



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E CONTABILIDADE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO E CONTROLADORIA  
MESTRADO EM ADMINISTRAÇÃO E CONTROLADORIA

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A TRANSIÇÃO À ECONOMIA CIRCULAR  
EM UM COMPLEXO INDUSTRIAL E PORTUÁRIO

FORTALEZA – CE  
2025

FELIPE MOURA OLIVEIRA

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A TRANSIÇÃO À ECONOMIA CIRCULAR  
EM UM COMPLEXO INDUSTRIAL E PORTUÁRIO

Dissertação submetido à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Administração e Controladoria.

Área de concentração: Gestão Organizacional.  
Orientadora: Professora Dra. Mônica Cavalcanti Sá de Abreu.

FORTALEZA – CE  
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

O47d Oliveira, Felipe Moura.  
Desafios e Oportunidades para a Transição à Economia Circular em um Complexo Industrial e Portuário / Felipe Moura Oliveira. – 2025.  
137 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria, Fortaleza, 2025.  
Orientação: Profa. Dra. Mônica Cavalcanti Sá de Abreu.

1. Economia Circular. 2. Complexo Industrial e Portuário. 3. Desafios. 4. Oportunidades. I. Título.  
CDD 658

---

FELIPE MOURA OLIVEIRA

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A TRANSIÇÃO À ECONOMIA CIRCULAR  
EM UM COMPLEXO INDUSTRIAL E PORTUÁRIO

Dissertação submetido à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Administração e Controladoria. Área de concentração: Gestão Organizacional.

Aprovado em: 16/01/2025.

BANCA EXAMINADORA:

---

Profa. Dra. Mônica Cavalcanti Sá de Abreu  
(Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. Dr. Diego de Queiroz Machado  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Profa. Dra. Caroline Rodrigues Vaz  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

A Deus, pela força e sabedoria concedidas durante esta trajetória, e à minha mãe, que, com amor incondicional e sacrifícios silenciosos, me ensinou o valor do conhecimento e a importância de nunca desistir dos meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

Chegar ao final deste mestrado é o resultado de uma jornada marcada por desafios, aprendizados e, sobretudo, pela presença e apoio de pessoas indispensáveis em minha vida pessoal, profissional e acadêmica.

Agradeço, primeiramente, a **Deus**, por me dar força, sabedoria e saúde para seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis. Sua presença foi meu alicerce em cada etapa desta caminhada.

À minha mãe, **Shoely de Fátima**, a pessoa que me ensinou que a educação salva vidas, muda trajetórias e transforma o mundo. Minha maior inspiração, com quem sonho, um dia, ser digno de me igualar como professor de excelência. Com amor incondicional, palavras de encorajamento e sacrifícios silenciosos, esteve ao meu lado em todos os momentos. Sua força e resiliência me ensinaram a lutar pelos meus sonhos – sonhos que, com o tempo, se transformaram em nossos.

À minha irmã, **Iris Oliveira**, agora bacharela em Química, por me mostrar o verdadeiro significado de força e perseverança. Sou grato por todos os momentos que compartilhamos e por todas as nossas conquistas, que simbolizam o fruto de nossa dedicação e união. Sua trajetória me inspira e enche meu coração de orgulho.

Ao companheirismo de **Reginaldo Rodrigues** neste momento de intensa luta. Sou profundamente grato por sua paciência, por sua garra em me ajudar e por ser um porto seguro em meio aos desafios. Sua presença constante foi um alicerce indispensável para que eu pudesse seguir em frente com força e determinação.

Aos meus familiares, representados pelos primos queridos **Ana Letícia, Bruno Moura e Pedro Arthur**, por quem nutro um amor imenso. Vocês sempre torceram por mim, compreenderam minhas ausências e celebraram cada conquista.

Aos amigos que fiz durante o programa de Administração e Controladoria – **Thiago Holanda, Ana Lídia e Socorro Mesquita** – que dividiram comigo angústias, risadas e noites intermináveis de trabalho. Nossa parceria tornou esta jornada menos solitária e infinitamente mais enriquecedora.

Aos meus grandes amigos, por todo o apoio, compreensão e carinho, que me fizeram sentir que nunca estive sozinho, minha eterna gratidão, que sempre estiveram comigo, seja compartilhando sonhos, seja em ligações nos momentos de dificuldade ou alegria, representados aqui na figura de **Joiciane Rodrigues, Eduarda Lacerda, Carla Borges e Maurício Lira**.

A todos os professores que acreditaram na minha jornada, deixo minha sincera gratidão. Em especial, destaco meu primeiro orientador de iniciação científica, o professor **Geazi Farias**, um homem que apostou todas as suas forças em mim. Ele lutou ao meu lado para que eu conseguisse alcançar a pós-graduação, sonhou comigo em cada momento de alegria e enfrentou comigo cada instante de angústia. Sua dedicação, apoio incondicional e confiança foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

À minha orientadora, **prof. Mônica Abreu**, pela paciência, pelos ensinamentos e pela dedicação incansável em guiar este trabalho. Sua orientação, marcada por sabedoria e generosidade, foi fundamental para transformar minhas ideias em algo concreto e significativo. Sou imensamente grato por seu apoio, confiança e incentivo ao longo de toda esta jornada.

Aos professores da Universidade Federal do Ceará, representados aqui na figura de **prof. Augusto Cabral** e **prof. Sandra Santos**, que desempenharam um papel essencial no meu crescimento acadêmico e pessoal. Sou profundamente grato por cada aula que despertou minha curiosidade, por cada desafio que ampliou meus horizontes e por cada troca de experiência que me ajudou a me tornar uma pessoa e um profissional melhor.

E, finalmente, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este sonho se tornasse realidade. Cada gesto, cada palavra de incentivo e cada apoio, por menor que parecesse, foi essencial para que eu chegasse até aqui.

A todos vocês, minha eterna gratidão.

*“Veni, vidi, vici.”* (Júlio César)

## RESUMO

A Economia Circular (EC) busca otimizar recursos, minimizar desperdícios e promover a reutilização, enfrentando desafios ambientais e sociais associados à transição de parques industriais para ecoparques. A economia circular em ecoparques industriais envolve a integração de processos (desde administrativos, até fabris) para reduzir desperdícios, reutilizar materiais e reciclar produtos ao final de seu ciclo de vida, criando um sistema fechado. Esta dissertação tem como objetivo propor oportunidades e desafios de transição à sustentabilidade com lógica de economia circular para um complexo industrial e portuário. A metodologia deste trabalho caracteriza-se como qualitativa e é estruturada em duas etapas principais. A primeira etapa consiste em uma análise de relatórios de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), complementada por uma revisão de escopo. Esse processo visa categorizar os produtos, resíduos e processos fabris das empresas no complexo estudado, extraíndo informações integradas sobre insumos, processos e resíduos, com o objetivo de identificar potenciais oportunidades de circularidade por meio de trocas materiais. A segunda etapa envolve a aplicação de entrevistas com gestores, seguida de uma Análise de Conteúdo que compreende os seguintes passos: (i) definição do problema de pesquisa e dos objetivos; (ii) seleção do material a ser analisado; (iii) desenvolvimento de categorias ou códigos para classificar os dados; (iv) interpretação das informações, identificando padrões e frequências; e (v) análise e discussão dos resultados no contexto do problema de pesquisa. A originalidade deste trabalho é devida a combinação de metodologias para a obtenção dos resultados almejados, sendo abordada a mesclagem de uma revisão de escopo, mais uma análise documental e uma análise de conteúdo de entrevistas realizadas. Como propostas mitigadoras das barreiras encontradas, propôs-se que o Estado deve oferecer diretrizes claras, reduzir burocracias e estimular práticas circulares com incentivos financeiros, empresas devem investir em mão de obra qualificada, infraestrutura logística e coordenação na troca de resíduos. Para um avanço efetivo, é essencial a colaboração entre poder público, empresas e sociedade, promovendo governança, inovação e sustentabilidade. Conclui-se que ao transformar complexos industriais em ecoparques, promovendo práticas de simbiose industrial e reaproveitamento de resíduos, é possível alcançar benefícios ambientais, econômicos e sociais. Contudo, a efetividade desse processo depende de políticas públicas robustas, incentivos financeiros, governança clara e uma maior cooperação entre empresas e órgãos reguladores.

