmo tempo em que restringe a utilização extensiva de recursos naturais. Para atingir esses objetivos, são necessárias mudanças institucionais em níveis global, nacional, regional e local, bem como nas organizações individuais e em seus modos de funcionamento. Embora seja claro que apenas esforços conjuntos dos setores público e privado podem resultar na transição para um modelo circular, várias organizações podem desempenhar papéis diferentes e enfrentar diferentes tipos de desafios nesse processo.

Diante do exposto, é notório que a poluição é uma das maiores ameaças enfrentadas pelos ecossistemas em todo o mundo, e que a sua maior causadora é o descarte incorreto e a falta de tratamento dos resíduos gerados a partir das atividades industriais e domiciliares, já que grande parte desses detritos tem como destino os rios, aterros sanitários e lixões. Diante deste contexto, surge a necessidade de ações efetivamente sustentáveis, que promovam o desenvolvimento da EC, onde práticas de educação ambiental possibilitam a base para que essa transição possa acontecer

tornando possível o equilíbrio da relação desenvolvimento econômico e a sustentabilidade (Miranda et al., 2024). Outro exemplo de solução para esse problema utilizando a EC seria adotar o mesmo posicionamento da Índia, empregando o uso de práticas que estabeleçam ligações entre a EC e o desenvolvimento sustentável, relacionando o setor de energia renovável e a gestão de resíduos (Priyadarshini e Abhilash, 2020).

É notável que a EC representa um campo fértil para o avanço do conhecimento e a busca por soluções para desafios ambientais e econômicos contemporâneos (Duarte et al., 2023), além de desempenhar um papel importante na busca por um futuro mais sustentável. Suas implicações abrangem diversos setores e níveis de atuação, exigindo ação de todos: desde acordos internacionais, assinados pelo maior número possível de países, até ao comportamento individual dos consumidores. Para isso acontecer, é necessário estratégias relacionadas ao conceito de EC, como por exemplo a SI, onde a expressão "simbiose" baseia-se na noção de relações simbióticas biológicas na natureza, nas quais pelo menos duas espécies não relacionadas trocam entre si (Chertow, 2000).

A SI é um conceito que visa aprimorar o desempenho ambiental, social e econômico das indústrias por meio das trocas de produtos, resíduos e insumos (Motta, 2013). Nesse modelo de colaboração mútua, as empresas otimizam recursos e reduzem impactos negativos, seguindo a conhecida abordagem dos 3Rs: Reduzir, Reutilizar e Reciclar (Coelho, 2018). Na prática, a SI permite que os materiais partam de uma indústria onde não foram completamente utilizados, para outras como matérias-primas ou insumos (Da Cruz e Moraes, 2023), contribuindo para a redução do desperdício e a otimização do uso de recursos, podendo ser descrita, de modo geral, como precursora nos fechamentos de ciclos de produção, (De Macedo Ferreira, Dos Santos e Da Silva, 2021) além de conseguir reduzi-lo e reciclá-lo.

Segundo Miyamoto, Costa e Candiani (2022), a SI pode incentivar a colaboração e a cooperação entre organizações, trazendo benefícios, tais como o incentivo à EC, à reciclagem e ao reaproveitamento e valorização de resíduos, além da redução de custos associados à obtenção e ao transporte de matéria-prima. Um exemplo de SI nos Portos é o Parque Industrial de Kalundborg, na Dinamarca, onde várias empresas estabelecem uma simbiose eficiente ao compartilhar recursos e resíduos (Chertow, 2000). Além disso, um estudo realizado por Mota (2015) no Complexo

Industrial e Portuário do Pecém demonstrou a importância da SI ao investigar resíduos e identificar oportunidades de reutilização em áreas industriais.

Diante do exposto, é possível observar que a EC e a SI estão intrinsecamente relacionadas (Farias, 2021), oferecendo abordagens complementares para a sustentabilidade e o uso eficiente de recursos nas indústrias. Enquanto a EC é um conceito que visa romper com o modelo linear tradicional de produção (extrair, transformar, descartar) e promover ciclos fechados e equilibrados de produção (Lacerda e Leitão, 2021), a SI é uma estratégia colaborativa entre empresas para compartilhar recursos e resíduos (Da Cruz e Moraes, 2023).

2.2 SIMBIOSE INDUSTRIAL

A SI realiza intercâmbios através da identificação de potenciais utilizações alternativas para resíduos inexplorados, sendo um subcampo da ecologia industrial, que apareceu a primeira vez no início da década de 1970, sendo um modelo prático que visa redirecionar resíduos e matérias-primas de um determinado processo para serem utilizados em outro processo (Azevedo et al., 2021). O conceito exige que um sistema industrial seja visto não isoladamente dos seus sistemas circundantes, mas em conjunto com eles, é uma visão sistêmica em que se busca otimizar o ciclo total de materiais, desde materiais virgens, até material acabado, componente, produto, produto obsoleto e descarte final (Chertow, 2000).

Nesse contexto, as temáticas dos trabalhos de SI estão relacionadas às possibilidades de trocas de matéria e energia entre organizações, à identificação dos desafios associados ao estabelecimento de redes de simbiose e à quantificação dos impactos ambientais dessas interações (Miyamoto, Costa e Candiani, 2022). Ademais, Azevedo et al. (2021) também destacam que, essas trocas podem ocorrer em diferentes perspectivas, como por exemplo: dentro da mesma empresa, entre empresas diferentes, e/ou em parques eco industriais. Sugerindo que através da implementação deste modelo de negócio, as empresas são capazes de gerar benefícios ambientais, econômicos e sociais (Azevedo et al., 2021).

As principais barreiras para a implementação eficaz de sinergias da SI foram avaliadas em diferentes estudos, concluindo que os fatores econômicos, legislativos, regulamentares, técnicos, organizacionais e informacionais são os grupos mais

importantes a considerar (Harris, 2004). Para ultrapassar essas barreiras em seus diferentes níveis, estudos têm dado atenção especial à caracterização do processo emergente a SI, incluindo a compreensão dos fatores facilitadores e/ou barreiras, a promoção de redes colaborativas e a criação de modelos de negócios associados, como a pesquisa de Fabris, Sabbadini e Costa (2022). Contudo, é necessário identificar as ações necessárias para superar os diferentes níveis de barreiras e promover a implementação prática da SI de forma estruturada e simplificada (Azevedo et al., 2021).

Esta questão tem sido abordada por várias pesquisas que propuseram documentos de orientação para SI, focando principalmente de forma independente na perspectiva de introdução de conceitos e melhores práticas, desenvolvimento e facilitação de negócios, recomendações políticas e aspectos operacionais (Azevedo et al., 2021). Johnsen et al. (2015) identificaram um conjunto de barreiras para a realização de intercâmbios de SI e propuseram potenciais tópicos de referência a serem abordados em diretrizes futuras sobre a definição e os benefícios da SI.

Sob a ótica empresarial, Fraccascia et al. (2019) elaboraram um guia de modelos de negócios voltados à SI, contemplando diferentes configurações tanto para empresas que geram resíduos quanto para aquelas que os utilizam como insumos produtivos. De forma complementar, Moodie e Salolammi (2019) desenvolveram um resumo político baseado em exemplos de boas práticas de SI na região do Mar Báltico, oferecendo orientações práticas para autoridades e instituições públicas interessadas em desenvolver e implementar ecossistemas simbióticos. Em outra abordagem, Holgado et al. (2019) propuseram um processo estruturado, composto por etapas voltadas à identificação e análise de soluções simbióticas potenciais. Já Silva (2019), ressalta a importância das Ferramentas para SI (T4IS), como um conjunto de instrumentos projetados para incentivar a cooperação entre empresas, viabilizando a recuperação e reutilização de subprodutos industriais como insumos alternativos, por meio de um processo autoguiado.

Ademais, existem vários livros de campo ou abordagens “como fazer” que sintetizam grande parte do aprendizado da SI, incluindo um projeto canadense da Universidade de Dalhousie, na Nova Escócia, chamada “Projetando e Operando Sistemas Industriais Parques como ecossistemas” (Chertow, 2000) . Na mesma época, Ernie Lowe do Departamento de Indigo liderou a criação do Fieldbook para o

Departamento de Parques Eco Industriais preparados para a Agência de Proteção Ambiental dos EUA sob uma cooperativa de acordo com o Instituto de pesquisa triangular na Carolina do Norte (Chertow, 2000).

Uma análise dos projetos discutidos acima reforça a importância crítica do setor privado na SI. Embora os intervenientes privados não precisem necessariamente ser os iniciadores, é importante que estejam comprometidos com a implementação da SI. Isso acontece principalmente porque, na maioria dos casos, os fluxos da SI são de propriedade desses intervenientes privados ou compartilhados por eles, especialmente em conexões municipais de águas residuais. É aqui que a persistência do modelo tradicional apresenta um obstáculo significativo (Chertow, 2000).

Muitos dos custos e benefícios da SI recaem primeiro sobre os intervenientes privados e, posteriormente, sobre a comunidade em geral. O desafio está em garantir que os intervenientes privados possam se apropriar de benefícios suficientes dos ganhos ambientais proporcionados pela SI. Na prática, todos os projetos de desenvolvimento significativos exigem tempo e esforço. Isso é agravado nos projetos de parques eco industriais devido à necessidade de planejamento e coordenação multipartidários, bem como aos custos associados às transações (Chertow, 2000). Ademais, explicar a SI, especialmente seu componente educativo, é um desafio em si. Isso ocorre porque a SI não segue o modelo tradicional de negócios e requer uma mudança significativa nos modelos mentais individualistas dominantes.

É concebível que o setor privado possa abraçar a SI como uma extensão lógica da produtividade dos recursos, visto que acaba gerando vantagem competitiva a nível econômico, ambiental e social (Pinheiro et al., 2020). Além disso, os governos poderiam considerar a adesão aos parques eco industriais como uma maneira de revitalizar áreas industriais abandonadas, onde os papéis dos diversos intervenientes públicos e privados seriam definidos ao longo do tempo. É evidente que a SI também pode evoluir em direções que hoje sequer podemos imaginar. Nas últimas décadas, tornou-se inaceitável poluir de maneira aberta e agressiva em muitas partes do mundo; daqui a 30 anos, talvez seja igualmente impensável utilizar um recurso apenas uma vez.

2.2.1 PRÁTICAS DE SIMBIOSE INDUSTRIAL

Uma das práticas que a SI contempla é a troca de materiais, destacando a sobra de metais e plásticos e a chance desse nicho encontrado ser uma oportunidade para as

organizações (Miyamoto, Costa e Candiani, 2022). Outra prática relevante de SI é a otimização de sistemas. De acordo com o estudo de Bail et al. (2016), as empresas têm a capacidade de oferecer produtos e serviços de alta qualidade ao otimizar sistemas de logística reversa, gerenciar adequadamente os resíduos e promover a melhoria contínua. Ademais, com a utilização da SI, as organizações conseguem obter colaboração entre empresas para otimizar processos, reduzir custos e minimizar impactos ambientais, certificando que a aplicação da SI pode tornar as empresas mais competitivas no mercado (Bail et al., 2016).

Outro exemplo de prática associada à SI é a qualificação de serviços, conforme destacado por Henzer et al. (2020). Nessa perspectiva, a SI é discutida como uma abordagem capaz de aprimorar os sistemas produtivos, configurando-se como uma estratégia eficaz para a mitigação dos impactos ambientais nos processos de produção. Ademais, os autores argumentam que a aplicação da SI não se restringe ao setor industrial, podendo ser estendida a contextos como a gestão urbana, a agricultura familiar e a construção civil. Dessa forma, a SI contribui para a qualificação de serviços em diferentes setores da economia, promovendo um sistema produtivo mais sustentável, eficiente e equilibrado.

Por fim, Faria (2022) ressalta a criação de parques tecnológicos como uma forma de estratégia de SI, promovendo a interação entre diferentes atores do ecossistema tecnológico, investigando como as organizações podem evoluir de *clusters* (agrupamentos geográficos de empresas) para ecossistemas industriais mais amplos, como os parques tecnológicos, enfatizando a importância de adotar um modelo circular de produção. A mudança de perspectiva visa promover uma abordagem mais colaborativa na gestão dos processos produtivos, um exemplo clássico é o Parque Industrial de Kalundborg, na Dinamarca, onde empresas de diferentes setores (biotecnologia, construção civil, energia, dentre outros) trocam materiais, resíduos e serviços, otimizando seus processos, ocasionando na redução do impacto ambiental, representando um passo importante em direção a um modelo econômico mais circular e consciente (Chertow, 2000). Diante do exposto, foi possível identificar características da SI na literatura, conforme descrito no quadro 1.

Quadro 1: Características da SI encontradas na literatura

AUTORIA	CARACTERÍSTICA
Miyamoto, Costa e Candiani (2022)	Troca de materiais, **detectando os tipos de resíduos gerados que podem ser reaproveitados entre as empresas** estudadas
Faria (2022)	Interação entre diferentes atores do ecossistema tecnológico, investigando como as organizações podem evoluir de clusters (agrupamentos geográficos de empresas) para ecossistemas industriais mais amplos, como parques tecnológicos, sempre enfatizando a importância de adotar um **modelo circular de produção.**
Herzer et al. (2020)	**Contribuição para benefícios ambientais, sociais e econômicos** em diversos setores produtivos.
Henzer et al. (2020)	**Qualificação de serviços**, fundamentado que a SI não se limita apenas à produção industrial, podendo ser aplicada em modelos de gestão urbana, agricultura familiar e até mesmo na construção civil, portanto, contribuindo para a qualificação de serviços em diversos setores, promovendo um sistema produtivo mais sustentável e equilibrado.
Boons et al. (2017)	**Construto fundamental para o desenvolvimento de modelos sustentáveis.**
Bail, Kovaleski, Resende e Pagani (2016)	**Otimização de sistemas**, atestando que as empresas podem oferecer produtos e serviços de qualidade, otimizando sistemas de logística reversa, gerenciando corretamente os resíduos e promovendo a melhoria contínua.
Bail, Kovaleski, Resende e Pagani (2016)	**Redução de custos** e **minimização dos impactos ambientais**, e maior vantagem competitiva no mercado.
Costa e Ferrão (2010)	Contribuições relevantes para os sistemas industriais que desejam se tornar sustentáveis, implementado características dos ecossistemas naturais, tais como **conectividade, comunidade e cooperação para as empresas.**
Chertow (2000)	Colaboração e as **possibilidades sinérgicas proporcionadas pela proximidade geográfica entre as organizações** interessadas.
Chertow (2000)	**Troca de materiais, resíduos e serviços,** otimizando seus processos, ocasionando na redução do impacto ambiental, representando um passo importante em direção a um modelo econômico mais circular e consciente.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Diante das práticas identificadas, evidencia-se que a SI não se restringe à simples troca de resíduos entre empresas, mas representa uma estratégia abrangente de reestruturação dos sistemas produtivos com base na cooperação, na circularidade e na sustentabilidade (Chertow, 2000; Costa e Ferrão, 2010). As experiências relatadas na literatura, desde a troca de materiais e serviços até a criação de parques tecnológicos, reforçam o potencial transformador da SI na promoção de cadeias produtivas mais integradas, eficientes e ambientalmente responsáveis (Faria, 2022; Henzer et al., 2020).

Nesse contexto, as Zonas Portuárias emergem como territórios privilegiados para a aplicação desses princípios, uma vez que concentram atividades industriais intensivas em recursos, possuem infraestrutura logística consolidada e apresentam

elevado potencial de articulação entre diferentes setores. Ao incorporar fundamentos da ecologia industrial, a SI se consolida, portanto, como uma ferramenta estratégica para viabilizar a transição para um modelo econômico circular também nos complexos portuários, promovendo não apenas ganhos ambientais, mas também sociais e econômicos de forma articulada e territorializada.

2.3 PORTOS E A SIMBIOSE INDUSTRIAL

Entende-se como Porto o conjunto de instalações com funções de abrigo, atracação, armazenagem e circulação em terra e mar (acessos marítimos), localizado em um território intitulado como sítio portuário (Porto e Teixeira, 2002). O porto pode ser classificado em clássico (histórico) ou em porto cidade, que é aquele localizado em metrópoles, abrigado em continente, com acesso marítimo de baixas profundidades e terrestre restrito, em terras situadas no interior bem próximas e com movimentação de carga geral que não fosse agregada de volume (Castro e Almeida, 2012). As atividades desenvolvidas em um Porto são intensas e constantes, gerando muitas vezes consequências no meio ambiente, sendo necessário a adoção de mecanismos de gestão ambiental que sejam eficazes e eficientes (Rodrigues e Ensslin, 2024).

Apesar da importância dos portos no contexto geral da economia (Bottasso, Conti, Ferrari, e Tei, 2014), o Brasil tem insuficiência de investimentos no setor, destacado por um *déficit* na infraestrutura caracterizada por Portos que não possuem equipamentos e que são despreparados no âmbito de atendimento às demandas do transporte marítimo, instalações precárias e custo alto na movimentação (Alves e Silva, 2015), além da contribuição na degradação do meio ambiente. Como forma de reverter essa situação, as novas políticas públicas motivam que o modelo de gestão portuária seja reestruturado, onde a infraestrutura seja fornecida pelo poder público, e a superestrutura, pelo setor privado (Tovar e Ferreira, 2006), sendo um modelo nomeado como Landlord Port (Geipot, 2001).