Palavras-chave: Economia Circular. Complexo Industrial e Portuário. Desafios. Oportunidades.

## ABSTRACT

The Circular Economy (CE) seeks to optimize resources, minimize waste, and promote reuse, addressing environmental and social challenges associated with the transition from industrial parks to ecoparks. The circular economy in industrial ecoparks involves the integration of processes (from administrative to manufacturing) to reduce waste, reuse materials, and recycle products at the end of their life cycle, creating a closed system. This dissertation aims to propose opportunities and challenges for the transition to sustainability with circular economy logic for an industrial and port complex. The methodology of this work is characterized as qualitative and is structured in two main stages. The first stage consists of an analysis of Environmental Impact Assessment (EIA) and Environmental Impact Report (EIR) reports, complemented by a scoping review. This process aims to categorize the products, waste, and manufacturing processes of the companies in the studied complex, extracting integrated information on inputs, processes, and waste, with the objective of identifying potential opportunities for circularity through material exchanges. The second stage involves the application of interviews with managers, followed by a Content Analysis that comprises the following steps: (i) definition of the research problem and objectives; (ii) selection of the material to be analyzed; (iii) development of categories or codes to classify the data; (iv) interpretation of information, identifying patterns and frequencies; and (v) analysis and discussion of the results in the context of the research problem. The originality of this work is due to the combination of methodologies to obtain the desired results, being addressed the mixture of a scoping review, plus a documentary analysis and a content analysis of interviews carried out. As proposals to mitigate the barriers encountered, it was proposed that the State should offer clear guidelines, reduce bureaucracies and encourage circular practices with financial incentives, companies should invest in qualified labor, logistics infrastructure and coordination in the exchange of waste. For effective advancement, collaboration between public authorities, companies, and society is essential, promoting governance, innovation, and sustainability. It is concluded that by transforming industrial complexes into ecoparks, promoting practices of industrial symbiosis and reuse of waste, it is possible to achieve environmental, economic and social benefits. However, the effectiveness of this process depends on robust public policies, financial incentives, clear governance, and greater cooperation between companies and regulatory bodies.

Keywords: Circular Economy. Industrial and Port Complex. Challenges. Opportunities.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Componentes da Economia circular .....	28
Quadro 2 - Comparativo entre PNRS e PNEC .....	31
Quadro 3 - Strings de busca .....	52
Quadro 4 - Critérios de inclusão e exclusão dos registros .....	52
Quadro 5 - Categorização dos estudos de Revisão de Escopo e EIA/RIMA .....	63
Quadro 6 - Perfil dos respondentes .....	65
Quadro 7 - Síntese das categorias da Análise de Conteúdo .....	83
Quadro 8 - Barreiras classificadas pelos pilares da transição de parques industriais para a lógica de economia circular .....	95
Quadro 9 - Proposição de estratégias para superar as barreiras identificadas .....	105
Quadro 10 - Questionário semiestruturado .....	137

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Abrangência da economia circular .....	27
Figura 2 - Modelo de Ecoparque sugerido pela literatura .....	41
Figura 3 - Etapas de execução desta pesquisa .....	50
Figura 4 - Protocolo Prisma .....	55
Figura 5 - Rede semântica de poder público .....	67
Figura 6 - Rede semântica de licenciamento ambiental .....	68
Figura 7 - Rede semântica de liderança focada em circularidade .....	69
Figura 8 - Rede semântica de mão de obra para a circularidade .....	70
Figura 9 - Rede semântica de remuneração variável e premiações.....	71
Figura 10 - Rede semântica de educação ambiental .....	72
Figura 11 - Rede semântica de Colaboração entre empresas do complexo .....	74
Figura 12 - Rede semântica de logística e operação .....	76
Figura 13 - Rede semântica de gestão de destino de resíduos .....	77
Figura 14 - Rede semântica de indicadores de geração de resíduos .....	78
Figura 15 - Rede semântica de Tecnologia para Reaproveitamento de resíduos .....	79
Figura 16 - Rede semântica de redução de custos e geração de novas receitas .....	80
Figura 17 - Rede semântica de relação oferta-demanda .....	81
Figura 18 - Disposição dos pilares de para transformar um parque industrial em lógica de economia circular .....	91
Figura 19 - Modelo de transição de parques industriais em direção à economia circular .....	108

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>21</b>
<b>1.1.1</b>	<b><i>Objetivo Geral</i></b> .....	<b>21</b>
<b>1.1.2</b>	<b><i>Objetivos Específicos</i></b> .....	<b>21</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>21</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura da Dissertação</b> .....	<b>23</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>26</b>
<b>2.1</b>	<b>Economia circular</b> .....	<b>26</b>
<b>2.1.1</b>	<b><i>Institucionalização de resíduos</i></b> .....	<b>29</b>
<b>2.1.2</b>	<b><i>Cultura de Economia Circular</i></b> .....	<b>36</b>
<b>2.2</b>	<b>Ecoparque Industrial</b> .....	<b>38</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>47</b>
<b>3.1</b>	<b>Tipologia</b> .....	<b>47</b>
<b>3.2</b>	<b>Delineamento e design da pesquisa</b> .....	<b>48</b>
<b>3.3</b>	<b>Coleta e Análise de dados</b> .....	<b>51</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Coleta de dados da Revisão de Escopo e EIA/RIMA</i></b> .....	<b>51</b>
<b>3.3.2</b>	<b><i>Análise dos dados da Revisão de Escopo e EIA/RIMA</i></b> .....	<b>53</b>
<b>3.3.3</b>	<b><i>Coleta de dados das Entrevistas</i></b> .....	<b>55</b>
<b>3.3.4</b>	<b><i>Análise de dados das entrevistas</i></b> .....	<b>58</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>60</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultados da Circularidade por trocas materiais</b> .....	<b>60</b>
<b>4.2</b>	<b>Resultado das entrevistas com gestores</b> .....	<b>60</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Controle Institucional</i></b> .....	<b>66</b>
<b>4.2.1.1</b>	<b><i>Poder público</i></b> .....	<b>66</b>
<b>4.2.1.2</b>	<b><i>Licenciamento ambiental</i></b> .....	<b>67</b>
<b>4.2.2</b>	<b><i>Capacidade Organizacional</i></b> .....	<b>68</b>
<b>4.2.2.1</b>	<b><i>Liderança Focada em Circularidade</i></b> .....	<b>69</b>
<b>4.2.2.2</b>	<b><i>Mão de Obra para a Circularidade</i></b> .....	<b>70</b>
<b>4.2.2.3</b>	<b><i>Remuneração Variável e Premiações</i></b> .....	<b>71</b>
<b>4.2.2.4</b>	<b><i>Educação Ambiental</i></b> .....	<b>72</b>
<b>4.2.2.5</b>	<b><i>Colaboração entre empresas do complexo</i></b> .....	<b>74</b>