A reorganização dos espaços produtivos e o surgimento de novas dinâmicas comerciais provocaram transformações significativas na estrutura portuária em escala global (Monié e Vidal, 2006). No entanto, no contexto brasileiro, a ausência de uma política portuária nacional articulada resultou em iniciativas fragmentadas, tanto no âmbito federal quanto no local. Diante desse cenário, torna-se premente a adoção de

inovações institucionais, especialmente no que diz respeito à governança portuária ambientalmente sustentável, uma vez que a proteção ao meio ambiente tem adquirido crescente relevância nas agendas públicas e empresariais.

Recentemente, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários ([3]ANTAQ) concluiu um estudo em 2023 de impacto climático nos portos brasileiros, mapeando mais de 21 portos públicos no país, com o intuito de entender melhor os desafios enfrentados pelos portos em relação às mudanças climáticas e qual os seus papéis dentro dessas consequências ambientais, além de promover ações sustentáveis para proteger o meio ambiente. Diante disso, a relação entre Portos e o meio ambiente é complexa e requer uma abordagem cuidadosa, para então garantir a sustentabilidade e a proteção ambiental. Em um cenário de mudanças climáticas globais, técnicas como EC e a SI por serem menos invasivas, e conseguirem iniciar de uma forma simples nas organizações, acabam sendo a chave para promover ações sustentáveis, especialmente em um nicho tão sensível como a Zona Portuária.

A EC e a SI são estratégias que visam otimizar o uso de recursos, reduzir o desperdício e promover a sustentabilidade, por isso desempenham um papel relevante em várias vertentes dentro dos Portos. De acordo com Kitzmann e Asmus (2006), essas abordagens incluem a criação de centros de reciclagem de materiais, que promovem a reutilização e a recirculação de produtos e componentes, contribuindo para a redução do desperdício e prolongando a vida útil dos materiais. Além disso, a conscientização sobre o uso eficiente dos recursos, considerando que as zonas portuárias consomem grandes quantidades de recursos naturais, como energia, água e materiais.

2.4 MODELOS DE SIMBIOSE INDUSTRIAL

Nas últimas décadas, observa-se um crescimento significativo no número de estudos dedicados à análise da aplicação dos modelos de SI (Neves et al., 2020). Visto que, a adoção de práticas e estratégias de SI representa uma oportunidade relevante para a geração de valor de forma sustentável, beneficiando tanto as organizações quanto a sociedade e o meio ambiente (Santos, 2020). Ao promover o uso mais eficiente de recursos e a redução de impactos ambientais, a SI contribui diretamente para a restauração dos ecossistemas degradados e para a construção de um modelo de

[3] www.gov.br/antaq/pt-br/noticias/2023/finalizado-estudo-de-impacto-climatico-nos-portos-brasileiros

desenvolvimento mais equilibrado e ambientalmente responsável. Deste modo, é possível encontrar na literatura algumas propostas de artefatos relacionados a SI nas organizações, contudo, sua implementação prática enfrenta desafios, visto que, poucas novas criações de modelos de SI aplicados foram documentados, onde na maioria das vezes, apenas é feita uma avaliação sobre os modelos já existentes.

Os modelos são representações simplificadas e inteligíveis do mundo que ajudam a revelar as características essenciais de um domínio ou campo de estudo (Sayão, 2001). Criar modelos práticos para organizações é essencial para alcançar resultados consistentes, onde se pode estabelecer padrões e procedimentos claros para a execução de atividades, além de promover a consistência e qualidade nos resultados. Ademais, um modelo é uma criação cultural usada para representar uma realidade, ou alguns de seus aspectos, para torná-la descritível qualitativa e quantitativamente e, às vezes, observável (Sayão, 2001). À vista disso, é possível mensurar a importância de criar modelos práticos para organizações, a qual está relacionada à otimização dos processos empresariais e à busca por eficiência.

Nesse sentido, Mantese (2018) propõe em seu estudo um framework para a validação de indicadores de SI utilizando a modelagem baseada em agentes. O autor destaca que a SI é necessária para a criação de parques ecoindustriais e apresenta os principais indicadores de desempenho identificados na literatura, os quais são utilizados para medir e monitorar a SI. O framework é composto por um conjunto de atividades e artefatos que suportam todas as etapas de validação, incluindo critérios específicos de validação para indicadores de SI. Os critérios específicos de validação foram verificados por meio do julgamento de especialistas e o modelo de simulação foi usado para comparar todos os indicadores, identificando suas características em diferentes cenários, ao combinar essas duas estratégias, o framework oferece um instrumento de validação significativo, apoiando pesquisas na proposta de novos indicadores.

Segundo Mantese (2018), dentro da literatura existem 7 indicadores para avaliação do desempenho de redes simbióticas, conforme apresentados no quadro 2.

Quadro 2: Indicadores para avaliação de desempenho de redes simbióticas

INDICADORES	AUTOR	ESPECIFICAÇÃO
Conectividade e Utilização Simbiótica	Hardy e Graedel, 2002	Definir o grau de associação entre as empresas, Medir a magnitude e a periculosidade das relações simbióticas

Eco-Conexão e Taxa de Reciclagem de Subprodutos/Resíduos	Tiejun, 2010; Gao et al. 2013	Ecológico Grau de correlação entre empresas, definir o grau de reciclagem de subprodutos e resíduos
Índice de SIl e Densidade de Link	Zhou et al., 2012	Verifica a intensidade de utilização de recursos no sistema de SI.
Ecoeficiência	Park e Behera, 2014	Avalia a ecoeficiência das transações simbióticas, composto por quatro indicadores, um indicador económico e três indicadores ambientais: ● Benefício Econômico Líquido ● Consumo de Matéria Prima ● Consumo de energia ● Emissão de CO2
Índice de Produtividade de Recursos	Wen e Meng, 2015	Surgiu da combinação entre os indicadores Abordagem de Análise de Fluxo de Substâncias (SFA) e Produtividade de Recursos (RP). Avaliar a contribuição da SI no desenvolvimento da EC.
Impacto Ambiental	Trokanas et al., 2015	Consiste em cinco subindicadores: ● Custo de Carbono Incorporado (ECC); ● Economia financeira de materiais virgens (VMFS); ● economia Financeira de Desvio de Aterro Sanitário (LDFS); ● Impacto Financeiro no Transporte (TFI); ● Impacto Financeiro no Consumo de Energia (ECFI).
Indicador de Simbiose Industrial (ISI)	Felicio et al., 2016	Indicar a evolução do desempenho das relações simbióticas entre empresas.

Fonte: Elaborado pela autora (2025), a partir de Mantese (2018).

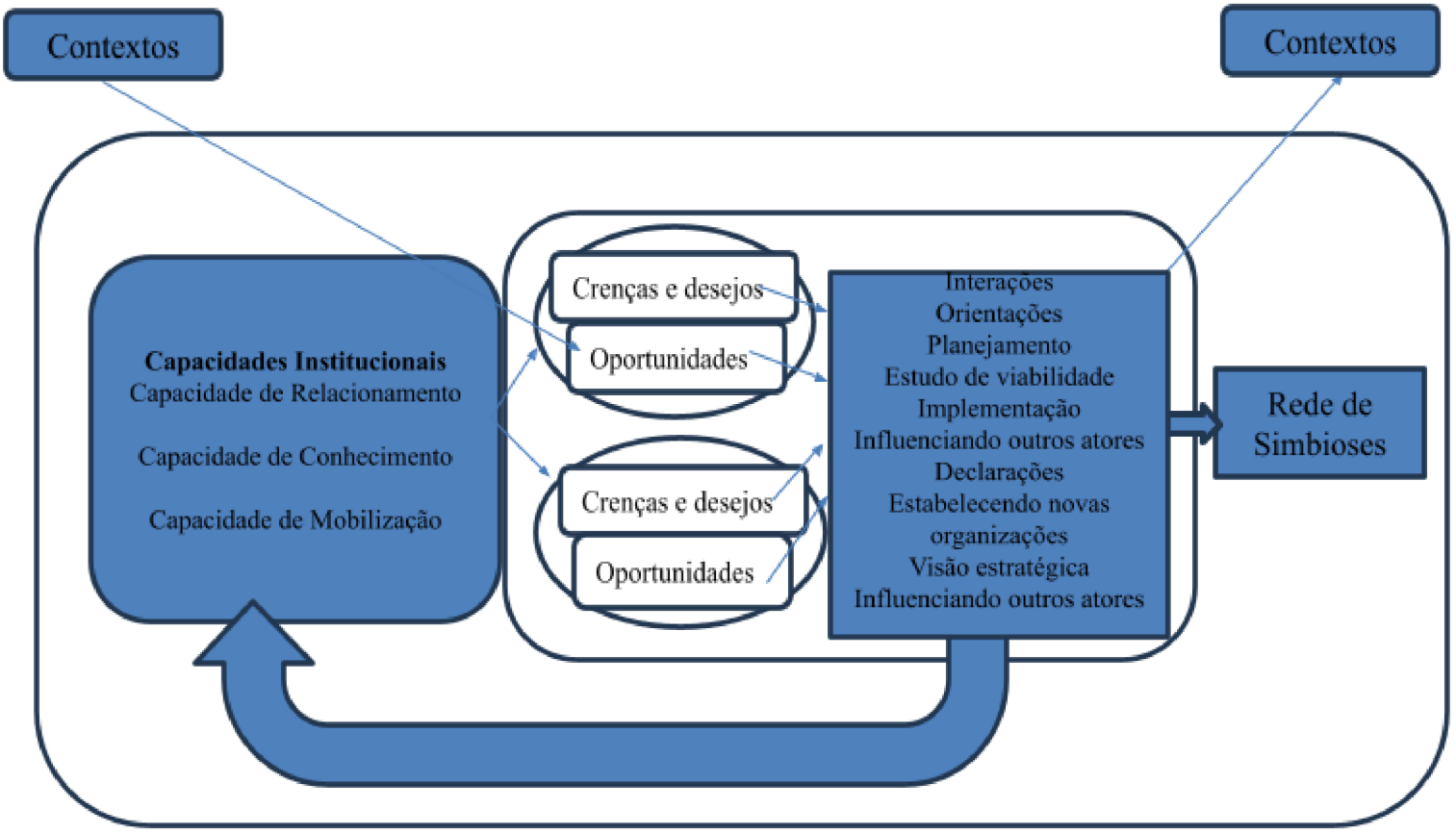
Após o modelo de simulação ter sido proposto e utilizado para a comparação entre todos os indicadores, permitindo identificar suas características em diferentes cenários, a combinação dessas duas estratégias resultou em um instrumento de validação significativamente avançado em relação ao estado da arte, capaz de apoiar pesquisas na proposta de novos indicadores. Foi possível identificar que os principais indicadores são o ISI (Indicador de Simbiose Industrial) (Felicio et al., 2016) e o Indicador de Impacto (Trokanas et al., 2015). Sendo sugerido a combinação desses indicadores para melhorar a eficácia do framework.

Outro modelo de destaque é o modelo criado por Spekkink (2015), onde procura entender o desenvolvimento de sistemas industriais sustentáveis. Em seu

framework, representado na Figura 1, o pesquisador separa a SI em três diferentes níveis, sendo o primeiro o de contexto, o segundo de sistema regional industrial e último, de interação. O nível de contexto traz os níveis do sistema industrial regional e o de interações em conjunto, pois se baseia na ideia de que os atores são influenciados por políticas e regulações, restrições geográficas, de infraestrutura, de disponibilidade de recursos naturais, e por questões de mercado e macroeconomia.

Já o segundo nível, é onde se resulta a rede de SI. É nele que possui um conjunto de organizações, que são localizadas próximas umas das outras, as quais tem a possibilidade de ocorrer conexões sociais, materiais e de energia entre elas. Por fim, o último nível de interação é onde ocorrem as interações entre os diferentes atores (indústrias, promotores de SI, sindicato, dentre outras).

Figura 1: Framework criado por Spekkink (2015)



Fonte: A partir de Spekkink (p. 135, 2015)

Após isso, o autor identifica uma gama de 9 tipos de interações, que impactam também o primeiro nível (contexto), bem como as capacidades institucionais. Essas interatividades, resultam em uma rede de SI que compõem as trocas realizadas entre os

atores presentes. É válido destacar que esses atores possuem crenças fortes, além de desejos de oportunidades, sendo características fundamentais para a SI, visto que, só ocorrerá por vontade e motivação dos atores.

Quadro 3: Tipos de interações identificadas

Tipo de Interação	Explicação
Orientação	Atores negociam e exploram questões de interesse comum em um esforço para desenvolver definições iniciais de problemas e soluções.
Planejamento	Atores formulam as medidas concretas que têm de ser tomadas a fim de realizar certas soluções.
Estudo de viabilidade	Atores realizam pesquisas sobre a viabilidade (técnica, econômica e/ou organizacional) de determinadas soluções.
Implementação	Atores implementam as soluções que planejaram. Isto inclui a trocas de resíduos ou sinergias de utilidade (compartilhamento de infraestrutura comum, serviços comuns como tratamento de água, transporte, etc).
Influenciando outros atores	Atores realizam atividades deliberadamente destinadas a influenciar outros atores a fim de obter-se diferentes cursos de ação. Isso inclui lobbying e procedimentos legais.
Declarações (Estabelecimento de contratos)	Atores declaram formalmente sua intenção de agir de acordo com uma questão de interesse comum, possivelmente envolvendo a assinatura de declarações formais (contratos).
Estabelecendo novas organizações	Atores estabelecem uma nova organização dentro dos limites do nível do sistema regional industrial.
Visão estratégica	Atores estabelecem visões estratégicas em que articulam seus interesses e objetivos comuns.
Influenciando o contexto	Atores realizam atividades deliberadamente destinada a influenciar o contexto (político, econômico ou físico). Isto inclui ajustes em infraestrutura e lobbies especificamente dedicados a influenciar as políticas nacionais.

Fonte: A partir de Spekkink (2015)

O framework propõe três contribuições aos modelos existentes de SI, sendo a primeira delas o componente denominado Intermediários Estáveis, o qual sugere que a SI pode ser compreendida e estruturada a partir de elementos intermediários que se desenvolvem de forma autônoma e independente entre si; o Desenvolvimento da Própria SI, que é um intermediário estável para desenvolvimentos mais abrangentes em

um nível sistêmico superior; e o Contexto Social Maior, onde está inserido em um contexto social mais amplo que influencia as oportunidades percebidas pelos atores para ação coletiva em direção à SI.

É possível observar que o modelo proposto não possui influências diretas entre os desenvolvimentos, porém, existem influências indiretas com base em fontes parcialmente sobrepostas de capacidade institucional (ou seja, a capacidade para ação coletiva), essas fontes incluem recursos relacionais, recursos de conhecimento e capacidade de mobilização. Em resumo, o framework de Spekkink (2015) contribui para a compreensão das capacidades institucionais necessárias para o desenvolvimento sustentável de sistemas de SI regionais.

Já Guedes (2019), propôs um modelo baseado na *Design Science Research* (DSR), sendo utilizada como embasamento a análise da literatura sobre mapeamento de fluxo de materiais e ecossistemas industriais, para definir as características de um sistema de SI e os principais paradigmas de modelagem adequados a este sistema para definições do escopo do modelo. Para a construção do modelo, a pesquisa utilizou três grandes etapas do desenvolvimento de estudos de modelagem e simulação, definidas por Montevechi et al. (2010) e Chwif e Medina (2010): (i) concepção, (ii) implementação, e (iii) análise, sendo que as etapas de implementação e análise, referem-se, respectivamente, às etapas de demonstração e avaliação da DSR.

O modelo conceitual da pesquisa foi embasado no modelo de Ecologia Industrial de Graedel e Allenby (2010), que apresenta uma analogia da visão ideológica do desenvolvimento da evolução de sistemas e é fundamental para entender como a sustentabilidade pode ser atingida. No modelo proposto foram definidos 2 tipos principais de unidades industriais, sendo o primeiro, indústrias que fornecem produtos beneficiados como matéria-prima para a produção, e o segundo, indústrias de manufatura que realizam a transformação em produtos finalizados, os quais podem ser bens de consumo ou bens de produção.

Além disso, outras duas unidades foram definidas, uma unidade de pré-tratamento de resíduos e um aterro industrial. A unidade de pré-tratamento é uma usina que realiza a valorização mecânica e semiautomática dos resíduos sólidos industriais para reuso em outras atividades, já o aterro industrial, é o local apropriado

para o descarte de material industrial dos mais variados segmentos. Os produtos do modelo são definidos como produto final, matéria-prima e resíduo, ademais, o tipo de matéria-prima utilizada e os resíduos gerados estão relacionados ao produto final, assim como a quantidade de energia utilizada para a produção e a quantidade de emissões de CO2 para o ambiente.

A primeira etapa para a construção do modelo foi a concepção, sendo uma abstração da realidade, permitindo delimitar o sistema, definir os objetivos da pesquisa, o escopo e o nível de detalhe para o modelo (Robinson, 2008). Na etapa de habilitação, o modelo seleciona os possíveis fornecedores de acordo com o tipo de produto demandado e a capacidade de produção. Na sequência, iniciou-se a etapa de qualificação, na qual é realizada a avaliação econômica e ambiental. Para tanto, foi necessário identificar os critérios de seleção de fornecedores através de uma análise sistêmica da literatura. Por fim, na etapa de decisão do fluxo de direcionamento, o modelo seguiu a mesma lógica de avaliação dos impactos econômicos e ambientais.

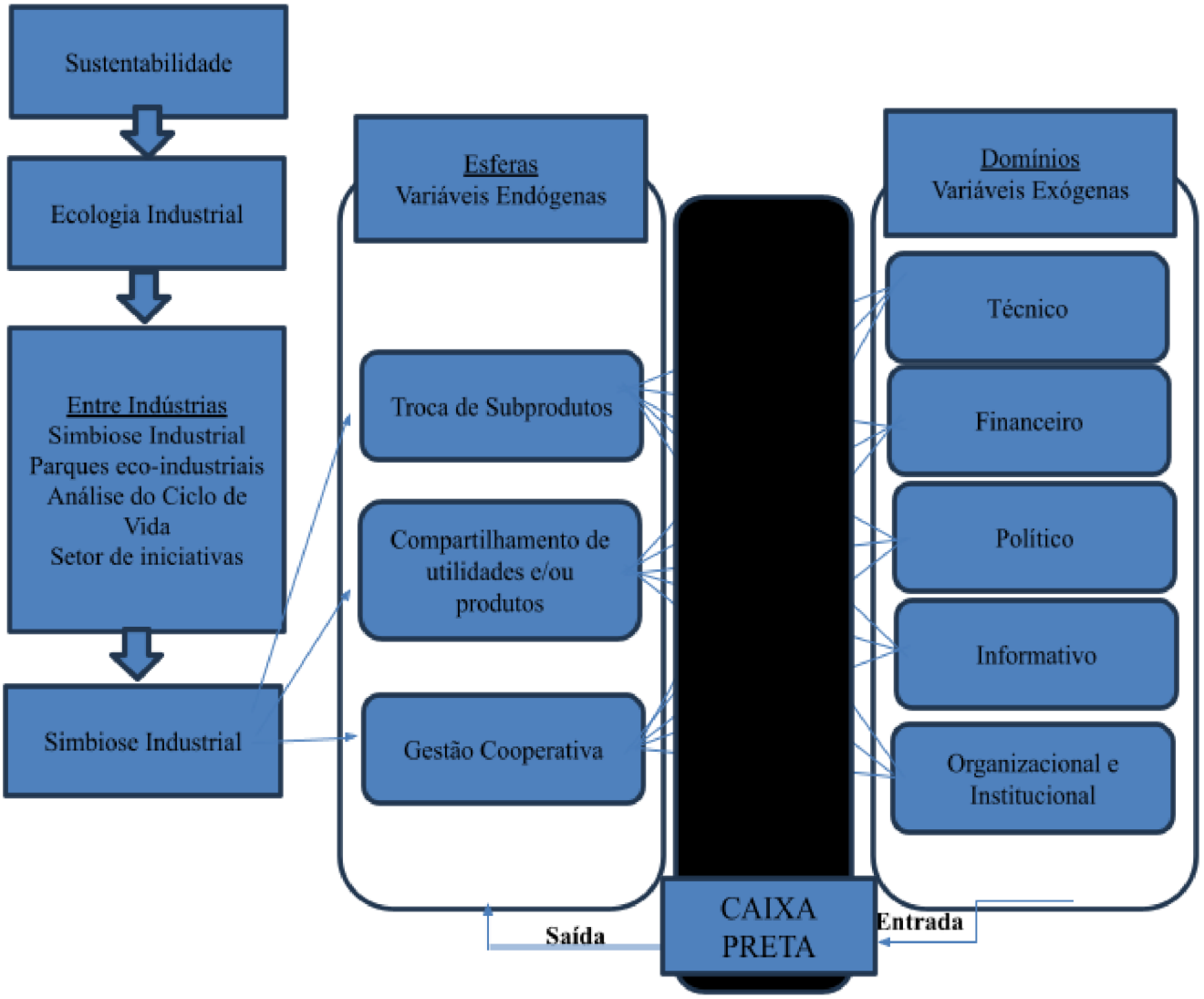
Para definir os pesos para cada critério, a pesquisa utilizou como técnica o Processo de Hierarquia Analítica (AHP), proposto por Saaty (1980), e para a avaliação do artefato e verificação de sua aderência às necessidades do sistema foram adotados os métodos descritos por Hevner, March e Park (2004) como: (i) experimental, através da simulação do modelo para verificar e demonstrar o comportamento do artefato; e (ii) descritivo, por meio de um argumento composto por informações de bases de conhecimento relevantes para conseguir construir um argumento convincente, e da construção de cenários detalhados em torno do artefato para demonstrar a utilidade

A etapa de avaliação do modelo, ligada ao desenvolvimento computacional livre de bugs e falhas de lógica, foi realizada, segundo recomendação de Chwif e Medina (2010), por implementação modular. Ou seja, o modelo foi implementado em blocos, executando-se a verificação em cada bloco. Assim, após o fim da modelagem, constatou-se a inexistência de erros no código, colaborando para a consistência da simulação. Em relação aos resultados obtidos, a modelagem híbrida atende as necessidades de representação dos agentes e da dinâmica de produção, enquanto a criação de agentes facilita no desenvolvimento de alternativas de tomadas de decisões, a dinâmica de sistemas permite visualizar a evolução da produção.

Por fim, Saraceni et al. (2017) apresentam um modelo piloto para descobrir práticas de SI voltados para clusters industriais brasileiros. Como metodologia, os autores conduziram uma revisão sistemática em periódicos selecionados de duas categorias do ISI Web of Knowledge: Engenharia e Meio Ambiente e Engenharia Industrial, e então, após uma revisão aprofundada da literatura, eles criaram uma estrutura de análise. Ademais, a metodologia baseada em lógica fuzzy foi aplicada para atribuir pesos às variáveis de SI, permitindo extrair indicadores de intensidade das inter-relações necessárias para analisar o nível de desenvolvimento de cada correlação entre as variáveis. Ao criar um modelo piloto que possa avaliar a presença de práticas de SI, os pesquisadores buscaram promover o desenvolvimento concreto da SI.

Além disso, a partir do estudo aprofundado dos 55 artigos que os autores identificaram e do confronto de suas ideias e conceitos, foi possível identificar as principais citações e referências sobre a SI. Uma revisão bibliográfica sistematizada permitiu identificar os domínios chaves e revelou as abordagens relevantes incluídas. Uma vez identificadas as principais relações necessárias para caracterizar a SI, foi criado um modelo piloto teórico. Depois de estabelecidas as esferas e domínios, os aspectos mais importantes para um cluster de empresas ser considerado praticante de Simbioses Industriais foi facilmente compreendido. Diante disso, foi criada uma estrutura conceitual levando em consideração os componentes essenciais necessários à construção de um modelo e a complexidade dos aspectos da SI extraídos da literatura.

Figura 2: Estrutura de análise das interações de Simbiose Industrial, esferas e domínios



Fonte: A partir de Saraceni et al. (2017)

Os autores identificaram que variáveis endógenas e exógenas são aspectos identificados na literatura como necessários para que ocorra a SI. Além de necessária condição e alguma capacidade financeira; alguma política de incentivo público ou política interna das empresas que reforce esta visão influenciará o intercâmbio; obter aspecto informativo para conhecer a oferta e a demanda de subprodutos, que influenciará a troca; além do foco na organização e na estrutura institucional das empresas e do cluster, que podem auxiliar as trocas de subprodutos. Os autores destacam que essas influências ocorrem paralelamente às demais variáveis, além disso, a observação de fenômenos consolidados no modelo mostrou que as correlações entre variáveis endógenas e exógenas resultam em SI.

Portanto, para avaliar com precisão o nível de desenvolvimento da SI em um cluster industrial, ou precursor de atividades, essas atribuições são fundamentais. Assim, após fundamentar a estrutura, também foi possível identificar o nível de importância de cada correlação consolidada neste modelo piloto. Para esse fim foi criada uma ferramenta, em forma de questionário contendo as variáveis básicas das principais relações apresentadas na Figura (2). Esta ferramenta e suas questões foram criadas por pesquisadores e membros da SIEI – Sociedade Internacional de Ecologia Industrial, por meio de diversas reuniões de apoio e ajuste. O grupo selecionado de especialistas retratou conhecimento e experiências relacionadas com a SI em várias partes do mundo.

Diante disso, primeiramente foi identificado o nível de pertinência das respostas dos especialistas, para depois identificar a pertinência de cada variável. Os resultados foram verificados com base na lógica fuzzy e separados pelo país de cada respondente; todos os quais pertenciam ao grupo de LinkedIn denominado SI. Os resultados representaram um cenário valioso, pois estão de acordo com a abordagem de revisão de literatura em que a troca de subprodutos é considerada um fator chave da SI, além de mostrar a importância na esfera da cooperação, que tem força para fazer efetivamente as demais esferas ocorrerem. A metodologia foi ajustada considerando o padrão desvio nas respostas dos especialistas. Além disso, entre o intervalo relativo e o nível mínimo atribuído foi possível inferir a pré-existência de relações simbióticas.

Após isso, foram desenvolvidos gráficos para cada uma das três esferas: ontologia na esfera de troca de subprodutos, gráfico da ontologia na esfera de Compartilhamento de Utilidades e/ou Serviços e quadro da ontologia na esfera da Gestão Cooperativa. Assim, Saraceni et al. (2017) criaram um modelo para identificar facilmente aspectos potenciais da SI como uma tentativa de descobrir como eram as relações simbióticas, visto que, a adoção da SI nas organizações é fundamental para economia e o meio ambiente, contribuindo para um modelo econômico mais circular, onde o foco está na cooperação entre diferentes indústrias, reduzindo o desperdício e ao uso mais eficiente dos recursos.

Foi possível identificar, por meio da simulação de cenários, a viabilidade de cada um dos contextos apresentados neste estudo, contribuindo para tornar a tomada de decisão em relação à criação de redes de SI, mais completa. É válido ressaltar que a

instabilidade global é frequentemente associada aos sistemas industriais, frente a isso, é necessário cada vez mais alterações no desenvolvimento de estratégias para ter foco no desenvolvimento sustentável, diante disso, os ecossistemas industriais são a maneira mais eficaz para alcançar os objetivos de sustentabilidade através de relações simbióticas. Desta forma, a partir das considerações feitas pelos autores, e tendo como base seus frameworks, esta dissertação de mestrado se propõe a utilizar o modelo do pesquisador Mantese (2018) como framework preliminar, e a partir das etapas metodológicas desta pesquisa, realizar adaptações ao modelo original e após isso, realizar sua validação, verificando sua aplicabilidade no contexto dos Portos.

Quadro 4: Modelos encontrados na literatura

AUTOR	ANO	Modelo	Descrição
Mantese	2018	Framework	Validação de indicadores de SI utilizando a modelagem baseada em agentes.
Spekkink	2015	Framework	Contribuição para a compreensão das capacidades institucionais necessárias para o desenvolvimento sustentável de sistemas de SI regionais.
Guedes	2019	Modelo baseado na Design Science Research (DSR)	Identificou que a modelagem híbrida atende as necessidades de representação dos agentes e de produção, enquanto a criação de agentes facilita o desenvolvimento de alternativas para as decisões.
Saraceni	2017	Modelo Piloto	Criação de um modelo para identificar facilmente aspectos potenciais da Simbiose Industrial como uma tentativa de descobrir como eram as relações simbióticas, visto que, a adoção da SI nas organizações é fundamental para economia e o meio ambiente.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Observa-se que diversas abordagens vêm sendo desenvolvidas para mapear, compreender e estimular as práticas de SI em diferentes contextos regionais e setoriais. Cada modelo contribui com elementos específicos, como a modelagem baseada em agentes (Mantese, 2018), o desenvolvimento de capacidades institucionais (Spekkink, 2015) ou a identificação de relações simbióticas potenciais (Saraceni, 2017), que ampliam a compreensão sobre os fatores determinantes e condicionantes da SI. Tais frameworks oferecem subsídios relevantes para o delineamento de estratégias mais eficientes e adaptadas à realidade de cada território, destacando a importância de considerar variáveis endógenas e exógenas, bem como aspectos institucionais, tecnológicos e organizacionais.

3 MÉTODO

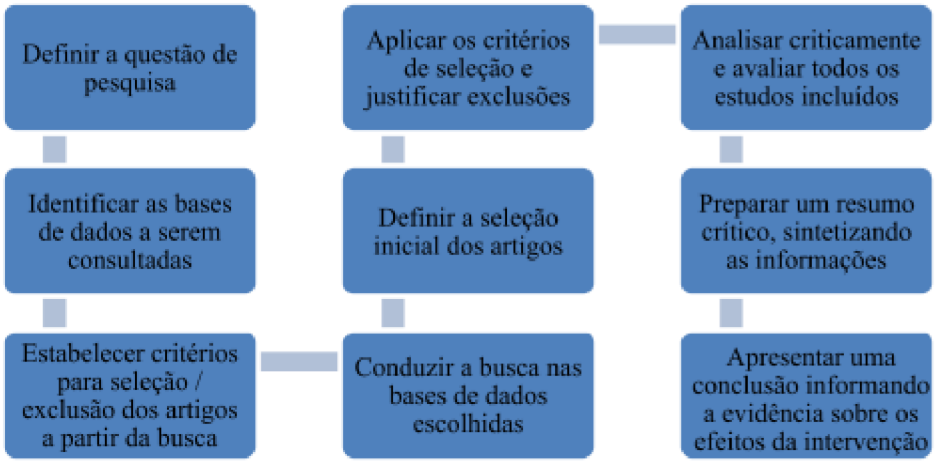
Este item tem como objetivo apresentar a caracterização da pesquisa, que visa propor um modelo específico de SI para as Zonas Portuárias. Para isso, optou-se pelo uso de um estudo de caso qualitativo, que conforme Godoy (1995), não procura enumerar e/ou medir os eventos estudados, nem emprega instrumental estatístico, permitindo uma coleta de dados mais rica em experiências individuais, proporcionando informações detalhadas e específicas para esta pesquisa.

Além disso, este estudo terá um caráter exploratório, visando preencher lacunas de informações sobre modelos de SI. Um estudo exploratório tem como objetivo principal familiarizar-se com o fenômeno a ser investigado, preparando o terreno para um estudo mais detalhado e preciso posteriormente (Theodorson e Theodorson, 1969). Nesse sentido, a utilização do método de estudo de caso justifica-se pela sua adequação à análise intensiva de situações específicas e complexas, como é o caso das interações interorganizacionais em ambientes portuários. Conforme argumenta Yin (1989), o estudo de caso é um método eficaz para organizar dados sociais preservando a integridade do objeto de pesquisa, sendo especialmente útil quando se busca compreender fenômenos contemporâneos inseridos em contextos reais e dinâmicos.

3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)

O referencial teórico foi construído em duas etapas para embasamento do trabalho a respeito do estado da arte relacionado às palavras-chave importantes para o tema explorado. A primeira etapa do referencial considerou o levantamento teórico trazendo conceitos sobre SI, Modelos de SI, artefatos de SI e constructos relacionados a SI. A segunda etapa do referencial foi a realização de uma revisão mais específica sobre modelos práticos de SI, através de buscas em duas bases de dados. Os passos para realização da RSL consideraram os passos definidos na Figura 3.

Figura 3: Passos da RSL



Fonte: A partir de Bonato (2017) e Sampaio e Mancini (2007).

O primeiro passo, relacionado à definição da questão de pesquisa foi definido anteriormente na sessão 1, introdução: "Como desenvolver a Simbiose Industrial em uma Zona Portuária do Sul do Brasil?". No segundo e terceiro passos para a realização da revisão, foram definidas como bases de pesquisa, sendo a Scopus e Web of Science, considerando-se os tipos de documentos Journal, Article, Conference Papers e Reviews, e o período de publicação dos artigos a partir do ano de 2014 até 2024 para abrangência dos modelos mais novos criados na literatura. A partir dos dados desta pesquisa foram identificadas alternativas de modelos de SI utilizadas para construção do modelo.

Como critérios de inclusão utilizados na seleção dos artigos foram: (i) utilização dos termos "Modelo de Simbiose Industrial"; "Artefatos de Simbiose Industrial" e "Implementando Simbiose Industrial nas organizações" para as buscas dos estudos; (ii) pesquisas realizadas com o período específico de 10 anos; (iii) e apenas artigos com acesso aberto. Para objetividade e confiabilidade nesta primeira etapa da coleta de dados, foi elaborado o protocolo final de pesquisa (Quadro 5).