<b>4.2.3</b>	<b><i>Infraestrutura Circular</i></b> .....	75
4.2.3.1	<i>Logística e operações</i> .....	75
4.2.3.2	<i>Gestão de destino de resíduos</i> .....	76
<b>4.2.4</b>	<b><i>Dinâmica econômica e tecnológica</i></b> .....	77
4.2.4.1	<i>Indicadores de Geração de resíduos</i> .....	78
4.2.4.2	<i>Tecnologia para Reaproveitamento de resíduos</i> .....	79
4.2.4.3	<i>Redução de Custos e geração de receitas</i> .....	80
4.2.4.4	<i>Relação oferta-demanda</i> .....	81
<b>4.2.5</b>	<b><i>Síntese dos resultados</i></b> .....	82
<b>5</b>	<b>PILARES PARA TRANSFORMAR UM PARQUE INDUSTRIAL EM LÓGICA DE ECONOMIA CIRCULAR</b> .....	90
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	116
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	120
	<b>Apêndice I – Questionário</b> .....	137

## 1. INTRODUÇÃO

Em um cenário de recursos naturais escassos e uma crescente demanda por produtos e serviços, os desafios ambientais se tornam crescentes, com isso, a adoção de modelos sustentáveis de produção e consumo se torna um importante desafio para a sociedade. Neste interim, surge a necessidade de entender a Economia Circular (EC), discutida por Geissdoerfer (2017), como a busca para otimizar o uso de recursos, minimizar o desperdício e promover a reutilização e reciclagem de materiais, alinhando-se com os princípios de sustentabilidade e responsabilidade ambiental para gerar benefícios dentro da uma cadeia produtiva (Dwivedi; Agrawal; Madaan, 2020). Geissdoerfer (2017) assevera que a EC pode manter o fluxo circular dos recursos por meio da adição, retenção e regeneração de seu valor, contribuindo para o desenvolvimento sustentável, baseada nos princípios de eliminar resíduos e poluição para manter os produtos e materiais na cadeia de uso, ainda, regenerar sistemas naturais.

A preocupação com a economia circular surge com a compreensão dos impactos ambientais gerados pelas ações antropológicas (Ilić; Nikolić, 2016). Nesta perspectiva, os autores adicionaram a preocupação como a adoção de práticas mais sustentáveis para minimizar o impacto ambiental e melhoria das condições de trabalho (por meio da saúde ambiental, saneamento, qualidade da água potável, qualidade do ar, metais pesados e gestão de resíduos) para a discussão sobre este tema na gestão pública, Organizações Não-Governamentais e cidadãos interessados nessas discussões (Khan, 2020).

A Economia Circular desempenha papel na redução da pegada ecológica, minimizando o desperdício, promovendo a reciclagem e a reutilização de materiais (Taroco; Colares, 2019). Os recursos naturais se tornam cada vez mais escassos, exigindo que as empresas adotem lógicas de EC (D'Adamo *et al.*, 2022), aproveitando materiais não-virgem em seus processos produtivos (Cárcamo; Peñabaena-Niebles, 2022). Então, essas necessidades exigem uma compreensão das tendências sociais e inovações em modelos de negócio para se ajustar em uma lógica de economia circular.

O estudo de Ruiz-Pastor *et al.* (2022) apresenta princípios da economia circular que podem ser utilizados como métricas para mensurar a transição de ecoparques, sendo eles: (i) design para conexão emocional, onde produtos são projetados para criar um vínculo duradouro com os usuários, incentivando o uso prolongado; (ii) design para durabilidade e confiabilidade que assegura que os produtos sejam resistentes e de longa duração, diminuindo a necessidade de substituições frequentes (iii) design para extensão da vida útil que através da versatilidade torna os produtos adaptáveis a diversas funções ao longo do tempo; (iv) design para

atualizabilidade permite que os produtos sejam facilmente atualizados; (v) design para padronização facilita a reutilização de peças e componentes, promovendo a interoperabilidade entre diferentes sistemas; (vi) design para montagem/desmontagem simplifica o processo de reparo, atualização e reciclagem, contribuindo para a sustentabilidade; (vii) design de serviços para extensão da vida útil que oferece manutenção e suporte contínuos, prolongando a funcionalidade dos produtos; (viii) design para inovação social incentiva práticas sustentáveis dentro das comunidades; e (ix) design para energias renováveis que promove a utilização de matrizes energéticas limpas no design de produtos para minimizar o impacto ambiental durante o seu ciclo de vida. Esses princípios juntos (interdependentes) formam a base para a implementação efetiva da economia circular, promovendo a eficiência de recursos e a redução do impacto ambiental.

Uma das principais críticas à EC é sobre o seu conceito, pois ainda falta consenso sobre a efetiva redução da extração de matérias-primas a longo prazo e as complexidades científicas inerentes associadas ao desenvolvimento, o que gera uma dificuldade de construção de debates acadêmicos na área (Millar; McLaughlin; Börger, 2019). Nesta perspectiva, grupos de empresas organizadas, geralmente próximas geograficamente que podem ou não estar relacionadas entre si – parques industriais – começam a se organizar para uma tomada de decisões coletivas que melhorem a eficiência ambiental e econômica, chegando assim, aos ecoparques industriais (Kirchherr; Van Santen, 2019).

Contudo, para transicionar um parque industrial para a lógica de economia circular, formulando assim um ecoparque industrial, existem desafios que devem ser observados. A literatura de Li et al. (2015) apresenta que os desafios são referentes a barreiras sociais, financeiras, regulatórias, tecnológicas e institucionais. Essas barreiras apresentam a dificuldade de redesenhar produtos e processos, modificação de processos de abastecimento. As empresas em um complexo industrial, muitas vezes, precisam redesenhar produtos para torná-los mais facilmente recicláveis ou reutilizáveis, o que requer conhecimentos técnicos especializados e recursos financeiros (Webster, 2021). Esse ponto deve ser discutido na circularidade por design e representa um desafio na área da pesquisa e desenvolvimento, apresentando-se como uma barreira para as empresas.

Ceglia, Abreu e Silva Filho (2017) aprofundam o entendimento sobre as barreiras e propõem estratégias para superarem elas, para as barreiras financeiras, eles sugeriram a implementação de incentivos econômicos, como subsídios para o desenvolvimento de redes e projetos de troca de resíduos, além de estimular investimentos no setor privado relacionados à reutilização e reciclagem de resíduos. Em termos regulatórios, sugeriram estabelecer políticas

nacionais e estaduais de resíduos sólidos, bem como uma responsabilidade governamental para orientar o desenvolvimento da simbiose industrial, juntamente com mecanismos de fiscalização mais rigorosos. No âmbito tecnológico, a integração das melhores tecnologias disponíveis e investimentos em pesquisa e desenvolvimento para redesenhar processos e estabelecer uma economia circular são fundamentais. Além disso, sugeriram a necessidade de desenvolver planos de demonstração para criar oportunidades de sinergias entre os componentes do parque industrial e promover a inovação.

Ainda nos autores, nas barreiras institucionais e sociais, urge-se a construção de redes e fóruns para estabelecer relacionamentos confiáveis entre as empresas do parque industrial, juntamente com a definição de governança entre as partes interessadas para lidar com questões ambientais. Os autores sugeriram a promoção do desenvolvimento de redes entre governos federal, estadual e local, juntamente com a criação de plataformas de networking para troca de informações sobre resíduos, também, a implementação de programas de educação em gestão ambiental para abordar as questões sociais relacionadas à conscientização e engajamento com práticas sustentáveis no ambiente industrial (Ceglia; Abreu; Silva Filho, 2017).

A criação de infraestrutura adequada para coleta, triagem e reciclagem eficientes também é um desafio técnico e logístico (Henriques *et al.*, 2021). Somado a isso, elencam-se outros desafios como a integração de sistemas de logística reversa para recuperar produtos no final de suas vidas úteis e encaminhá-los para reciclagem ou recondicionamento pode envolver complexidades operacionais. Também, a necessidade de parcerias colaborativas ao longo da cadeia de valor, pois diferentes atores de diferentes níveis devem trabalhar em conjunto para criar um sistema circular eficaz (Hossain *et al.*, 2022; Jabbour *et al.*, 2018; Monnina; Gulhan; Ni, 2022; Chioatto; Sospino, 2023; Maina; Kachrimanidou; Koutinas, 2017).

Os elevados custos iniciais associados a essas mudanças representam outro obstáculo, pois as empresas podem relutar em fazer investimentos com essa finalidade, especialmente se os benefícios financeiros e operacionais a longo prazo não estiverem claros, mas a falta de incentivos financeiros imediatos e regulamentações podem acelerar essas dificuldades em adotar práticas circulares, apesar dos benefícios ambientais a longo prazo (Hossain *et al.*, 2022; Jabbour *et al.*, 2018; Monnina; Gulhan; Ni, 2022; Chioatto; Sospino, 2023; Maina; Kachrimanidou; Koutinas, 2017).

Nesse sentido, a transição para a lógica de um sistema circular é um desafio multifacetado que requer uma compreensão abrangente das diferentes dimensões envolvidas. Diversos estudos contribuem para essa compreensão, destacando facilitadores e barreiras, trabalhados em perspectivas multilevel relacionadas à transformação industrial. Henriques *et*

*al.* (2021) propõem uma abordagem multilevel, considerando os níveis micro, meso e macro, abordando assim as escalas local, regional e nacional.

Os ecoparques industriais se inserem, de acordo com Henriques *et al.* (2021), como um agente local, pois são áreas planejadas que buscam integrar atividades industriais, comerciais e de serviços (incluindo portuários) com práticas sustentáveis e ambientalmente amigáveis. Na pesquisa de Oughton *et al.* (2022), existe o destaque de dimensões interdependentes que devem ser respeitadas para a criação de um ecoparque industrial, sendo elas relacionadas a trocas de produtos ou resíduos entre empresas, a localização estratégica entre elas, uma quebra de barreira de confiança, gerando assim, uma governança para a economia circular e qualificação da mão de obra a trabalhar com essas práticas.

Alguns trabalhos mencionam o processo de transição de ecoparques industriais, contudo, eles limitam a abrangência das dimensões analisadas, dificultando uma compreensão holística do problema. Chin, Lee e Woon (2023) propõem uma abordagem para a transição com foco na gestão de resíduos e na integração de aspectos econômicos, ambientais e sociais. Por outro lado, Jagger (2016) destaca as dificuldades enfrentadas pelos ecoparques regulamentados pelo estado para cumprir normas, enquanto exemplos como o modelo de Kalundborg, na Dinamarca, ilustram o potencial da troca espontânea de materiais entre empresas para impulsionar a economia circular. Genc *et al.* (2019) apontam a falta de um método único para avaliar a sustentabilidade dos complexos industriais, enfatizando a necessidade de clareza nos indicadores utilizados. Foster *et al.* (2019) argumentam que a colocação de empresas pode trazer vantagens logísticas e de gestão de resíduos, mas requer estudos prévios para uma implementação eficaz. Foster *et al.* (2023) destacam a escassez de projetos que demonstrem práticas de governança e cultura organizacional para a economia circular em larga escala, questionando sua efetividade.

Aprofundando sobre os aspectos estudados por cada autor, Chin, Lee e Woon (2023) apresentam uma abordagem para a transição de economia circular baseado no conceito de ecoparque industrial, essa abordagem consiste em um planejamento elaborado a partir de uma pesquisa acadêmica, para identificar barreiras que impediam a adoção de práticas circulares de forma orgânica nas empresas em um parque industrial, contudo focam apenas na dimensão de gestão de resíduos (a troca de resíduos segundo os autores deveria ser espontânea). Com isso, eles asseveram que existe a necessidade da integração de um direcionamento para aspectos econômicos, ambientais e sociais. Além disso, informam que existe a necessidade de uma empresa que realize uma direção dentro do complexo para que comece a se articular a organização de uma gestão de resíduos eficaz dentro de um complexo.

Jagger (2016) apresenta que ecoparques que têm uma regulamentação estatal sofrem dificuldades ao seguir as normas (leis e diretrizes), com isso, apresentam a necessidade de solicitar investimentos e benefícios significativos, possibilitando assim a realização desses parques, uma vez que as normas expressam multas e penalizações para as empresas que não se encontram em conformidade com o solicitado/exigido. Contudo, essa realidade hierárquica não é a realidade de todos os complexos industriais, tendo o exemplo do modelo de Kalundborg, no qual houve a necessidade de trocas de materiais entre as empresas de forma espontânea para diminuir a necessidade de matéria-prima virgem em seus processos fabris, sendo assim, o início se deu para o fechamento do ciclo hídrico dentro do complexo industrial e após isso, houve uma evolução nas trocas realizadas e já havendo a troca de energia entre as empresas colocalizadas (Rodríguez-Otero, et al., 2023).

Genc et al. (2019) apesar de destacarem práticas de economia circular em complexos industriais, pontuam que não há um método único para propor rotas para a Economia Circular de parques industriais, com isso, ainda existe uma lacuna aparente sobre as estratégias realizadas para sugerir complexos industriais focados na sustentabilidade, dessa forma, o custo de pesquisa e desenvolvimento se torna elevado, pois não há uma metodologia certa para esta realização/transição. Outro ponto observado é a falta de clareza dos indicadores que as empresas adotam quanto às práticas de circularidade, sendo assim, um quesito importante para ser observado em pesquisas futuras.

Foster et al. (2019) apresentam que a colocalização de empresas entre o armazenamento de carbono e madeiras dentro de um complexo industrial e portuário podem fornecer vantagens competitivas, no quesito de logística e gestão de resíduos, porém, infraestrutura de colocalização de empresas interessadas em trocas de materiais acabados e coprodutos pode exigir uma infraestrutura logística complexa para garantir o transporte eficiente, com isso, eles pontuam que existe a necessidade de um estudo prévio deste parâmetro um complexo, para a posterior aplicação. Com isso, eles explicam que o propósito do estudo não é o estudo da viabilidade econômica, nem a operacionalização, mas sim a proposição de uma rota de economia circular a ser utilizada. Outro fator a ser observado é que, Foster et al. (2023), apontam que apesar de haver muitos materiais que discutam sobre a economia circular como uma abordagem voltada para a conservação da natureza, biodiversidade e responsabilidade corporativa, os autores pontuam que existem limitados projetos que demonstram em larga escala práticas de governança e de cultura organizacional para a realização da economia circular.

Esta pesquisa é aplicada em um complexo industrial e portuário que tem o objetivo de desenvolver a indústria cearense através da integração entre atividades portuárias e industriais. As fábricas operando neste complexo apresentam um portfólio diversificado, incluindo produção de cimento, placas de aço, pré-moldados de concreto, ração animal, fertilizantes e termoelétricas. Um dos principais desafios enfrentados pelo complexo industrial e portuário em estudo é a gestão de resíduos industriais (Abreu; Mota; Paula, 2020), devido à ausência de uma infraestrutura adequada para a coleta, tratamento e despejo deles. A falta de reconhecimento da importância de iniciativas de simbiose industrial e a hesitação em compartilhar informações sobre os resíduos entre as empresas complicam ainda mais essa situação (Abreu; Mota; Paula, 2020).