Quadro 5: Protocolo final de Pesquisa

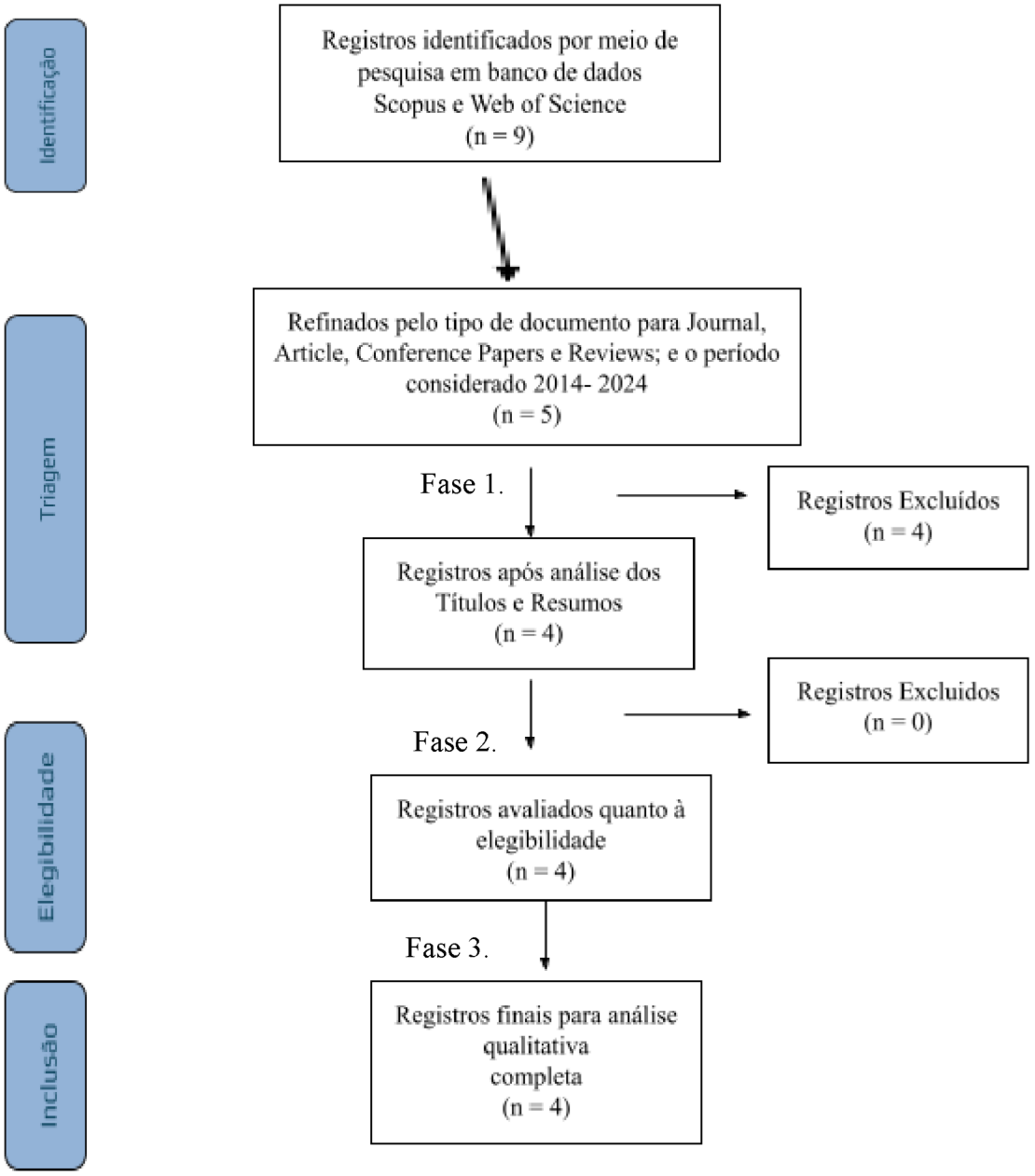
Protocolo de pesquisa	Descrição
Bancos de dados	Scopus e Web of Science
Tipo de Publicação	Journal, Article, Conference Papers e Reviews
Idioma	Inglês e português

Intervalo de dados	2014 até 2024
Campos de pesquisa	Títulos, resumos e palavras-chave
Termos de pesquisa	Modelo de Simbiose Industrial; Artefatos de Simbiose Industrial; Implementando Simbiose Industrial nas organizações
Critérios para inclusão	Artigos com alternativas de modelos de Simbiose Industrial, e de acesso aberto
Critérios para exclusão	Artigos duplicados; artigos que não possuíssem criação de novos modelos; artigos que o modelo não se enquadraria para as Zonas Portuárias
Extração de dados	Leitura manual das publicações selecionadas pela autora
Análise e síntese de dados	Análise de conteúdo dos modelos encontrados nas publicações selecionadas

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Diante disso, foram encontrados 9 modelos, porém foram excluídos estudos não relacionados, redundantes e irrelevantes, a partir dos seguintes critérios: (i) artigos duplicados; (ii) artigos que não possuem criação de novos modelos, visto que, a maioria dos estudos encontrados faziam referência a um modelo específico já selecionado; (iii) artigos que o modelo não se enquadraria para as Zonas Portuárias. Por fim, os artigos selecionados foram comparados para diminuir dúvidas existentes, sendo selecionados 4 artigos relevantes para a pesquisa, conforme descrito na figura 4. Deste modo, os estudos de Mantese (2018), Spekkink (2015), Guedes (2019) e Saraceni et al. (2017) foram selecionados e expostos no item 2.5.

Figura 4: Fluxo de informações nas diferentes fases de uma revisão sistemática (RSL)



Fonte: A partir de Moher (2009)

3.1.1 COLETA DE DADOS

As empresas que foram consideradas na presente pesquisa como base foram identificadas por meio de dados secundários disponibilizados no documento "Plano Mestre" disponibilizado no site da Portos RS, que relata quais empresas fazem parte do complexo portuário da cidade de Rio Grande no Rio Grande do Sul, conforme o quadro 6. Essas empresas foram separadas em categorias, onde inicialmente seriam entrevistados um representante de cada segmento conforme sua disponibilidade, para

entender quais são os resíduos gerados por essas organizações e se eles são reutilizados. No entanto, durante a fase preliminar da pesquisa, foi identificado que algumas das empresas não demonstraram interesse em participar ou apresentaram dificuldades de agenda para a realização das entrevistas no prazo estabelecido para a pesquisa.

Quadro 6: Empresas localizadas no complexo portuário de Rio Grande segundo Plano Mestre

NOME DA EMPRESA	SEGMENTO
Terminal Graneleiro S.A. (Tergrasa)	Agronegócio
Bunge Alimentos S.A.	Agronegócio
Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras)	Petroquímico
Refinaria de Petróleo Riograndense S.A	Petroquímico
Braskem S.A.	Petroquímico
Terminal Marítimo Luiz Fogliatto S.A. (Termasa)	Agronegócio
Companhia Estadual de Silos e Armazéns (CESA)	Armazenagem (Fechou)
Granel Química Ltda.	Armazenagem e Movimentação
TECON Rio Grande	Terminal de contêineres
CMPC	Produção e comercialização de celulose e papel.
Petrobras Transportes S.A.(Transpetro)	Petroquímico
Amoniasul Serviços de Refrigeração Industrial Ltda	Refrigeração - Fechada
Bianchini S.A.	Extração de óleos vegetais e produção de farelos
Regás Sul S.A.	Óleo e Gás
Estaleiros do Brasil Ltda. (EBR)	Construção e Reparos em embarcações
Sagres Agenciamento Marítimo Ltda.	Agência Marítima
Yara Brasil Fertilizantes S.A.	Fertilizantes

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Deste modo, as entrevistas foram realizadas com um total de 5 empresas, dos seguintes segmentos: Terminal de contêineres; Produção e comercialização de celulose e papel; Petroquímico e Construção, Reparos em embarcações e Extração de óleos vegetais / produção de farelos. A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas gravadas pela plataforma GoogleMeet, com um roteiro semiestruturado e com uma média de 40 minutos de duração. Para isso, foram feitas perguntas específicas pré-estabelecidas disponíveis no Apêndice A.

Quadro 7: Perfil das empresas entrevistadas

Perfil da Empresa	Perfil do Entrevistado	Segmento	Quant. total de Resíduos gerados (Toneladas)
Empresa 1:Extração de óleos vegetais e produção de farelos, fundada em 1975	Tecnólogo em gestão de qualidade	Extração de óleos vegetais	8.000 T/ANO
Empresa 2: Produção e comercialização de celulose e papel., fundada em 1920	Engenheira Sanitarista ambiental	Produção de celulose e papel	15.000 T/ANO
Empresa 3: Construção e Reparos em embarcações, fundada em 2005	Biólogo	Construção e reparo de embarcações	12.000 T/ANO
Empresa 4: Terminal de contêineres, fundada em 1997	Engenheiras químicas e engenheiras de segurança do trabalho.	Terminal de contêineres	10.000 T/ANO
Empresa 5: Petroquímico, fundado em 1998	Engenheira ambiental	Refino de petróleo	25.000T/ANO

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Após a coleta de dados, foi possível compreender o panorama geral sobre os resíduos gerados pelas empresas localizadas no complexo portuário de Rio Grande. Como mostrado no quadro 7, a quantidade total de resíduos gerados varia de 8.000 a 25.000 toneladas por ano, dependendo do segmento de atuação de cada empresa. Ademais, durante as entrevistas foi possível identificar a diversidade de tipos de resíduos e como cada empresa lida com o reaproveitamento e a destinação dos mesmos, além das diferenças nos processos de gestão de resíduos adotados por cada uma. A coleta de dados, que envolveu entrevistas com profissionais das áreas de engenharia, biologia e gestão de qualidade, proporcionou uma visão detalhada sobre as práticas de manejo de resíduos dentro dos diferentes setores, e possibilitou a análise de aspectos cruciais para a implementação de modelos de SI no contexto da Zona Portuária da cidade.

3.1.2 ENTREVISTAS

No que se refere às entrevistas com os gestores, inicialmente foi realizado contato com as empresas localizadas nos Portos, com o intuito de complementar os

dados obtidos nos estudos anteriores mencionados na literatura. As entrevistas seguiram um roteiro específico descrito no Apêndice A da pesquisa. Os gestores foram previamente contatados, sendo cada empresa identificada no "Plano Mestre" (que delimita as empresas situadas no Porto de Rio Grande). Sendo entrevistado um gestor de cada segmento: Terminal de contêineres; Produção e comercialização de celulose e papel; Petroquímico; Construção e Reparos em embarcações; e Extração de óleos vegetais e produção de farelos, totalizando 5 entrevistas, conduzidas no formato online através de videochamadas na plataforma Google Meet, permitindo acesso aos gestores que possam não estar na cidade.

Já na fase de entrevistas com os especialistas, estas foram utilizadas para esclarecer eventuais dúvidas relacionadas ao modelo criado, sendo contatados 2 professores e 2 pesquisadores, ambos na área de EC e SI.

Quadro 8: Perfil dos especialistas entrevistados

Profissão	Perfil do Entrevistado
Professor 1	Professor na UESPI na área de Sustentabilidade e Simbiose Industrial e Gerente no Instituto de Tecnologia do Piauí.
Professor 2	Professor do PPG Ambiente e Sustentabilidade UERGS.
Pesquisadora 1	Pesquisadora na área de Ambiente e Sustentabilidade e Consultora de negócios em Economia Circular Sustentável.
Pesquisadora 2	Pesquisadora na área de Sustentabilidade, Inovação, Economia Circular em Portos.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Essas entrevistas seguiram um roteiro semiestruturado, contendo perguntas abertas, conforme detalhado no Apêndice B. Conforme Miguel (2010) descreve, a entrevista é uma técnica de interação social que facilita a troca de informações, rompendo isolamentos grupais, individuais e sociais, além de promover a pluralidade de vozes e a distribuição democrática da informação.

3.2 ANÁLISE DE DADOS

Após a coleta de dados, foi iniciada a análise de dados, onde foi utilizada a análise de conteúdo. De acordo com Bardin (2016), essa abordagem metodológica consiste em um conjunto de procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição e interpretação do conteúdo das informações coletadas, com o propósito de fornecer uma

compreensão aprofundada do fenômeno investigado e possibilitar a realização de inferências fundamentadas. Ademais, Bardin (2016) organiza a análise de conteúdo em três fases, sendo elas: pré-análise; exploração do material, categorização ou codificação; e o tratamento dos resultados, inferências e interpretação. Portanto, a validade dos resultados da pesquisa foi assegurada pela consistência interna e sistemática dessas etapas, visando minimizar ambiguidades e refletir um princípio fundamental, utilizando na análise das entrevistas a criação de quadros síntese das respostas obtidas.

Além disso, a análise de conteúdo foi conduzida com suporte de uma matriz de análise, fundamentada no conteúdo apresentado no quadro 9, que resume como os objetivos da pesquisa estão relacionados aos conceitos e temas discutidos no referencial teórico, as perguntas que foram respondidas e os métodos de coleta/análise de dados empregados para alcançar esses objetivos. Este framework foi adaptado da Matriz de Amarração desenvolvida por Mazzon (1981) e reestruturada por Telles (2001).

Quadro 9: Matriz de amarração

O que se espera validar	Como será realizado	Técnica de Análise de dados
● Analisar a atual situação da Zona Portuária de Rio Grande em relação a Simbiose Industrial (empresa/resíduos e destinatários);	- Identificação das empresas por meio do documento “Plano Mestre” - Contato com as empresas - Entrevistas	Análise de Redes de Fluxo de Resíduos por meio da identificação das empresas presentes no Plano mestre Análise qualitativa das entrevistas Avaliação e modelagem das práticas atuais e possíveis soluções para a integração de simbiose industrial, focando na sustentabilidade e eficiência.
● Identificar as oportunidades de cooperação e troca de resíduos entre as empresas;	-Realizar entrevistas com gestores para identificar, através de suas declarações, os tipos de resíduos disponíveis.	Análise qualitativa dos resultados das entrevistas com os gestores.
● Propor orientações para promover a simbiose industrial nas zonas portuárias.	- Identificação de lacunas nas organizações entrevistadas - Propor estratégias com base em Simbiose Industrial	Avaliar a situação atual das organizações entrevistadas e identificar estratégias futuras para incluir iniciativas de Simbiose Industrial.
● Criar um modelo de Simbiose Industrial para promover sustentabilidade nas organizações situadas nos Portos.	- Análise da literatura -Análise de Entrevistas - Utilização do framework de Mantese (2018) como modelo preliminar para posteriormente criar um modelo específico para as Zonas Portuárias	Análise qualitativa das entrevistas e artigos da literatura, focando no artigo de Mantese (2018), após isso realizar modificações para o framework conseguir ser utilizado nas organizações que estão situadas nos portos, e por fim, validá-lo com especialistas e realizar os ajustes finais.

Fonte: Elaborado pela autora (2025) a partir de Telles (2001).

3.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO

Para a construção do modelo, adotou-se a abordagem da Design Science Research (DSR), considerada a metodologia mais adequada para este propósito. Conforme Van Aken (2004) e Lacerda et al. (2013), a DSR orienta pesquisas científicas cujo objetivo principal é a resolução de problemas, o desenvolvimento e a avaliação de artefatos, bem como a comunicação dos resultados obtidos, visando aprimorar a prática organizacional. Ademais, essa abordagem busca compreender, investigar e estudar o artificial e seu comportamento, tanto sob a perspectiva acadêmica quanto organizacional (Bayazit, 2004). Além disso, a DSR, consiste basicamente em duas fases, sendo a primeira a construção de um artefato e a segunda o teste quanto a sua utilidade (Bonato, 2016), constituindo um processo rigoroso de projetar artefatos para resolver problemas, avaliar o que foi projetado ou o que está funcionando, e comunicar os resultados obtidos (Çagdas; Stubkjaer, 2011).

Referente aos artefatos, segundo Simon (1996), são objetos artificiais que podem ser caracterizados em termos de objetivos, funções e adaptações e que são normalmente discutidos, particularmente durante a concepção, tanto em termos imperativos como descritivos. Diante disso, um artefato pode ser considerado como um ponto de encontro – interface – entre um ambiente interno, a substância e organização do próprio artefato, e um ambiente externo, [isto é], as condições em que o artefato funciona [...] (Simon, 1996). Uma vez definidos os artefatos, podem ser definidos como: Constructos (vocabulário e símbolos), Modelos (abstrações e representações), Métodos (algoritmos e práticas) e Instanciações (sistemas implementados, softwares e protótipos) (March e Smith, 1995).

Segundo Lacerda (2013), são delineadas sete (7) orientações importantes para garantir uma compreensão aprofundada e uma condução eficaz por parte dos pesquisadores na área de Design Science. Estas orientações são fundamentais para orientar o processo de pesquisa e desenvolvimento, visando resultados certeiros e aplicáveis. São elas o Design como Artefato: A pesquisa em Design Science deve resultar na criação de um artefato viável, como um constructo, modelo ou método; Relevância do Problema: O objetivo é desenvolver soluções baseadas em tecnologia para problemas gerenciais significativos e pertinentes; Avaliação do Design: A

utilidade, qualidade e eficácia do artefato devem ser rigorosamente demonstradas através de métodos de avaliação bem executados;

Por conseguinte, também são orientações as Contribuições do Design: A pesquisa deve oferecer contribuições claras e verificáveis nas áreas específicas dos artefatos desenvolvidos, fundamentadas em princípios de design e/ou metodologias de design; Rigor da Pesquisa: O estudo deve ser conduzido com métodos rigorosos tanto na construção quanto na avaliação dos artefatos; Design como Processo de Pesquisa: A busca por um artefato eficaz requer a utilização de meios disponíveis para alcançar os objetivos desejados, respeitando as leis que regem o ambiente do problema estudado; e por fim a Comunicação da Pesquisa: Onde a pesquisa em Design Science deve ser comunicada de forma acessível tanto para audiências tecnicamente capacitadas quanto para aquelas mais orientadas à gestão.

Quadro 10: Instruções para o uso da Design Science Research

Instrução	Descrição
Design como Artefato	A pesquisa fundamentada em Design Science deve produzir um artefato viável na forma de um constructo, modelo, método e/ou uma instanciação
Relevância do Problema	O objetivo da pesquisa fundamentada em Design Science é desenvolver soluções baseadas em tecnologias para problemas gerenciais importantes e relevantes.
Avaliação do Design	A utilidade, qualidade e eficácia do artefato devem ser, rigorosamente, demonstradas por meio de métodos de avaliação bem executados
Contribuições do Design	Uma pesquisa fundamentada em Design Science deve prover contribuições claras e verificáveis nas áreas específicas dos artefatos desenvolvidos, e apresentar fundamentação clara em fundamentos de design e/ou metodologias de design.
Rigor da Pesquisa	A pesquisa em Design Science é baseada em uma aplicação de métodos rigorosos, tanto na construção como na avaliação dos artefatos.
Design como um Processo de Pesquisa	A busca por um artefato eficaz e efetivo exige a utilização de meios que sejam disponíveis, para alcançar os fins desejados, ao mesmo tempo que satisfaz as leis que regem o ambiente em que o problema está sendo estudado.
Comunicação da Pesquisa	A pesquisa em Design Science deve ser apresentada tanto para o público mais orientado à tecnologia quanto para aquele menos orientado à gestão.