Vale ressaltar que esta dissertação é parte de um projeto de pesquisa financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), intitulado "Políticas Públicas e Respostas Corporativas para Promoção do Desenvolvimento Econômico Sustentável no HUB do Hidrogênio Verde com Ênfase na Economia Circular" (Processo nº 409549/2022), coordenado pela Professora Dra. Mônica Cavalcanti Sá de Abreu e que houve a assinatura de termos de sigilo dos dados revelados entre a coordenadora e as empresas para garantir a confidencialidade. A presente dissertação não contempla a totalidade do projeto, haja vista que ele tem o objetivo de apresentar um roadmap de Economia Circular para parques industriais e portuários, esta dissertação se finda apresentando desafios e oportunidades para a transição à economia circular em um complexo industrial e portuário.

Quanto aos aspectos metodológicos, este estudo realiza uma revisão de escopo para compreender os processos de fabricação, resíduos, produtos e insumos das empresas de um complexo industrial e portuário. Utiliza-se dos documentos de EIA/RIMA (disponíveis nos anos 2001, 2008, 2012, 2014, 2016, 2017, 2019) para identificar os tipos de empresas presentes no complexo em estudo e, a partir disso, elaborar as strings de busca e aplicá-las na plataforma on-line Web of Science, para posteriormente analisar os artigos e obter um relatório de circularidade por trocas de materiais. Após este fato, houve entrevistas com gestores, essas entrevistas foram regidas por critérios éticos com o compromisso de manter a confidencialidade dos dados e informações, garantindo a não identificação individualizada dos participantes da pesquisa (empresas e profissionais).

Este estudo se diferencia dos trabalhos selecionados que mencionam o processo de transição de ecoparques industriais na medida em que os autores Chin, Lee e Woon (2023) focam seu estudo na troca de materiais e integração de aspectos econômicos, sociais e ambientais. Foster et al. (2019) focam na logística e gestão de resíduos. Foster et al. (2023)

limitam o estudo às práticas de governança e cultura organizacional para a Economia circular. Esse autores trabalham esses aspectos de forma isolada, somado a isso, o trabalho de Jagger (2016) apresenta características de ecoparques que são regulamentados por leis e normas, não sendo o caso deste estudo, uma vez que se pretende apresentar oportunidades de mitigar problemas decorrentes de falta de práticas de Economia Circular para que um parque industrial transacione de forma orgânica. O interesse pelo tema desperta possibilidades de realização de pesquisas científicas, Atanasovska et al. (2022) apresenta uma agenda de possibilidades de *gaps* de pesquisa, dentre eles, se destacam a necessidade de entender a transição de parques industriais para a lógica de economia circular. Timm et al. (2023), Son, Oh e Bah (2023) e Bilyaminu et al. (2024) complementam informando que há a necessidade de estudar formas de quebrar as barreiras identificadas para a transição dos parques industriais para a lógica de economia circular. Dessa forma, este trabalho questiona: *De que forma é possível propor desafios e oportunidades de transição para a economia circular em um complexo industrial e portuário?*

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo Geral***

Propor desafios e oportunidades de transição para a economia circular em um complexo industrial e portuário.

### ***1.1.2 Objetivos Específicos***

- a) Mapear os processos fabris, os produtos e os resíduos das empresas do complexo industrial e portuário;
- b) Identificar as principais barreiras enfrentadas por um complexo industrial e portuário para sua transição à sustentabilidade com lógica de economia circular;
- c) Apontar os pilares para a transição de um complexo industrial e portuário para uma lógica de economia circular.

## **1.2 Justificativa**

Este estudo concentra-se em um complexo industrial e portuário que é uma joint-venture entre o Governo do Estado do Ceará e o Porto de Roterdã, com o objetivo de

desenvolver a indústria cearense através da integração entre atividades portuárias e industriais. As fábricas operando neste complexo apresentam um portfólio diversificado, incluindo produção de cimento, placas de aço, pré-moldados de concreto, ração animal, fertilizantes e termoelétricas. A escolha do complexo industrial e portuário em questão se deu, não apenas por ter uma grande representatividade para a economia do estado do Ceará, mas por estar se organizando para receber empresas que irão produzir o Hidrogênio Verde, com isso, as empresas precisam trabalhar suas estruturas em lógica de Economia Circular para minimizar impactos econômicos e sociais para que haja um desenvolvimento justo.

Um dos principais desafios enfrentados pelo complexo industrial e portuário em estudo é a gestão de resíduos industriais (Abreu; Mota; Paula, 2020), devido à ausência de uma infraestrutura adequada para a coleta, tratamento e despejo deles. A falta de reconhecimento da importância de iniciativas de simbiose industrial e a hesitação em compartilhar informações sobre os resíduos entre as empresas complicam ainda mais essa situação (Abreu; Mota; Paula, 2020). Somado a isso, o complexo em questão se diferencia de outros complexos industriais e portuários por estar se organizando para acolher empresas de produção de Hidrogênio Verde (H2V). Essa estratégia exige a reestruturação do complexo para promover uma simbiose industrial eficaz, minimizando os impactos ambientais, sociais e econômicos dessa produção (Brannstrom; Gorayeb, 2022). A implementação eficiente do H2V exige atenção desde a matéria-prima até o descarte adequado, visando minimizar resíduos e maximizar a eficiência dos ciclos produtivos (Atilhan et al., 2021; Ruiz-Pastor et al., 2022).

Neste contexto, a presente pesquisa se justifica pela necessidade de compreensão sobre a incorporação da economia circular ao processo produtivo do complexo industrial e portuário em estudo. Geissdoerfer (2017) enfoca a importância da comunicação e colaboração entre as indústrias para uma troca de materiais (resíduos como bens econômicos) eficaz, otimizando a utilização de subprodutos e resíduos para promover uma rede de produção mais sustentável. Também, foca em aspectos de atração estratégica de empresas, atraindo-as para localizações que favoreçam suas trocas econômicas.

A pesquisa também se justifica pela proposição de possíveis soluções para a transição do modelo de economia linear para a economia circular, considerando o potencial do complexo industrial e portuário em questão como um ecoparque industrial. A pesquisa busca a compreensão dos desafios específicos e das oportunidades dessa transição, explorando não apenas a forma como os resíduos industriais são aproveitados como insumos em outras empresas, contribuindo para um sistema sustentável, mas também toda a estrutura desse processo de transição. Silva et al., (2019) informam que para essa transição é necessária a

identificação de oportunidades de cooperação entre diferentes indústrias, a avaliação de alternativas de design de produtos e processos que reduzem o desperdício. Somado a isso, Adams et al., (2017) informam que a conscientização entre os stakeholders e a criação de estratégias de gestão sustentável de recursos e a integração de políticas públicas entre diferentes níveis de governo e políticas setoriais também são necessárias para a transição.

A originalidade deste estudo se dá por combinar aspectos metodológicos como revisão de escopo, com análise integrada de documentos como EIA/RIMA e com análise de entrevistas, dessa forma, podendo ter uma visão holística sobre as principais barreiras enfrentadas para a transição de um parque industrial e portuário para a lógica de economia circular, não focando apenas em um aspecto específico. A revisão de escopo apresenta o que artigos científicos apresentam como solução para as barreiras de trocas de materiais que os tipos de empresas que estão presentes no complexo em estudo destacam, o EIA/RIMA presencia os reais desafios das empresas do complexo em questão, sendo assim, uma abordagem diferenciada e inovadora. Unificando os resultados obtidos nessa fase e chamando-os de relatório de circularidade, tem-se a necessidade de entender as principais barreiras identificadas pela análise de conteúdo das entrevistas realizadas. Com isso, esta pesquisa também é original por unir esses aspectos metodológicos para poder propor oportunidades de transicionar parques industriais na lógica de economia circular.

Este estudo complementa a literatura observada e adiciona aspectos integrados aos estudos de autores como Chin, Lee e Woon (2023), Jagger (2016), Genc et al. (2019), Foster et al. (2019) e Foster et al. (2023). O trabalho de Chin, Lee e Woon (2023) propõe uma abordagem com foco na gestão de resíduos, visando preencher uma lacuna de destinação dos resíduos sólidos para um intuito diferente da destinação em aterros sanitários, podendo ser reaproveitado. Evidências apresentadas por Jagger (2016), como as dificuldades enfrentadas pelos ecoparques regulamentados pelo estado e os exemplos de sucesso como Kalundborg, destacam a importância da troca espontânea de materiais entre empresas para impulsionar a economia circular. Somado a isso, Genc et al. (2019) apontam a falta de um método único para avaliar a sustentabilidade desses complexos industriais, enfatizando a necessidade de clareza nos indicadores utilizados e apresentando a necessidade de criação de indicadores para essa mensuração. Por sua vez, Foster et al. (2019) argumentam sobre as vantagens da colocalização de empresas, mas ressaltam a necessidade de estudos prévios para sua implementação eficaz. Adicionalmente, Foster et al. (2023) realçam a escassez de projetos que demonstrem práticas de governança e cultura organizacional para a economia circular em larga escala, levantando questões sobre sua efetividade. Diante desse contexto, este estudo se propõe a preencher essa

lacuna, investigando de forma abrangente e integrada aos aspectos envolvidos na transição de ecoparques industriais para uma economia circular, com foco na gestão de resíduos e considerando os desafios de sustentabilidade, governança e cultura organizacional.

### **1.3 Estrutura da Dissertação**

Este capítulo é introdutório e fornece uma breve contextualização sobre o tema em estudo, incluindo a problemática e os objetivos de pesquisa, também se apresentam estudos existentes relacionados à economia circular e aos ecoparques industriais. O capítulo destinado ao referencial teórico aborda dois temas principais: Economia Circular e Ecoparques Industriais. A Economia Circular, apresentando a definição do conceito e seus componentes fundamentais. O destinado ao Ecoparque Industrial explora sobre a transformação de parques industriais na lógica de ecoparques, utilizando princípios da economia circular.

O capítulo referente à metodologia relata o *locus* de aplicação e informa que a pesquisa é qualitativa. Quanto a metodologia, este trabalho se comporta como uma pesquisa qualitativa, na qual é dividida em 2 etapas, sendo a primeira referente a uma busca em relatórios de Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental, somada a uma revisão de escopo para categorizar os produtos, resíduos e processos fabris das empresas presentes no complexo em estudo, a segunda é referente a aplicação de entrevistas para gestores, é realizada análise de conteúdo que envolve os seguintes passos: (i) a definição do problema de pesquisa e dos objetivos; (ii) a seleção do material a ser analisado; (iii) desenvolvidas categorias ou códigos para classificar os dados; (iv) os dados são quantificados, permitindo a identificação de padrões e frequências. (v) os resultados são interpretados e discutidos no contexto do problema de pesquisa.

A análise de conteúdo permitiu identificar que a transição para a economia circular em complexos industriais envolve desafios em quatro áreas principais: controle institucional, capacidade organizacional, infraestrutura circular e dinâmica econômica e tecnológica. Ficou evidente que a relação entre empresas e órgãos reguladores, como IBAMA e SEMACE, é marcada por burocracia e falta de clareza nas competências, dificultando o licenciamento ambiental. Além disso, a capacidade organizacional mostrou-se limitada pela ausência de liderança focada em circularidade e pela falta de mão de obra qualificada, enquanto a infraestrutura inadequada e os desafios logísticos impedem a troca eficiente de resíduos entre empresas. Por fim, a análise revelou que a adoção de tecnologias para reaproveitamento de materiais e a criação de indicadores específicos para a gestão de resíduos são essenciais, embora

a falta de equilíbrio entre oferta e demanda de coprodutos ainda seja uma barreira para o sucesso da economia circular.

O capítulo referente a discussão dos resultados destacou que a transição de parques industriais para ecoparques industriais baseados na lógica de economia circular requer a atuação integrada de cinco pilares: Poder Público, Capacidade Organizacional, Infraestrutura Circular, Dinâmica Econômica e Tecnológica e Troca de Materiais. As soluções para superar barreiras na transição para a economia circular envolvem treinamentos técnicos, bonificações e campanhas de educação ambiental para engajamento social. Incentivos fiscais, parcerias público-privadas e subsídios são essenciais para superar desafios financeiros. Simplificação de licenciamento, regulamentações claras e incentivos como "aterro zero" abordam barreiras regulatórias. Investimentos em infraestrutura básica e tecnologias avançadas são fundamentais para resolver questões tecnológicas. Governança clara, descentralização de decisões e políticas públicas robustas são necessárias para superar barreiras institucionais e viabilizar a transformação para ecoparques sustentáveis.

Por fim, a conclusão destacou que a transição para a economia circular em complexos industriais é um processo sistêmico e multifacetado, que requer esforços conjuntos e coordenados entre o poder público, as empresas e a sociedade. Para que essa transição seja bem-sucedida, é essencial superar barreiras institucionais, organizacionais, infraestruturais e econômico-tecnológicas por meio de ações integradas, como a descentralização regulatória, a qualificação de mão de obra, investimentos em inovação tecnológica, melhorias logísticas e a consolidação de uma cultura de sustentabilidade. O trabalho destacou que, ao transformar complexos industriais em ecoparques, promovendo práticas de simbiose industrial e reaproveitamento de resíduos, é possível alcançar benefícios ambientais, econômicos e sociais. Contudo, a efetividade desse processo depende de políticas públicas robustas, incentivos financeiros, governança clara e uma maior cooperação entre empresas e órgãos reguladores. A dissertação contribui com um modelo teórico e empírico que integra diferentes dimensões da economia circular, oferecendo uma base para estudos futuros e reforçando a necessidade de uma abordagem integrada para impulsionar o desenvolvimento sustentável em complexos industriais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo refere-se ao referencial teórico e está estruturado em dois subcapítulos, cada um abordando temas para a compreensão do estudo em questão. O primeiro subcapítulo é dedicado à economia circular. Neste segmento, são apresentados e discutidos os principais conceitos que formam a base desse modelo econômico inovador. O segundo subcapítulo foca no conceito de ecoparque industrial. Inicialmente, apresenta uma definição clara do que constitui um ecoparque industrial, destacando sua importância como um modelo de desenvolvimento sustentável que integra atividades industriais com práticas ambientais responsáveis. A seguir, o texto detalha os componentes para a criação e o funcionamento eficaz de um ecoparque industrial.