Fonte: A partir de Simon (1996)

Perante o exposto, o artefato a ser utilizado para esta dissertação foi em forma de modelo, determinando os passos para execução de um conjunto de atividades. Para isso, Lacerda et al. (2013) destacam que a DSR deve ser realizada em 5 etapas, sendo:

conscientização; sugestão; desenvolvimento; avaliação; e a conclusão. Neste caso, o sistema deve funcionar como um circuito fechado em *loop*, seguindo a ordem de execução, mas retroalimentados em ambos os sentidos, pelo fluxo de conhecimento (Manson 2006). A seguir, o quadro 11 apresenta a descrição de cada uma dessas etapas.

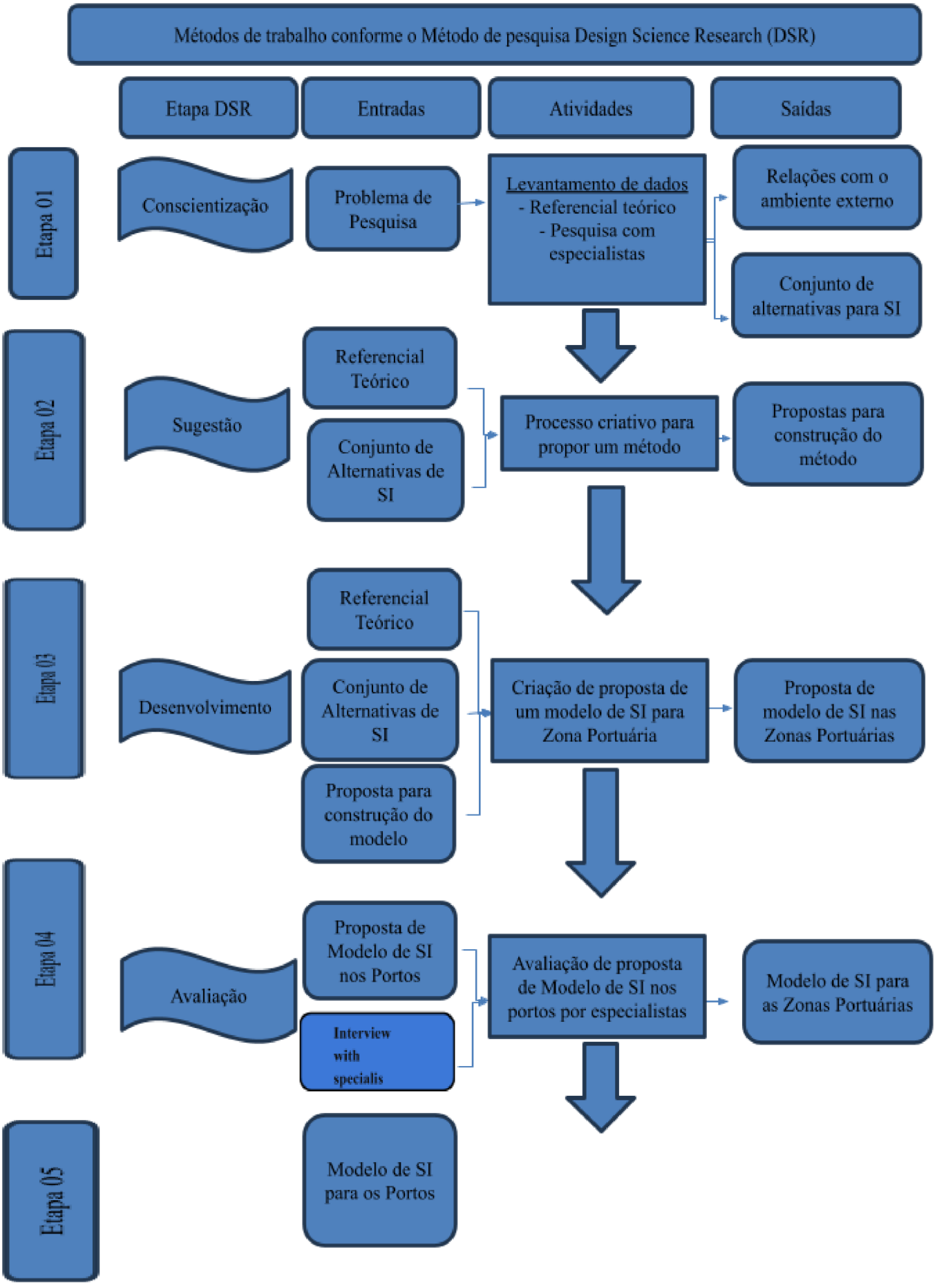
Quadro 11: Descrição das 5 etapas da DSR

Etapa	Descrição
Conscientização	Fase de aprendizagem sobre o problema, podendo ser obtida através de pesquisa ou do conhecimento do próprio pesquisador.
Sugestão	Fase onde já se gera uma sugestão através de um processo criativo.
Desenvolvimento	Fase que trata da criação dos artefatos.
Avaliação	Fase que busca a validação do artefato considerando um critério implícito ou não proposto.
Conclusão	Fase que busca a explicação dos desvios frente aos artefatos criados, permitindo a reflexão sobre se o artefato é adequado para a aplicação.

Fonte: A partir de Bonato (2016)

A partir das atividades retratadas, as relações das mesmas com as etapas que foram utilizadas na construção de um modelo de SI para as Zonas Portuárias são apresentadas na Figura 5 e compõe o método de trabalho desta dissertação, que foram compostas pela realização das atividades, entradas e saídas de cada uma dessas atividades e a sua relação com cada atividade com as etapas da DSR.

Figura 5: Método de trabalho conforme o método de pesquisa DSR



Fonte: A partir de Bonato (2016)

Diante do exposto, o quadro 12 apresenta um descritivo das cinco etapas da DSR aplicadas ao desenvolvimento do modelo voltado às zonas portuárias, evidenciando as atividades realizadas em cada fase e suas respectivas contribuições para a consolidação da proposta.

Quadro 12: Etapas da Design Science Research aplicadas à construção do modelo de Simbiose Industrial para Zonas Portuárias

Etapa da DSR	Descrição da Aplicação na Pesquisa
Conscientização – Levantamento de Dados	Nesta fase, foram realizados estudos para identificar, de forma abrangente, os modelos de SI existentes na literatura e práticas já documentadas. O levantamento incluiu: (i) revisão sistemática em bases como Scopus e Web of Science (vide item 3.1.1); e (ii) consulta a especialistas ligados aos segmentos industriais das organizações selecionadas (conforme item 3.1.2).
Sugestão – Processo Criativo para Proposição do Modelo	Após a etapa de conscientização, iniciou-se o processo criativo de construção do modelo. Essa fase foi essencial para definir os fundamentos conceituais e operacionais que estruturariam a proposta de Simbiose Industrial.
Desenvolvimento – Criação da Proposta de Modelo de Simbiose Industrial para Zonas Portuárias	Com base nas informações obtidas nas etapas anteriores, o modelo foi desenvolvido em formato de fluxo, com etapas bem definidas e momentos de decisão. Cada fase do modelo foi detalhada com orientações práticas para sua execução.
Avaliação – Validação do Modelo de SI	O modelo foi submetido à validação por especialistas da área. O instrumento de validação (Apêndice B) foi enviado previamente aos participantes, contendo objetivos, descrição do modelo e questões avaliativas. As contribuições dos especialistas foram analisadas e classificadas como Aceita (A), Aceita Parcialmente (AP) ou Não Aceita (NA), com respectivas justificativas. A atividade foi gravada em áudio para fins de verificação posterior.
Conclusão – Lições Aprendidas e Contribuições do Modelo	A etapa final consistiu na sistematização das principais lições aprendidas ao longo da pesquisa, apresentação das contribuições teóricas e práticas do modelo, bem como a proposição de direções para estudos futuros, conforme descrito no capítulo de considerações finais.

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de Lacerda et al., 2013 e Manson, 2006.

4. ANÁLISE DAS ENTREVISTAS

A partir das entrevistas realizadas com os gestores de 5 empresas localizadas na Zona Portuária de Rio Grande, foi possível obter informações detalhadas sobre a produção de resíduos, a gestão interna e as oportunidades potenciais para a implementação de práticas de SI. Essas empresas, (ramo petroquímico, extração de óleos vegetais, produção de celulose e papel, construção naval e transporte de contêineres), geram uma variedade de resíduos, que incluem resíduos orgânicos, embalagens, resíduos perigosos (como tintas e solventes), lodos de estações de

tratamento, sucatas metálicas e pneus. Embora duas empresas já possuam sistemas de tratamento e reaproveitamento de resíduos, como a compostagem ou a reutilização de resíduos em cimenteiras, o potencial de integração entre elas ainda é pouco explorado. A ausência de uma estrutura consolidada de cooperação e um cenário de escassez de soluções locais para valorização de resíduos são desafios recorrentes.

Diante disso, antes de analisar a dinâmica da geração e destinação de resíduos, foi necessário compreender o tipo de atividade produtiva desempenhada por cada empresa. A identificação do ramo de atuação permite contextualizar a natureza dos resíduos gerados e as possibilidades de reaproveitamento, considerando as características técnicas e operacionais de cada processo industrial, diante disso, como pergunta 1 temos: "Tipo de produto/serviço que a empresa oferece".

Quadro 13: Tipo de produto/serviço que a empresa oferece

Empresa	Produto/Serviço
Empresa 1	Extração de óleo de soja e produção de farelos e armazenagem de soja e farelo para exportação
Empresa 2	Fabricação de celulose e papel
Empresa 3	Módulos para plataformas de prospecção de petróleo, serviços de engenharia e construção naval
Empresa 4	Terminal portuário de contêineres
Empresa 5	Refino de petróleo

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A diversidade de resíduos gerados pelas empresas da zona portuária da cidade de Rio Grande evidencia o potencial de articulação de fluxos entre setores com diferentes perfis. A geração inclui desde materiais orgânicos, embalagens e metais, até resíduos perigosos e específicos de processos industriais complexos, como catalisadores e borras oleosas. A seguir, apresenta-se um quadro comparativo com as respostas da pergunta 2, contendo os principais resíduos identificados nas entrevistas.

Quadro 14: Resíduos que as empresas geram

Empresa	Principais Resíduos Gerados

Empresa 1	Resíduos de soja e farelo, cinzas da caldeira, madeiras, filtros de óleo, sucata metálica, embalagens perigosas, pneus.
Empresa 2	Lodos das estações de tratamento, serragem, rejeito do digestor, pneus.
Empresa 3	metais, sucatas metálicas, pneus,, resíduos perigosos como tintas e solventes, resíduos contaminados.
Empresa 4	Resíduos perigosos, construção civil, orgânicos para compostagem, pneus.
Empresa 5	Catalisador do craqueamento, borra oleosa, pneus, serragem.

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Como pergunta número 3, tivemos a quantificação dos resíduos gerados, permitindo dimensionar o impacto ambiental e logístico da gestão desses materiais. Além disso, dados sobre volumes possibilitam estimativas econômicas para a viabilidade de parcerias interempresariais e sistemas de reaproveitamento. As empresas entrevistadas forneceram estimativas variadas, com destaque para resíduos como lodo, cinzas, catalisadores e sucatas metálicas.

Quadro 15: Quantidade total de resíduos gerados

Empresa	Quantidades
Empresa 1	8.000 T/ANO, sendo 1.300 toneladas/ano de cinzas, e outra grande parte sucata ferrosa, além de 7 toneladas/ano de embalagens perigosas.
Empresa 2	15.000 T/ANO, sendo o maior volume: lodos das estações de tratamento de esgoto.
Empresa 3	12.000 T/ANO sendo sucata ferrosa como maior volume.
Empresa 4	10.000 T/ANO, além de cinco cargas grandes de resíduos perigosos por ano.
Empresa 5	25.000 toneladas/ano no total, sendo 6.000 toneladas/ano de catalisador, 3 mil toneladas de borras oleosas, 1.000 toneladas de lodo biológico.

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Ademais, a análise da destinação dos resíduos como pergunta 4 revelou um cenário onde a maior parte dos materiais ainda é enviada para aterros sanitários, havendo poucas iniciativas de reutilização interna. No entanto, algumas empresas têm adotado estratégias específicas de reaproveitamento externo, como a compostagem ou a

criação de adubo. Além disso, conforme todas as empresas entrevistadas, os pontos referentes à logística envolvida; o alto custo de transporte; e a distância dos centros de tratamento especializados são apontados como obstáculos à implementação de práticas mais sustentáveis.

Quadro 16: Destinação, coleta e reúso de resíduos

Empresa	Destinação/Coleta
Empresa 1	Aterro sanitário (Meio-Oeste), reciclagem (cooperativa local).
Empresa 2	Lodos viram adubo (Homosolo), via empresa Vida.
Empresa 3	Blendagem e coprocessamento (ProAmb)
Empresa 4	Reslog e ProAmb, compostagem e resíduos de construção civil reutilizados
Empresa 5	lodo para compostagem, reuso interno com Unidade Recuperadora

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Por fim, como última pergunta, tivemos o seguinte questionamento: “Em algum momento já pensou em tornar esse resíduo rentável? De que forma?” Visando a possibilidade de transformar resíduos em recursos econômicos, sendo um dos pilares da SI. Ao serem questionadas, as empresas revelaram diferentes níveis de maturidade. Algumas já realizam venda de materiais como sucata metálica ou transformam resíduos como compostagem em adubo; outras ainda enfrentam limitações técnicas, econômicas ou estruturais para viabilizar tal aproveitamento.

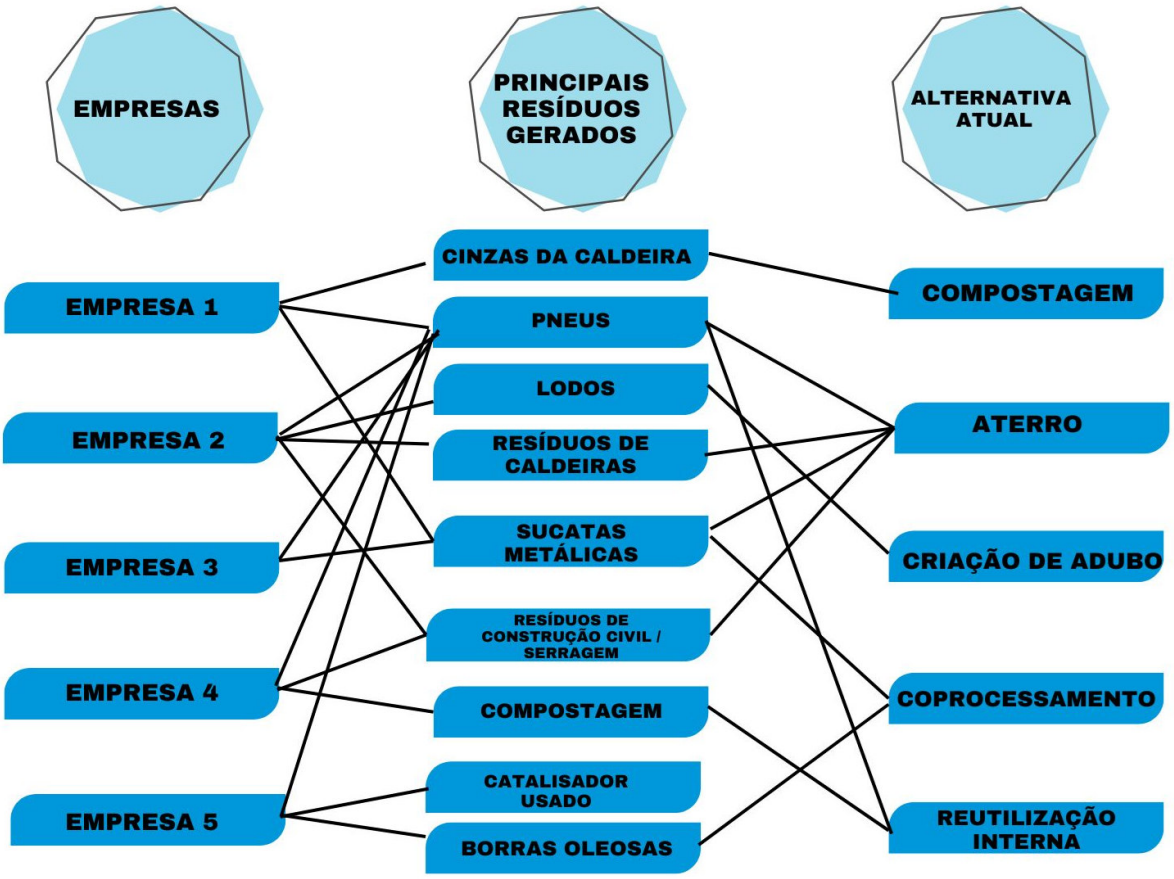
Quadro 17: Iniciativas para rentabilização de resíduos

Empresa	Rentabilização/Projetos
Empresa 1	Pneus reutilizados como batente de embarcação
Empresa 2	Homosolo vendido como adubo
Empresa 3	Sucata metálica vão para coprocessamento e são vendida
Empresa 4	Compostagem vira adubo, pneus antes vendidos, hoje sem valor muitas vezes reutilizados internamente.
Empresa 5	sucatas são enviadas para coprocessamento

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Considerando os dados obtidos, foi possível criar um framework do modelo linear atual referente aos resíduos gerados, conforme figura 6:

Figura 6: Framework modelo atual dos resíduos gerados



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Diante do exposto, a análise dos dados coletados revela um panorama desafiador, mas com indícios de potencial para a implementação de práticas de SI na Zona Portuária de Rio Grande. Foi possível identificar que quatro das cinco empresas entrevistadas destinam ao menos um de seus principais resíduos para aterros sanitários, evidenciando a subutilização dos resíduos gerados e a necessidade de estratégias eficazes de reaproveitamento. Contudo, é encorajador notar que 75% dessas empresas já adotam iniciativas como compostagem, coprocessamento, reutilização interna e transformação de resíduos em adubo, indicando um movimento inicial em direção à sustentabilidade.

Portanto, apesar dos desafios identificados, as iniciativas representam movimentações importantes rumo à adoção de práticas sustentáveis. É fundamental que

as empresas continuem a explorar e expandir essas iniciativas, buscando parcerias e soluções inovadoras que permitam a integração efetiva de resíduos e a promoção de uma EC mais eficiente e sustentável.

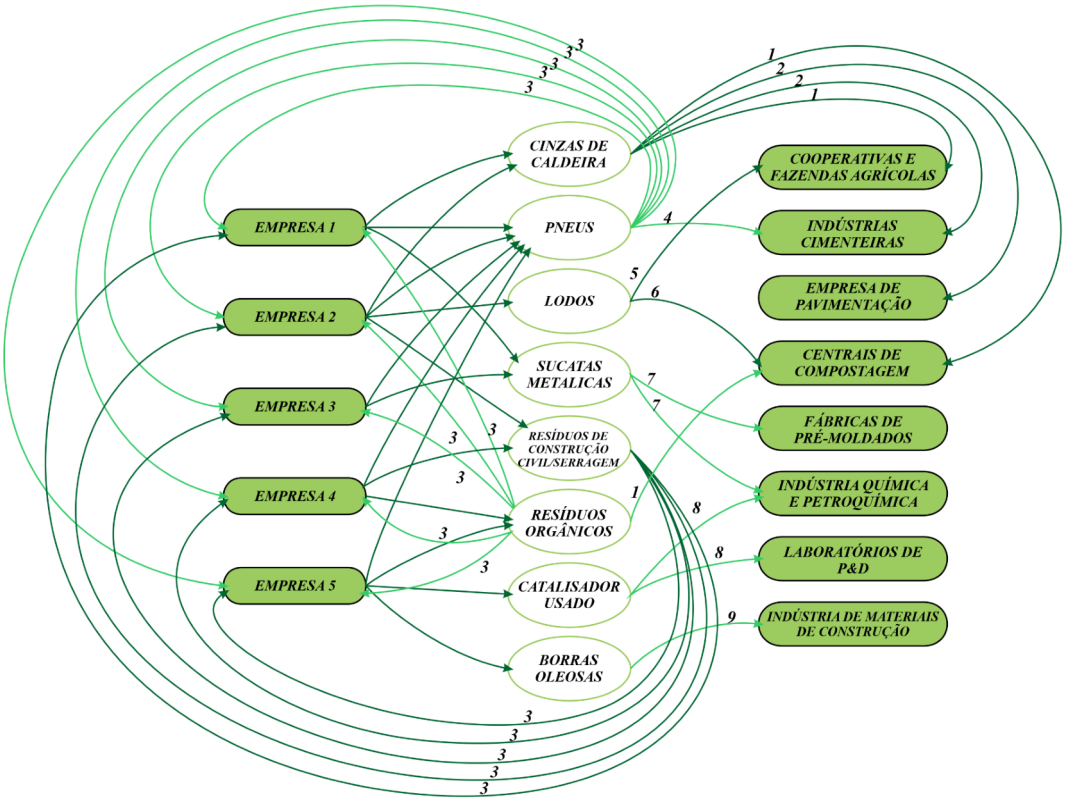
5. RESULTADOS

Com base na DSR e nos parâmetros do modelo de Mantese (2018), foi desenvolvido um modelo específico para a Zona Portuária de Rio Grande. Este modelo considera as características únicas das empresas e enfatiza indicadores como conectividade, ecoeficiência e densidade de links simbióticos.

5.1 ETAPAS DO MODELO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL

a) Framework com o mapeamento de Resíduos e Potenciais Sinergias

Figura 7: Framework com o mapeamento de resíduos e potenciais sinergias



1-9 Novas alternativas conforme literatura / alternativas que devem ser mantidas

1. Ampliar a compostagem (Leme, 2023)
2. Cooperação para logística reversa e reutilização (Ribeiro, 2024)
3. Reutilização Interna (Oliveira, 2024; Ferreira, 2022; Dos Santos Melo et al., 2023)
4. Coprocessamento de Pneus inservíveis (Martins, 2022)
5. Integração com empresas agrícolas (Albarelo, 2022)
6. Criação de adubo (Ramos, 2024)
7. Reutilização na fabricação do aço, parcerias para descontaminação (Poletti, 2024)
8. Reutilização de catalisadores para criação de novos catalisadores (Costa Neto, 2020)
9. Reutilização da borra oleosa para produção de materiais de construção (Queiroz, 2021)

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

À face do exposto, é possível observar que a comparação entre as alternativas atualmente utilizadas pelas empresas e as identificadas na literatura evidenciam oportunidades relevantes para o aprimoramento da gestão de resíduos no contexto da SI. No primeiro Framework, observam-se as práticas em vigor, como aterro, coprocessamento, reutilização interna, compostagem e criação de adubo. Embora algumas estratégias apresentem alinhamento com princípios de sustentabilidade, outras, como o uso recorrente de aterro, indicam a necessidade de soluções mais eficazes e ambientalmente responsáveis. Por sua vez, o framework atual incorpora alternativas

propostas com base na literatura recente, as quais apontam caminhos promissores para agregar valor aos resíduos e estimular parcerias interindustriais.

Entre essas, destacam-se o coprocessamento de pneus em cimenteiras (Martins, 2022), a criação de novos catalisadores a partir de catalisadores usados (Costa Neto, 2020), e a integração com empresas agrícolas para o aproveitamento de lodo e compostagem (Albarelo, 2022). Alternativas como criação de adubo e reutilização interna foram mantidas no framework final por sua aderência aos princípios da SI, ao promoverem reaproveitamento, redução de custos e estímulo à cooperação entre empresas. Por outro lado, práticas consideradas pouco sustentáveis ou que não se mostraram eficazes no contexto analisado foram excluídas, como é o caso do aterro. Dessa forma, o modelo proposto buscou orientar a transição de um sistema linear para um circular, com base em evidências empíricas e teóricas que reforçam o potencial de desenvolvimento sustentável da zona portuária da cidade de Rio Grande.

Nesse contexto, destaca-se a proposta de criação de uma plataforma digital (banco de resíduos compartilhado), que permitiria às empresas cadastrarem seus resíduos e subprodutos, informarem suas demandas por insumos, visualizarem as ofertas e demandas das demais, e negociarem diretamente possíveis trocas, fortalecendo as sinergias industriais e otimizando o uso de recursos locais (Guedes, 2019).

b) Definição dos Indicadores de Desempenho da Rede de Simbiose

Com base em Mantese (2018), o modelo propõe adotar dois principais indicadores sugeridos no estudo, combinados com outros complementares:

Quadro 18: Principais Indicadores sugeridos

Indicador	Descrição	Aplicação na Zona Portuária
ISI - Indicador de Simbiose Industrial (Felicio et al., 2016).	Mede a evolução do desempenho das relações simbióticas	Monitorar aumento de trocas entre as empresas entrevistadas.
Impacto Ambiental (Trokanas et al., 2015)	Avalia redução de impactos (emissão de CO2, economia de materiais virgens, etc.)	Verificar economia com transporte, menor envio para aterros e reaproveitamento local

Ecoeficiência (Park e Behera, 2014).	Custo x benefício das conexões simbióticas	Calcular ganhos financeiros e ambientais de cada relação criada
Conectividade e Utilização Simbiótica (Hardy e Graedel, 2002).	Grau de interações entre empresas	Mensurar o nível de integração da rede

Fonte: Elaborado pela autora (2025), a partir de Mantese (2018).

Diante do exposto, a definição desses indicadores de desempenho é fundamental para avaliar a efetividade do modelo de SI proposto no contexto das zonas portuárias. A seleção combinada de métricas extraídas da literatura permite não apenas mensurar os avanços em termos de cooperação entre empresas, mas também acompanhar os impactos ambientais e econômicos resultantes das conexões simbióticas estabelecidas. Dessa forma, os indicadores funcionam como ferramentas de gestão e monitoramento contínuo da rede, orientando ajustes estratégicos e contribuindo para a consolidação de um sistema produtivo mais sustentável, eficiente e integrado.

c) Fases de Implementação

O modelo sugere uma implantação em três fases, sendo elas: Piloto, Expansão e Consolidação.

Quadro 19: Fases de Implementação

Fase	Descrição	Resultados Esperados
1. Piloto	Escolha de uma sinergia viável entre duas empresas para teste	Validação operacional e financeira da troca
2. Expansão	Ampliação para outras conexões entre os cinco agentes	Aumento do número de trocas e engajamento
3. Consolidação	Criação da rede de simbiose consolidada com indicadores sendo monitorados	Operação contínua e gestão integrada da simbiose

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Desta forma, além dos benefícios diretos como a redução de custos com destinação de resíduos e o reaproveitamento de materiais localmente, a implementação de um modelo de SI possibilitará a mitigação dos impactos ambientais associados à disposição inadequada de resíduos e à extração de recursos naturais. Segundo Park e Behera (2014), às práticas de SI aumentam a ecoeficiência dos processos produtivos, uma vez que possibilitam o uso de subprodutos como insumos em outras cadeias produtivas, reduzindo o consumo de matérias-primas virgens e promovendo a circularidade dos recursos.

Outro benefício relevante é a diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE), como o CO_2, resultado da redução no transporte de resíduos e do menor envio de materiais para aterros sanitários. Estudos como de Trokanas et al. (2015) destacam que a SI, ao permitir o reaproveitamento local de resíduos, reduz não apenas os custos logísticos, mas o impacto ambiental relacionado ao ciclo de vida dos materiais, incluindo o transporte e o processamento de resíduos. Isso fortalece a EC local, promovendo cadeias de valor mais sustentáveis e resilientes.

Ademais, a criação de redes de SI fortalece a cooperação e a integração entre as empresas localizadas em uma mesma região, gerando sinergias produtivas e promovendo o desenvolvimento regional. De acordo com Chertow (2007), a aproximação entre os agentes econômicos por meio da troca de resíduos e subprodutos fomenta a inovação, o compartilhamento de recursos e a criação de novos negócios sustentáveis. Isso contribui diretamente para o fortalecimento da economia local e para a consolidação de um ambiente industrial mais integrado e sustentável. Ressalta-se que a localização das empresas no Porto de Rio Grande representa um diferencial logístico que facilita o escoamento e o intercâmbio de materiais, incentivando a viabilidade de trocas diretas.

À vista disso, foi possível criar algumas propostas para promover a SI nas zonas portuárias, como: criação de uma plataforma de gestão compartilhada de resíduos (Guedes, 2019): desenvolvendo uma plataforma onde empresas possam registrar seus resíduos disponíveis para venda, troca ou reaproveitamento (similar ao sistema de consolidação de cargas mencionado pela empresa de Containers); Desenvolvimento de parcerias com gestores de resíduos locais: ampliando serviços de triagem e

reaproveitamento na região; Treinamento e conscientização: oferecendo workshops e capacitações para as empresas locais sobre os benefícios e práticas de SI; Parceria com universidades para desenvolver tecnologias de reaproveitamento; Além do engajamento da Prefeitura e de órgãos ambientais para incentivar práticas de SI.

Referente à validação do presente modelo, com o objetivo de verificar a aplicabilidade e a coerência do modelo de SI proposto, foi realizada uma validação com quatro especialistas da área, estruturada a partir de cinco perguntas centrais, contemplando aspectos como a estrutura do modelo, sua lógica de implementação, utilidade para diagnóstico de maturidade organizacional e sugestões de melhorias. A recepção ao modelo foi positiva, com todas as respostas classificadas como "Aceita" (A), demonstrando concordância com os fundamentos teóricos e práticos apresentados. Evidenciando oportunidades de inclusão de novos elementos (como upcycling e downcycling) e propostas futuras de refinamento. As contribuições dos especialistas reforçam a robustez conceitual do modelo, ao mesmo tempo em que sinalizam caminhos para sua evolução prática e aderência a diferentes contextos organizacionais.

Quadro 20: Avaliação do Modelo Proposto por Especialistas

Pergunta	Entrevistado	Resposta	Avaliação	Justificativa (para AP ou NA)
1. Você considera que a estrutura e os componentes do modelo proposto estão adequados?	Professor 1	Sim, considero a estrutura e os componentes extremamente adequados e robustos. A divisão do modelo em quatro fases (Empresa, Resíduos, Análise de Oportunidades e Implementação) é lógica, sequencial e completa. Ela reflete as melhores práticas em projetos de simbiose industrial, seguindo um ciclo de melhoria contínua (PDCA - Planejar, Fazer, Checar, Agir).	A	-
	Professor 2	Sim, a estrutura do modelo está bem organizada e os componentes refletem de maneira coerente as etapas necessárias para implementar práticas de Simbiose Industrial no contexto portuário. A integração de elementos como identificação de resíduos, oportunidades de intercâmbio, mecanismos de governança e indicadores de desempenho reforça a consistência do modelo.	A	-
	Pesquisador 1	Sim, os componentes acredito que estão adequados e realizam todas as ligações sobre resíduos.	A	-

	Pesquisador 2	Sim, considero que a estrutura e os próprios componentes do modelo estão adequados visto que a SI desempenha um papel estratégico no modelo, otimizando o uso de recursos e minimizando os possíveis impactos ambientais das atividades produtivas geradas por essas empresas do Complexo Portuário.	A	-
2. O que você achou mais interessante no modelo?	Professor 1	O ponto de maior destaque e interesse é a ênfase na Fase 3: Análise de Oportunidades. Muitas iniciativas de Simbiose Industrial (SI) falham por focarem excessivamente no mapeamento técnico (Fase 1 e 2) e subestimarem a complexidade das interações entre a pesquisa e o mercado.	A	-
	Professor 2	O aspecto mais interessante é a abordagem sistêmica adotada, que permite visualizar as relações entre diferentes atores da zona portuária e suas possibilidades de sinergia. A criação de um framework que parte do diagnóstico real das empresas locais dá ao modelo um forte caráter aplicável e bem contextualizado.	A	-
	Pesquisador 1	O modelo apresenta uma perspectiva simples e clara, tornando fácil o entendimento para o leitor.	A	-
	Pesquisadora2	A ideia de que empresas podem atuar como organismos interconectados, onde o que é "lixo" para uma se torna "insumo" para outra, é um imperativo estratégico. Fica claro, no modelo, as possíveis colaborações interempresarial . O modelo oferece um caminho prático para a transição de um sistema linear para um sistema industrial circular e mais sustentável. Diante de possíveis desafios à implementação, o modelo corrobora com alternativas já discutidas por autores, de forma muito atual, potencializando a aplicabilidade desse modelo.	A	-
3. A sequência lógica para implementação do modelo está adequada para torná-lo mais sustentável?	Professor 1	Sim, a sequência lógica é perfeitamente adequada para a sustentabilidade do sistema a longo prazo. O modelo adota uma abordagem cautelosa e baseada em evidências, o que é fundamental para evitar falhas prematuras que poderiam desacreditar o conceito de SI na região. Sugiro que organize um fluxograma e destine na metodologia, seguindo os passos. Começar pelo mapeamento completo de empresas, resíduos e oportunidades para garantir que as decisões sejam tomadas com base em	A	-

		dados reais, e não em suposições/hipóteses/pressupostos.		
	Professor 2	Sim, a sequência apresentada está adequada, pois respeita uma lógica de maturação progressiva das práticas de simbiose, desde o levantamento de dados até a consolidação de parcerias e avaliação contínua. Me parece que isso deve favorecer a sustentabilidade do processo, tanto no aspecto ambiental quanto organizacional.	A	-
	Pesquisador 1	Sim, com toda certeza.	A	-
	Pesquisador 2	Sim, pois ao priorizar a adaptação e a flexibilidade, o modelo de simbiose industrial não se torna apenas uma aspiração teórica, mas uma ferramenta prática e alcançável, capaz de gerar valor econômico e ambiental de forma sustentável para cada empresa. No entanto, para que essa visão se materialize, é indispensável reconhecer que cada empresa possui um conjunto único de capacidades. Sendo assim, se faz necessário realizar futuramente uma análise aprofundada de suas operações, recursos e limitações para a devida implementação do modelo.	A	-
4. As informações presentes no modelo podem auxiliar no conhecimento do nível de maturidade da organização?	Professor 1	Com toda a certeza. O modelo funciona como uma ferramenta de diagnóstico de maturidade e de planejamento estratégico.	A	-
	Professor 2	Sim. O modelo oferece subsídios importantes para que as organizações avaliem sua posição atual dentro de uma escala de maturidade e possam planejar avanços estruturados. Nesse sentido, os elementos de diagnóstico e monitoramento são essenciais .	A	-
	Pesquisador 1	Sim.	A	-
	Pesquisador 2	Sim, acredito que a empresa ao implementar um modelo de SI, torna-se imperativo avaliar de forma contínua o nível de suas atividades. À medida que as empresas ganham experiência e confiança nos benefícios da simbiose, o escopo pode ser expandido para fluxos	A	-

		mais complexos. Isso minimiza riscos e permite aprendizado contínuo.		
5.Você faria alguma alteração no modelo?	Professor 1	Sim, como proposta de melhoria FUTURA, eu faria um framework apresentando dimensões de Simbiose Industrial e direcionamentos para que as empresas possam adotar as sugestões de trocas de materiais desenhadas.	A	-
	Professor 2	Uma possível sugestão seria incluir uma etapa mais explícita de engajamento comunitário e comunicação externa, reforçando o papel da transparência e da aceitação social no sucesso de iniciativas de Simbiose Industrial. Também dá pra pensar no seguinte, prever mecanismos de incentivo financeiro ou regulatório para adesão ao modelo, isso poderia ser útil.	A	-
	Pesquisador 1	Acredito que seria interessante especificar futuramente se é upcycled ou downcycles.	A	-
	Pesquisador 2	Não	A	-

Fonte: Elaboração própria (2025)

Por fim, é possível afirmar que o modelo proposto representa um avanço significativo na promoção da SI no contexto da Zona Portuária da cidade de Rio Grande. A integração entre os dados empíricos coletados junto às empresas, as alternativas identificadas na literatura e a validação com especialistas evidencia a solidez conceitual e a viabilidade prática da proposta, visto que, ao incorporar mecanismos de cooperação, indicadores de desempenho, fases de implementação estruturadas e sugestões de políticas de apoio, o modelo demonstra capacidade de orientar a transição para um sistema mais circular, colaborativo e ambientalmente eficiente. Além disso, a receptividade positiva dos especialistas confirma a pertinência da estrutura apresentada, reforçando seu potencial como ferramenta estratégica para a gestão de resíduos e o fortalecimento de cadeias produtivas locais. Assim, os resultados obtidos contribuem para a compreensão do cenário atual, mas também oferecem diretrizes concretas para o desenvolvimento sustentável da região.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou propor um modelo para desenvolvimento da Simbiose Industrial na Zona Portuária do Rio Grande, que foi alcançado por meio da criação de um framework adaptado às necessidades regionais, promovendo a transição para uma

economia mais sustentável e integrada. Ademais, a pesquisa visou destacar a importância da SI como um mecanismo para fomentar práticas sustentáveis e melhorar a eficiência das empresas localizadas no Porto de Rio Grande, onde a análise das entrevistas revelou que, apesar das dificuldades estruturais e logísticas, há potencial para a cooperação entre as empresas.