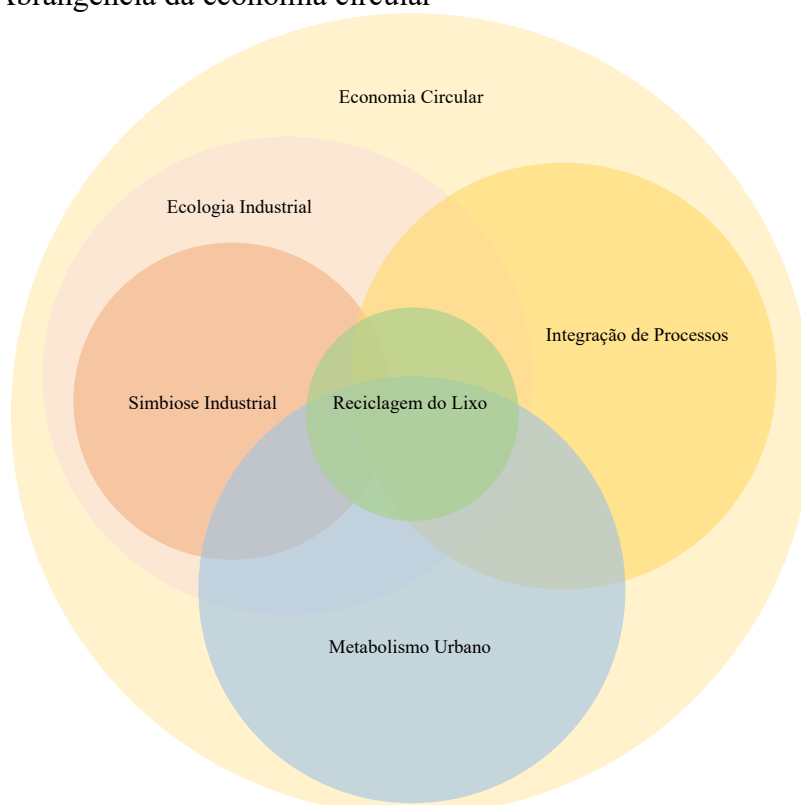
### 2.1 Economia circular

Entende-se a economia circular como uma prática abrangente que visa otimizar o uso de recursos, reduzir o desperdício e minimizar o impacto ambiental, ao contrário do modelo econômico linear tradicional, que envolve a extração, produção, uso e descarte de recursos naturais (Geissdoerfer et al., 2017). Na economia circular, os produtos, materiais e recursos são projetados, usados e reciclados de forma eficiente e sustentável. Isso envolve a promoção da reutilização, reciclagem, remanufatura e recuperação de materiais, bem como a extensão da vida útil dos produtos (Hariyani; Mishra, 2022). Xue et al. (2023) e Kirchherr, Reike e Hekkert (2017) apresentam a economia circular como a aplicação de práticas industriais que visam à sustentabilidade através da troca de materiais.

A economia circular busca criar um ciclo fechado de recursos, onde o resíduo de uma indústria pode se tornar a matéria-prima de outra, reduzindo assim a necessidade de novas extrações e produções (Ghisellini; Cialani; Ulgiati, 2016). Além disso, ela é uma abordagem econômica que busca manter os recursos em uso pelo maior tempo possível, reduzindo o desperdício e a poluição (Carriello et al., 2022).

A Figura 01 ilustra os principais conceitos inerentes à economia circular, destacando a ecologia industrial, a simbiose industrial, a integração de processos, a reciclagem de lixo e o metabolismo urbano. Cada conceito é representado por um círculo, com a reciclagem de lixo no centro, mostrando que todos os conceitos se conectam e contribuem para a economia circular. As interseções entre os círculos representam áreas onde esses conceitos se sobrepõem, enfatizando a importância da integração e cooperação entre diferentes processos industriais e urbanos para promover a sustentabilidade e a eficiência no uso de recursos.

Figura 1 - Abrangência da economia circular



Fonte: Cárcamo e Peñabaena-Niebles (2022, p. 2).

Nesta perspectiva, a economia circular é vista como um sistema abrangente que contém mecanismos denominados de ecologia industrial, simbiose industrial, integração de processos, metabolismo urbano e uma intersecção que é a reciclagem do lixo. A economia circular propõe a redução do desperdício e a extensão da vida útil de produtos e materiais, enquanto a reciclagem de lixo desempenha um papel fundamental na reintrodução de materiais reciclados na cadeia de valor (Khan et al., 2022).

A ecologia industrial e a simbiose industrial buscam otimizar processos e recursos, promovendo a colaboração entre empresas para minimizar resíduos e recursos não utilizados. A integração de processos envolve a sincronização de fluxos de materiais, contribuindo para a eficiência e redução de desperdício (Atalano; Ibiapina; Machado, 2022; Belaud et al., 2019; Hansen et al., 2023; Hossain et al., 2022; Jabbour et al., 2018; Mannina; Gulhan; Ni, 2022; Chioatto; Sospiro, 2023). O metabolismo urbano, por sua vez, foca na gestão dos fluxos de materiais e recursos em áreas urbanas, alinhando-se com a economia circular, a ecologia industrial e a reciclagem para promover ambientes urbanos mais sustentáveis e eficientes (D'Adamo et al., 2022). Então, esses conceitos trabalham em conjunto para promover um uso mais eficiente dos recursos e minimizar o impacto ambiental em vários contextos.

Após a explicação de cada elemento, o Quadro 1 apresenta os conceitos discutidos, bem como os autores embasados para essa escolha. Ela é essencial para entender os pilares adotados por este estudo para compor a economia circular, apresentando seis conceitos-chave: economia circular (redução de desperdício e maximização de recursos), ecologia industrial (otimização de processos e criação de redes sustentáveis), simbiose industrial (colaboração entre empresas para compartilhar recursos), integração de processos (sincronização e otimização de fluxos industriais), metabolismo urbano (gestão eficiente de materiais e energia em cidades) e reciclagem de lixo (transformação de resíduos em matérias-primas secundárias). Esta tabela é importante porque fornece uma visão clara e estruturada desses conceitos, facilitando a compreensão de como eles se interconectam para promover a sustentabilidade e a eficiência no uso de recursos.

Quadro 1 - Componentes da Economia circular

<b>Componente</b>	<b>Conceito</b>	<b>Autor</b>
Economia Circular	Um modelo que promove a redução do desperdício e a maximização da utilização de recursos, estendendo a vida útil de produtos e materiais.	Geissdoerfer et al. (2017)
Ecologia Industrial	Uma abordagem que otimiza os processos industriais e cria redes sustentáveis, minimizando resíduos e maximizando a eficiência.	Hariyani e Mishra (2022)
Simbiose Industrial	A colaboração entre empresas para compartilhar subprodutos e recursos não utilizados, reduzindo o desperdício e o consumo de recursos.	Abreu, Mota e Paula (2020)
Integração de Processos	A sincronização e otimização de vários processos industriais e fluxos de materiais para maximizar a eficiência e minimizar o desperdício.	Cárcamo e Peñabaena-Niebles (2022)
Metabolismo Urbano	A gestão dos fluxos de materiais, energia e recursos em ambientes urbanos para tornar as cidades mais sustentáveis e eficientes.	Bahers et al., (2022)
Reciclagem de Lixo	O processo de coleta e processamento de resíduos para transformá-los em matérias-primas secundárias que podem ser reintroduzidas na cadeia de valor, reduzindo a demanda por recursos virgens e minimizando o desperdício.	Carriello et al. (2022)

Explicando os termos presentes no Quadro 1, tem-se que a simbiose industrial é uma estratégia que se encaixa na economia circular pois envolve a colaboração entre empresas e indústrias para otimizar o uso de recursos e minimizar o desperdício de matérias-primas. Nesse modelo, uma empresa pode usar os subprodutos ou resíduos de outra empresa como matéria-prima em seus próprios processos (Chen et al., 2022). Isso não apenas reduz o desperdício, mas também fortalece a eficiência e a resiliência de toda a cadeia de suprimentos. A simbiose industrial é um exemplo prático da aplicação dos princípios da economia circular.