Como próximos passos, recomenda-se a implementação prática do modelo, acompanhada de um monitoramento rigoroso dos indicadores-chave de desempenho e uma análise contínua das barreiras enfrentadas, garantindo o seu sucesso a longo prazo. O modelo combina as premissas de Mantese (2018) com a realidade das empresas da zona portuária de Rio Grande, e ao priorizar o ISI e o Indicador de Impacto Ambiental, proporciona uma ferramenta robusta para medir e fortalecer a rede de SI local, tornando-se viável técnica e socialmente.

A Zona Portuária de Rio Grande reúne empresas de diversos setores que geram variados tipos de resíduos, como orgânicos, perigosos, lodos e sucatas metálicas. Apesar de algumas iniciativas de tratamento e reaproveitamento, o potencial de integração entre as empresas ainda é pouco explorado, sendo os principais desafios a falta de cooperação estruturada e a escassez de soluções locais para valorização dos resíduos. Por outro lado, a análise revelou oportunidades concretas de sinergia industrial. Resíduos como cinzas de caldeiras, por exemplo, apresentam viabilidade para serem utilizados como insumo em cimenteiras e empresas de pavimentação, promovendo a articulação com setores estratégicos da construção civil. As sucatas metálicas, amplamente geradas, possuem elevado potencial de reaproveitamento por empresas químicas e petroquímicas. Já os lodos das estações de tratamento podem ser transformados em adubo, abrindo caminho para integrações com o setor agrícola.

Como proposta para promover a SI na Zona Portuária de Rio Grande, propõe-se criar uma plataforma digital para conectar empresas e facilitar a troca de resíduos, além de parcerias com gestores locais para ampliar a triagem e o reaproveitamento. Também é sugerido um banco de resíduos, treinamentos sobre práticas sustentáveis e o envolvimento do setor público e acadêmico no desenvolvimento de tecnologias. Por fim, recomenda-se a criação de incentivos fiscais para empresas que aderirem ao programa, fortalecendo a EC e a cooperação regional.

Por fim, o modelo pode servir como projeto-piloto para outras zonas portuárias do Brasil, contribuindo diretamente para o desenvolvimento sustentável da região. Ademais, a partir dos dados analisados na presente pesquisa, foram encontradas lacunas referentes ao desenvolvimento de um sistema de inteligência artificial que permita inferir conexões entre indústrias para que as trocas de informações de resíduos sejam realizadas com maior velocidade (Guedes, 2019); a expansão dos modelos de SI existentes (Spekkink, 2015), onde para expandir esses modelos, seria necessário adaptá-los a diferentes contextos industriais, considerando as características específicas de cada setor, bem como as necessidades e capacidades das empresas envolvidas.

Ademais, a possível comparação e aplicabilidade do modelo em outras regiões (Spekkink, 2015), e/ou setores, visto que a aplicação bem-sucedida de modelos de SI em uma região ou setor não garante automaticamente sua eficácia em outros contextos, já que cada região e setor tem suas particularidades, como disponibilidade de recursos, infraestrutura e regulamentações específicas. Portanto, seria importante comparar os modelos existentes com as necessidades e características de diferentes regiões e setores. Além de que, a adaptação do modelo para atender a essas especificidades seria fundamental para sua aplicação bem-sucedida.

Como implicação prática, o modelo criado poderá servir como um guia prático, orientando os gestores das organizações situadas nas Zonas portuárias a adoção de diferentes práticas de SI em suas empresas, reforçando a importância da circularidade de processos e prolongamento da vida das matérias-primas nos circuitos produtivos e ciclos de valor, a possibilidade de um resíduo passar a ter um valor (cujo pode ser vendido como subproduto a uma outra fábrica, resultando em uma poupança nos custos), além de abrir oportunidades de negócio.

Enquanto contribuição teórica, a pesquisa destaca a relevância de trabalhar o contexto SI, em prol da melhoria contínua, colaborando com pesquisas que envolvem os benefícios do contexto da sua implementação, e ainda, auxiliando para a elaboração de materiais didáticos, manuais, e/ou cursos para disseminar o conhecimento sobre o assunto. Já socialmente, o estudo poderá apoiar a elaboração de políticas públicas que visem a gestão de resíduos industriais, geração de empregos com as novas oportunidades de negócios, além de melhora na qualidade de vida promovidas pela SI através da redução do impacto ambiental.

Ademais, como sugestão para estudos futuros se tem a implementação e monitoramento do modelo proposto, bem como o aprofundamento na viabilidade econômica das sinergias identificadas, apontando lacunas na infraestrutura regional de reaproveitamento de resíduos.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. (2020). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020. In Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (Vol. 1).

ALBARELO, Luany Almeida et al. Uso de lodo de ETE como reuso em adubagem para cultivos agrícolas. Cadernos UniFOA, v. 19, n. 54, p. 1-10, 2024.

ALVES, A. d. S., & Silva, J. G. S. L. d. (2015). Gestão Portuária no Brasil: criação ou destruição de valor? Gestão & Regionalidade, 31(93), 109-126.

AZEVEDO, João et al. Guidelines for Industrial Symbiosis—a Systematic Approach for Content Definition and Practical Recommendations for Implementation. **Circular Economy and Sustainability**, p. 1-17, 2021.

BAIL, F,R, GONÇALVES, A, M. A, KOVALESKI, J.L, RESENDE, M, L.M, PAGANI, N, R (2016). Uma análise da produção científica sobre Simbiose Industrial. VI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção.

BARDIN, L. Análise de Conteúdo. São Marcos: Edições 70, 2016.

BAYAZIT, Nigan. Investigating design: A review of forty years of design research. **Design issues**, v. 20, n. 1, p. 16-29, 2004.

BRASIL. Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Institui a Política Nacional do Meio Ambiente.

BEGON, M.; TOWSEND, C. R.; HARPER, J. L. Ecologia: de indivíduos a populações. **Porto Alegre: Artmed**, 2007.

BRITTO, Paulo Augusto P. et al. Promoting competition in the port sector: an analysis from the global models and application to the Brazilian case. Revista de Administração Pública, v. 49, n. 1, p. 47, 2015.

BOCKEN, N., SHORT, S.W., RANA, P., EVANS, S., A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. J. Clean. Prod. 65, 42:56. 2014.

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.

BONATO, Samuel Vinícius. Método para gestão de resíduos na cadeia cervejeira do Rio Grande do Sul. 2016.

BOTTASSO, Anna et al. Ports and regional development: A spatial analysis on a panel of European regions. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 65, p. 44-55, 2014.

CAIADO, Nathália et al. A characterization of the Brazilian market of reverse logistic credits (RLC) and an analogy with the existing carbon credit market. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 118, p. 47-59, 2017.

CALLENBACH, Ernest. **Ecologia, um guia de bolso**. Editora Peirópolis, 2001.

CASTRO, Silvia Machado de; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de. Dragagem e conflitos ambientais em portos clássicos e modernos: uma revisão. **Sociedade & Natureza**, v. 24, p. 519-533, 2012.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. da. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CHAKRABARTI, Amaresh. A course for teaching design research methodology. **AI EDAM**, v. 24, n. 3, p. 317-334, 2010.

CHERTOW, Marian R. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. **Annual review of energy and the environment**, v. 25, n. 1, p. 313-337, 2000.

CHERTOW, Marian R. “Uncovering” industrial symbiosis. **Journal of industrial Ecology**, v. 11, n. 1, p. 11-30, 2007.

Chileshe, N., Rameezdeen, R., Hosseini, M. R., Martek, I., Li, H. X., & Panjehbashi-Aghdam, P. (2018). Factors driving the implementation of reverse logistics: A quantified model for the construction industry. Waste Management, 79, 48–57.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações. 2. ed. São Paulo: Editora dos Autores, 2010. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. Preço do material reciclável.

COELHO, Ana. Sustentabilidade a circular como economia circular? Como um modelo económico pode primar pela sustentabilidade. **PINA, Helena; RAMOS, Conceição; REMOALDO, Paula. The overarching issues of the european space-preparing the new decade for key socio-economic, Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto**, p. 307-321, 2018.

CONCEIÇÃO, Márcio Magera et al. O plástico como vilão do meio ambiente. **Revista Geociências-UNG-Ser**, v. 18, n. 1, p. 50-53, 2019.

COSTA NETO, Daniel Salustiano et al. Reutilização de lodo de esgoto para produção de catalisadores e aplicação no processo Fenton heterogêneo. 2020.

CICCONI, Paolo. Eco-design and Eco-materials: An interactive and collaborative approach. Sustainable Materials and Technologies, v. 23, p. e00135, 2020.

DA CRUZ, Henrique Lisbôa; MORAES, Carlos Alberto Mendes. UMA ABORDAGEM INTEGRATIVA ENTRE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E SIMBIOSE INDUSTRIAL EM ECOPARQUES INDUSTRIAIS. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, 2023.

DA SILVA, Valdenira Carlos; BRITO, Maria Gorethe de Sousa Lima. Avaliação da gestão de resíduos sólidos em municípios da região Centro Sul–Ceará. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e365101422026-e365101422026, 2021.

DE ABREU, Eliezer Contreiras; FERNANDES, Elisiane Alves. Logística reversa na atuação da sustentabilidade ambiental das organizações. **Revista Gestão, Sustentabilidade e Negócios**, 2023.

DE ASSUNÇÃO, Gardênia Mendes. A gestão ambiental rumo à economia circular: como o Brasil se apresenta nessa discussão. **Sistemas & Gestão**, v. 14, n. 2, p. 223-231, 2019.

DE MACEDO FERREIRA, Neemias; DOS SANTOS, Leandro Colevati; DA SILVA, Maria Lúcia Pereira. Stakeholders e o gerenciamento de coprodutos: logística reversa e simbiose industrial na redução de custos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 33182-33201, 2021.

DE SOUZA LEITE, Janaína; GIORDANO, Carlos Vital; DA SILVA, Maria Lúcia Pereira. Industrial symbiosis as the base for implementing circular economy. Revista de Gestão e Secretariado, v. 14, n. 8, p. 12884-12900, 2023.

DONNELLY, Kathleen et al. Eco-design implemented through a product-based environmental management system. Journal of Cleaner Production, v. 14, n. 15-16, p. 1357-1367, 2006.

DOS SANTOS MELO, Carla Amanda et al. O papel da logística reversa na gestão de pneus usados: um estudo de caso em uma empresa da cidade de Manaus. Caderno Pedagógico, v. 20, n. 2, p. 710-739, 2023.

DUARTE, Ana Catarina et al. Vantagens e Limitações da Economia Circular-Análise de Casos. **O presente volume integra textos referentes a comunicações realizadas no âmbito das V Jornadas Científico-Pedagógicas de Inovação e Sustentabilidade “Mobilidade e Circularidade: Territórios**

Inteligentes e Sustentáveis", realizadas no dia 10 e 11 de novembro de 2023, no Instituto Politécnico de Setúbal., p. 9.

ELLEN Macarthur Foundation (2015), Rumo à economia circular: o racional de negócio para acelerar a transição, Cowes, Ellen Macarthur Foundation.

EUROPEAN COMMISSION. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Towards a circular economy: a zero waste programme for Europe. 2014.

FABRIS, Míriam Machado; SABBADINI, Francisco Santos; COSTA, Kelly Alonso. Um indicador quantitativo para avaliar o grau de maturidade da simbiose industrial. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. e43911629348-e43911629348, 2022.

FAGLIARI, Raphael Augusto. Um olhar para a Economia Circular e a Simbiose Industrial como base para o avanço da Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2023.

FARIA, Emília de Oliveira. Do cluster ao ecossistema industrial: uma análise do comportamento das organizações em direção a um modelo circular de produção sob a lente da Simbiose Industrial. 2022.

FARIAS, Fabíola Gomes et al. Uma década de estudos sobre economia circular: tendências e reflexões através de análise bibliométrica internacional. **Internext**, v. 16, n. 3, p. 289-305, 2021.

FAGLIARI, Raphael Augusto. Um olhar para a Economia Circular ea Simbiose Industrial como base para o avanço da Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2023.

FELICIO, Miriã et al. Industrial symbiosis indicators to manage eco-industrial parks as dynamic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 118, p. 54-64, 2016.

FERREIRA, Laila Costa; DE BRITO, Tiago Leandro; DA SILVA, Otavio Henrique. Diagnóstico e Propostas para o Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil: Estudo de Caso Realizado em uma Edificação Localizada em Bebedouro, São Paulo. Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, v. 13, n. 32, p. 51-65, 2022.

FERREIRA, P. G.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F. A importância da Química para a Economia Circular. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 452-473, 2017.

FIGUEIREDO, Kaline Ribeiro. DESCARTE DE LIXO INADEQUADO DA POPULAÇÃO BRASILEIRA. **Revista Extensão**, v. 7, n. 4, p. 138-140, 2023.

FONTENELE, Raimundo Eduardo Silveira. Economia Circular e Métodos de Avaliação Econômica de Projetos: Proposta Metodológica para Cálculo dos Impactos Diretos e Indiretos. **Revista Ciências Administrativas**, v. 29, 2023.

FRACCASCIA, Luca; GIANNOCCARO, Ilaria; ALBINO, Vito. Business models for industrial symbiosis: A taxonomy focused on the form of governance. **Resources, conservation and recycling**, v. 146, p. 114-126, 2019.

FRANÇA, Gabriela Thaise de Medeiro et al. Compostagem como uma ferramenta de gerenciamento de resíduos orgânicos em escolas de ensino fundamental. 2024.

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

FROSCH, R.A.; GALLOPOULOS, N. (1989). Strategies for Manufacturing. Scientific American, 261(3):144-152.

GAO, Xiao Long; LI, Rui Qing; LI, Ran. Study on byproducts recycling in eco-industrial parks. **Advanced Materials Research**, v. 788, p. 288-292, 2013.

GEIPOT. (2001). A reforma portuária brasileira M. d. Transportes (Ed.) Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes.

GEGLIA, Domenico. An analysis of institutional dynamic for industrial symbiosis in the United Kingdom. 2015.

GODOY, Arilda Schmidt. **Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades - uma revisão histórica dos principais autores e obras que refletem esta metodologia de pesquisa em Ciências Sociais.** Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995.

GODOY, Arilda Schmidt. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de empresas**, v. 35, p. 20-29, 1995.

GONÇALVES, Taynara Martins; BARROSO, Ana Flavia da Fonseca. A economia circular como alternativa à economia linear. **Anais do XI SIMPROD**, 2019.

GOODE, W. J. & HATT, P. K. - Métodos em Pesquisa Social. 3ªed., São Paulo: Cia Editora Nacional, 1969.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R. Industrial Ecology and Sustainable Engineering: International Edition. Pearson Education Inc., Upper Saddle River, Prentice Hall, 2010.

GUEDES, Gisele Bortolaz; DE SOUZA, Victor Miranda; BORSATO, Milton. An evaluation of the industrial symbiosis systems modeling. In: **Transdisciplinary Engineering for Complex Socio-technical Systems**. IOS Press, 2019. p. 635-644.

GUEDES, Gisele Bortolaz et al. **Modelo híbrido de apoio à tomada de decisão para direcionar resíduos sólidos industriais no estabelecimento de simbiose industrial**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

HARDY, Catherine; GRAEDEL, Thomas E. Industrial ecosystems as food webs. **Journal of industrial ecology**, v. 6, n. 1, p. 29-38, 2002.

HARRIS, S.Drivers and Barriers to Industrial Ecology in the UK. Ph.D. Thesis, the University of Edinburgh, Edinburgh, UK 1 –211, 2004.

HEIN, Andreas M. et al. A conceptual framework for eco-industrial parks. In: **International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference**. American Society of Mechanical Engineers, 2015.

HERZER, Eduardo et al. Simbiose Industrial e a redução dos impactos ambientais dos processos produtivos: estudos realizados entre 2012 e 2017. **COLÓQUIO-Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 17, n. 3, p. 57-73, 2020.

HERZER, Eduardo. Simbiose industrial e produção mais limpa como estratégias de gestão ambiental. **Revista Ingeniería Industrial**, v. 16, n. 3, p. 273-288, 2017.

HEVNER, A. R.; MARCH, S.T.; PARK, J. Design Science in Information Systems Research. MIS Quaterly, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HOLGADO, Maria et al. MAESTRI toolkit for industrial symbiosis: overview, lessons learnt and implications. In: **Sustainable Design and Manufacturing 2018: Proceedings of the 5th International Conference on Sustainable Design and Manufacturing (KES-SDM-18) 5**. Springer International Publishing, 2019. p. 51-60.

HUANG, Beijia et al. Review of the development of China's Eco-industrial Park standard system. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 140, p. 137-144, 2019.

ISOTON, Renan; GIACOMELLO, Cíntia Paese; FACHINELLI, Ana Cristina. Análise da maturidade de práticas de economia circular em confecções. **dObra [s]–revista da Associação Brasileira de Estudos de Pesquisas em Moda**, n. 38, p. 248-277, 2023.

JOHNSEN, Ingrid HG et al. The potential of industrial symbiosis as a key driver of green growth in Nordic regions. 2015.

KAVIANI, Mohamad Amin et al. An integrated framework for evaluating the barriers to successful implementation of reverse logistics in the automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 272, p. 122714, 2020.

KITZMANN, Dione; ASMUS, Milton. Gestão ambiental portuária: desafios e possibilidades. **Revista de Administração Pública**, v. 40, p. 1041-1060, 2006.

KORHONEN, Jouni et al. Circular economy as an essentially contested concept. Journal of cleaner production, v. 175, p. 544-552, 2018.

LACERDA, Daniel Pacheco et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & produção**, v. 20, p. 741-761, 2013.

LACERDA, Monique Silva; LEITÃO, Fabrício. O coco verde no contexto da economia circular: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 3, p. 1-16, 2021.

LEME, Alice dos Santos et al. A logística reversa do galão de água: como é o processo de sua reutilização. 2023.

LEVAI, Laerte Fernando. Ética ambiental biocêntrica: pensamento compassivo e respeito à vida. **Jus Humanum: Revista Eletrônica de Ciências Jurídicas e Sociais**, v. 1, n. 1, p. 07-20, 2011.

LIU, Changhao; CÔTÉ, Raymond. A framework for integrating ecosystem services into China's circular economy: The case of eco-industrial parks. **Sustainability**, v. 9, n. 9, p. 1510, 2017.

LI, Qiang; ZHANG, Shuliang. Impact of globalization and industrialization on ecological footprint: do institutional quality and renewable energy matter?. Frontiers in Environmental Science, v. 13, p. 1535638, 2025.

LOMBARDI, D. Rachel; LAYBOURN, Peter. Redefining industrial symbiosis.Journal of Industrial Ecology, v. 16, n. 1, p. 28-37, 2012.

LOMBARDI, D. R.; LYONS, D.; SHI, H.; AGARWAL, A. Industrial symbiosis. Journal of Industrial Ecology, v. 16, n. 1, p. 2-7, 2012.

MANSON, Neil J. Is operations research really research?. **Orion**, v. 22, n. 2, p. 155-180, 2006.

MANTESE, Gabriel Couto. **Proposal of framework for the validation of industrial symbiosis indicators using agent-based modeling**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research in Information Technology. Decision Suport Systems, v. 15, p. 251-266, 1995.

MARQUES, Mateus Cano et al. Desenvolvimento de parques eco-industriais: o caso de Dourados-MS. 2021.

MARTINS, Ana Beatriz Bacurau. Incorporação de cinza de caldeira em matriz cimentícia para produção de argamassa. 2022.

MAZZON, J. A. Modelo conceitual de avaliação e comparação de modelos. Revista de Administração, 36(4), 54-72, 1981.

MERK, Olaf. The competitiveness of global port-cities: synthesis report. 2013.

MIGUEL, Fernanda Valim Côrtes. **A entrevista como instrumento para investigação em pesquisas qualitativas no campo da linguística aplicada**. Revista odisseia, 2010.

MIRANDA, David Bruce et al. Educação ambiental como ferramenta na implementação da economia circular. **Seven Editora**, p. 216-231, 2024.

MIYAMOTO, Sara Midori; COSTA, Rosangela Calado da; CANDIANI, Giovano. Redes de simbiose industrial: possibilidades entre empresas do município de Diadema (São Paulo), Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, p. 701-713, 2022.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Annals of internal medicine**, v. 151, n. 4, p. 264-269, 2009.

MONIÉ, Frédéric; VIDAL, Soraia Maria do SC. Cidades, portos e cidades portuárias na era da integração produtiva. **Revista de Administração Pública**, v. 40, p. 975-995, 2006.

MONTEVECHI, J. A. B., et al. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference. Baltimore: IEEE. 2010.

MOODIE J, Salolammi P. 11 Steps to implement industrial symbiosis, 2019.

MORSELETTO, Piero. Targets for a circular economy. Resources, Conservation and Recycling, v. 153, p. 104553, 2020.

MOTA, Renata Castro. Simbiose industrial no complexo industrial e portuário do Pecém: explorando elementos determinantes e barreiras. 2015.

MOTTA, João Pedro Soares Pinto da; CARIJÓ, Renata de Sousa. Simbiose Industrial: um estudo de caso para a indústria de cosméticos no município do Rio de Janeiro. 2013.

MUELLER, C.C. Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente. Editora Universidade de Brasília: Brasília. 2007.

NEVES, Angela et al. A comprehensive review of industrial symbiosis. **Journal of cleaner production**, v. 247, p. 119113, 2020.

NUNES, Matheus Simões. **O Brasil no Acordo de Paris sobre mudanças climáticas: Energia• Decolonialidade• Decrescimento**. Editora Dialética, 2022.

OLIVEIRA, Mariana Avila Corrêa Cardoso de. Contribuição do setor empresarial da compostagem para atendimento à PNRS e o impacto na redução de emissões de GEE no Estado do Rio de Janeiro. 2024.

OLIVEIRA, Mírian; DE FREITAS, Henrique MR. Focus Group–pesquisa qualitativa: resgatando a teoria, instrumentalizando o seu planejamento. **Revista de Administra&ccdeil; ão da Universidade de São Paulo**, v. 33, n. 3, 1998.

OLIVEIRA, José Augusto et al. Cleaner Production practices, motivators and performance in the Brazilian industrial companies. Journal of cleaner production, v. 231, p. 359-369, 2019.

PA, Marcos. **A transição para a economia circular de embalagens em geral nas cidades sustentáveis**. Editora Dialética, 2024.

PARK, Hung-Suck; BEHERA, Shishir Kumar. Methodological aspects of applying eco-efficiency indicators to industrial symbiosis networks. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 478-485, 2014.

PAULA, Eugênia Vale de. A construção e mobilização das capacidades institucionais para o desenvolvimento da simbiose industrial no estado de Minas Gerais. 2015.

PINHEIRO, Alan Bandeira et al. Obstáculos para a adoção da Simbiose Industrial no Distrito Industrial de Maracanaú: Insights para o Desenvolvimento Sustentável. **Revista de Casos e Consultoria**, v. 11, n. 1, p. e11113-e11113, 2020.

PINTO-COELHO, Ricardo Motta. **Fundamentos em ecologia**. Artmed Editora, 2009.

POLETTI, Henrique Renó Valle; OLIVEIRA, Marina Souza de. Logística reversa: análise acerca do reaproveitamento de sucata metálica e coprodutos na produção de aço. 2024.

PORTO, M. M. Portos e Meio Ambiente. São Paulo: Aduaneiras, 2007.

PORTO, M. M.; TEIXEIRA, S. G. Portos e o desenvolvimento. São Paulo: Lex Editora, 2002.

PRIYADARSHINI, Priya; ABHILASH, Purushothaman Chirakkuzhyil. Circular economy practices within energy and waste management sectors of India: A meta-analysis. **Bioresource Technology**, v. 304, p. 123018, 2020.

QUEIROZ, Larissa Farias et al. Incorporação de borra oleosa na produção de materiais de construção-adoquim cerâmico. 2021.

RAMOS, Luciane Romanovicz de Jesus et al. Oportunidades não enterradas: inovações em um programa de destinação agrícola de lodo de esgoto sob as lentes da ecoinovação. 2024.

REIS, Samuel Gomes Ferreira. **Barreiras e determinantes para a implementação de uma simbiose industrial: o caso do Relvão e o modelo Holandês**. 2019. Tese de Doutorado.

ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements. Journal of the operational research society, v. 59, n. 3, p. 278-290, 2008.

RIBEIRO, Gabriel Lopes. Tambores metálicos: destinação e reutilização: uma abordagem referente a logística reversa. 2024.

RODRIGUES, Kassia Tonheiro; ENSSLIN, Sandra Rolim. Environmental performance evaluation in ports: a literature review and future research guidelines. Maritime Economics & Logistics, v. 26, n. 2, p. 241-260, 2024.

ROCHA, Lisiane Kleinkauf da. A simbiose industrial aplicada na interrelação de empresas e seus stakeholders na cadeia produtiva metal-mecânica na Bacia do Rio dos Sinos. 2010.

RODRIGUES, Júlia Rélene de Freitas; BEZERRA, Letícia Gabriele da Silva. Principais técnicas para a reutilização de pneus inservíveis no Brasil. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 8, n. 20, p. 1407-1417, 2021.

ROUFFIAC, Ariane. Desarrollo de una red simbiótica industrial en el puerto de Malmö. 2016.

SAAVEDRA, Yovana MB et al. Theoretical contribution of industrial ecology to circular economy. Journal of cleaner production, v. 170, p. 1514-1522, 2018.

SADOWY, Katarzyna; BIERNACKA, Justyna. Institutional potential and barriers for a circular economy. The case study of Warsaw. **Journal of Management and Financial Sciences**, n. 45, p. 67-79, 2022.

SANTOS, Antonio Edson do Nascimento. **Simbiose industrial: um estudo sobre a percepção de um gestor da área de reciclagem de resíduos sólidos do Ceará**. 2020. Tese de Doutorado.

SAKR, D.; SENA, A. Abo. Cleaner production status in the Middle East and North Africa region with special focus on Egypt. Journal of cleaner production, v. 141, p. 1074-1086, 2017.

SARACENI, Adriana Valélia et al. Pilot testing model to uncover industrial symbiosis in Brazilian industrial clusters. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 11618-11629, 2017.

SARACENI, Adriana Valélia. **Ferramenta para avaliação da presença de práticas de simbiose industrial em uma rede de empresas**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SARNEY FILHO, José et al. Cidades Sustentáveis: subsídios à elaboração da Agenda 21 Brasileira. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. BAMISER-REDEH, 2000.

SAYÃO, Luís Fernando. Modelos teóricos em ciência da informação-abstração e método científico. **Ciência da informação**, v. 30, p. 82-91, 2001.
SEBASTIÁN SUAREZ, Franco; MARTÍN ORTOLANI, Juan. **Economia circular: proposta de aplicação de simbiose industrial na região dos Campos Gerais.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SEHNEM, Simone; PEREIRA, Susana Carla Farias. Rumo à economia circular: sinergia existente entre as definições conceituais correlatas e apropriação para a literatura brasileira. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa**, v. 18, n. 1, p. 35-62, 2019.

SILVA, Cristina Galvão Pinto Ascenço. **Incentivos para a implementação alargada da simbiose industrial e avaliação dos respetivos benefícios.** 2019. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

SILVA, Thainy Genny Esteves et al. Economia circular: um panorama do estado da arte das políticas públicas no Brasil. **Revista produção online**, v. 21, n. 3, p. 951-972, 2021.

SIMON, H. A. The Sciences of the Artificial. 3rd ed. Cambridge: MIT Press, 1996 .

SOUSA-ZOMER, Thayla T. et al. Cleaner production as an antecedent for circular economy paradigm shift at the micro-level: Evidence from a home appliance manufacturer. Journal of cleaner production, v. 185, p. 740-748, 2018.

SOUSA, Erivelto Fioresi de et al. Avaliação dos portos públicos brasileiros: Gestão baseada em valor. **BBR. Brazilian Business Review**, v. 17, p. 439-457, 2020.

SPASH, Clive L. The Ecological Economics of Boulding's Spaceship Earth. 2013.

SPEKKINK, Wouter. Building capacity for sustainable regional industrial systems: an event sequence analysis of developments in the Sloe Area and Canal Zone. Journal of Cleaner Production, v. 98, p. 133-144, 2015.

STOLL, Mark. Lucro: Uma história ambiental. Leya, 2023.

TELLES, Renato. A efetividade da matriz de amarração de Mazzon nas pesquisas em Administração. **Revista de Administra&ccdeil; ão da Universidade de São Paulo**, v. 36, n. 4, 2001.

THEODORSON, George A.; THEODORSON, Achilles G. A modern dictionary of sociology. 1969.

TIEJUN, Dai. Two quantitative indices for the planning and evaluation of eco-industrial parks. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 7, p. 442-448, 2010.

TIOSSI, Fabiano Martin; SIMON, Alexandre Tadeu. Economia Circular: suas contribuições para o desenvolvimento da Sustentabilidade. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 11912-11927, 2021.

TOVAR, Antonio Carlos de Andrada; FERREIRA, Gian Carlos Moreira. A infra-estrutura portuária brasileira: o modelo atual e perspectivas para seu desenvolvimento sustentado. 2006.

TREVISAN, Marcelo et al. Ecologia industrial, simbiose industrial e ecoparque industrial: conhecer para aplicar. **Sistemas & Gestão**, v. 11, n. 2, p. 204-15, 2016.

TROKANAS, Nikolaos; CECELJA, Franjo; RAAFAT, Tara. Semantic approach for pre-assessment of environmental indicators in Industrial Symbiosis. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 349-361, 2015.

TULL, Donald S.; HAWKINS, Del I. **Marketing Research: Meaning, Measurement, Method: Instructor's Manual**. Macmillan Publishing Company, 1976.

TURNER, R. Kerry; SUBAK, Susan; ADGER, W. Neil. Pressures, trends, and impacts in coastal zones: interactions between socioeconomic and natural systems. **Environmental management**, v. 20, p. 159-173, 1996.

VALE DE PAULA, Eugenia; CAVALCANTI SÁ DE ABREU, Mônica; BORGES DE SOUSA, Cybelle. Motivações e barreiras para a simbiose industrial: a experiência no Estado de Minas Gerais. 2021.

VAN AKEN, J. E. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for FieldTested and Grounded Technological Rules. Journal of Management Studies, v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004.

VIER, Margarete Blume et al. Reflexões sobre a economia circular. **COLÓQUIO-Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 18, n. 4, out/dez, p. 27-47, 2021.

WEETMAN, Catherine. **Economia Circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa**. Autêntica Business, 2019.

WEN, Zongguo; MENG, Xiaoyan. 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.

YIN, Robert K. - Case study research - design and methods. Sage Publications Inc., USA, 1989.

ZANG, H. M. The research on theory of governance and application in the circular economy of urban. Tese (Doutorado) -Tongji University, Shanghai, China, 2006.

ZHAO, Haoran; ZHAO, Huiru; GUO, Sen. Evaluating the comprehensive benefit of eco-industrial parks by employing multi-criteria decision making approach for circular economy. **Journal of cleaner production**, v. 142, p. 2262-2276, 2017.

ZHOU, Li et al. Modeling and optimization of a coal‐chemical eco‐industrial system in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. 1, p. 105-118, 2012.

ÇAĞDAŞ, Volkan; STUBKJÆR, Erik. Design research for cadastral systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 35, n. 1, p. 77-87, 2011.

APÊNDICE A

Universidade Federal do Rio Grande-FURG
Instituto de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis-ICEAC
Programa de Pós-Graduação em Administração - PPGA
Orientador: Prof. Dr. Samuel Vinícius Bonato
Catherine Santos Salomão

Roteiro de entrevista

1. Qual sua formação?
2. Qual cargo possui?
3. Tempo de empresa?
4. Tipo de produto/serviço que a empresa oferece?
5. Quais resíduos vocês geram?
6. Quanto (em Kg ou toneladas) é gerado desse resíduo?
7. Para onde esse resíduo é levado após o descarte? Quem coleta? Ou vocês reutilizam?
8. Em algum momento já pensou em tornar esse resíduo rentável? De que forma?

APÊNDICE B

Universidade Federal do Rio Grande-FURG
Instituto de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis-ICEAC
Programa de Pós-Graduação em Administração - PPGA
Orientador: Prof. Dr. Samuel Vinícius Bonato
Catherine Santos Salomão

Roteiro das entrevistas com especialistas

1. Você considera que a estrutura e os componentes do modelo proposto estão adequados?
2. O que você achou mais interessante no modelo?
3. A sequência lógica para implementação do modelo de Simbiose Industrial nos Portos está adequada para torná-lo mais sustentável?
4. As informações presentes no modelo podem auxiliar no conhecimento de nível de maturidade da organização com relação às práticas de Simbiose Industrial que ela já adota e/ou no seu planejamento futuro?
5. Você faria alguma alteração no presente modelo?