A simbiose industrial (SI) é uma estratégia de aproveitamento de resíduos em uma cadeia produtiva, baseada em trocas físicas de resíduos e materiais (Tan et al., 2024), que encontra formas de utilizar os resíduos de uma indústria como insumos ou matérias-primas para outra, tudo apoiado pela colaboração empresarial (Fraccascia; Ceccarelli; Dangelico, 2023).

Por outras palavras, SI é uma abordagem colaborativa onde diferentes indústrias trabalham em conjunto para trocar resíduos e subprodutos, que podem ser utilizados como matérias-primas ou insumos para outras indústrias. Esta abordagem pode contribuir para a gestão de resíduos, reduzindo a quantidade de resíduos gerados, promovendo a reutilização e reciclagem de materiais e reduzindo o impacto ambiental das atividades industriais.

A ecologia industrial é uma abordagem mais ampla que se concentra na organização de sistemas industriais de maneira a imitar os ecossistemas naturais (Cagno et al., 2023). Ela se integra na Economia Circular pois envolve a análise da interação entre diferentes empresas e setores industriais em uma determinada região para criar sinergias, onde os resíduos de uma empresa se tornam os insumos de outra. A ecologia industrial visa não apenas a redução de resíduos, mas também a minimização do uso de recursos, a conservação de energia e a promoção de sistemas produtivos mais sustentáveis em nível regional ou local.

Esses conceitos (discutidos neste subcapítulo) estão interconectados e representam uma mudança de paradigma na forma como as sociedades e indústrias abordam a produção e o consumo. Eles desempenham um papel importante na transição para um modelo econômico mais sustentável, onde os recursos são utilizados de forma mais eficaz, o desperdício é minimizado e os impactos ambientais são reduzidos. Isso não apenas contribui para a preservação do meio ambiente, mas também pode resultar em economias mais eficientes e resilientes (Kennedy; Linnenluecke, 2022).

A abordagem de Economia Circular (EC) adotada por este estudo defende a necessidade de investimentos para gerar trocas de resíduos entre as empresas e a qualificação dos funcionários para realizar essas atividades. Além disso, é crucial estudar a localização das empresas de forma inteligente, promovendo uma aproximação geográfica e estratégica entre elas, e desenvolver mecanismos para superar barreiras de confiança e criar uma governança eficiente para o sistema. A interdependência desses fatores é defendida por Oughton et al. (2022). Com isso, o estudo da transformação de resíduos em bens econômicos é de suma importância para que haja uma economia circular, dessa forma, há a necessidade de realizar a institucionalização dos resíduos de um parque industrial, em outras palavras, entender que existe o interesse normativo por sua utilização.

### ***2.1.1 Institucionalização de resíduos***

Nobre e Amazonas (2002) informam que a institucionalização dos resíduos ocorre a partir da problemática ambiental de descarte de lixo em locais inapropriados. Da mesma

forma, Tinoco e Kraemer (2008) afirmam que mudanças organizacionais são inevitáveis para que a empresa passe a realmente trabalhar com gestão ambiental. Burrit e Saka (2006), por exemplo, corroboram com o processo destacando a razão pela qual existe esta tendência: a legislação ambiental, os autores afirmam haver uma promoção das práticas de gestão ambiental por meio de órgãos governamentais e algumas instituições educacionais com o objetivo de identificar os melhores casos práticos como base para sua implementação. Com isso, necessita entender o papel do Estado como um articulador desse processo de canalização da institucionalização dos resíduos (Kaplan, 2023).

A criação da Lei nº 12.305/2010 delinea a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS - por meio da definição de diretrizes para a gestão de resíduos sólidos e seu impacto na inclusão social e econômica. Kun, Botelho e Alves (2018) destacam os objetivos fundamentais da PNRS, abordando a importância da gestão compartilhada, incentivo a cooperativas de catadores, promoção da inserção social, subsídio financeiro aos catadores e contribuição para a sustentabilidade municipal. Pereira e Souza (2017) abordam desafios enfrentados por municípios de pequeno porte na adaptação à PNRS. A escassez de recursos financeiros, a falta de profissionais qualificados, as dificuldades na elaboração de planos integrados e a participação em consórcios intermunicipais são apontadas como obstáculos relevantes. Destaca-se também o incentivo à criação de cooperativas de catadores, indicando que a efetiva inclusão social desses grupos permanece como um desafio.

Somado a isso, tem-se em tramitação o Projeto de Lei nº 1874, de 2022 que institui a Política Nacional de Economia Circular. A Política Nacional de Economia Circular (PNEC) surge como uma resposta às crescentes preocupações com a sustentabilidade e a eficiência no uso de recursos naturais, buscando alinhar o desenvolvimento econômico à preservação ambiental. Inspirada nos princípios da economia circular, a PNEC tem como objetivo transformar o tradicional modelo linear de produção, que envolve extração, produção, consumo e descarte, em um ciclo contínuo de uso e reuso de materiais e recursos (Brasil, 2024).

Essa política promove a integração dos resíduos como insumos para novos ciclos produtivos, garantindo que os materiais sejam reaproveitados, reciclados e reintroduzidos nas cadeias de produção. Nesse sentido, a PNEC visa reduzir a pressão sobre os recursos naturais, minimizar o desperdício e incentivar o uso de tecnologias limpas e inovações que prolonguem a vida útil dos produtos. A ideia é que os produtos e processos produtivos sejam planejados desde o início com foco na reutilização, reciclagem e na recuperação de materiais, evitando ao máximo a geração de resíduos (Brasil, 2024).

Entre os instrumentos centrais da PNEC, estão a avaliação do ciclo de vida dos produtos, que analisa o impacto ambiental em todas as fases de produção, desde a extração da matéria-prima até o descarte ou reuso, e a simbiose industrial, que promove a cooperação entre diferentes empresas e setores, de modo que os resíduos de uma se tornem insumos para outra. Além disso, a política fomenta o desenvolvimento de ecoparques industriais, onde empresas compartilham recursos e processos, otimizando o uso de água, energia e materiais (Brasil, 2024).

Quadro 2 - Comparativo entre PNRS e PNEC

Aspecto	Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)	Política Nacional de Economia Circular (PNEC)
Objetivo	Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos com foco na destinação final ambientalmente adequada, reutilização, reciclagem e redução.	Promover o uso eficiente de recursos naturais, reduzindo o impacto ambiental e integrando os resíduos como insumos em novos ciclos produtivos.
Princípios	Prevenção e precaução, poluidor-pagador, responsabilidade compartilhada, visão sistêmica e desenvolvimento sustentável.	Redução de desperdício, inovação tecnológica, ecoeficiência e integração de processos produtivos para maximizar o uso de recursos.
Instrumentos	Planos de resíduos sólidos, inventários, sistemas de logística reversa, incentivos fiscais e cooperação técnica.	Avaliação do ciclo de vida, simbiose industrial, governança colaborativa, e incentivos a tecnologias limpas e processos circulares.
Coleta Seletiva	Promove a separação de resíduos para facilitar o tratamento, reciclagem e destinação final.	Enfatiza a reutilização e revalorização dos materiais antes de se tornarem resíduos, fechando o ciclo de produção.
Destinação Final	Envolve reciclagem, compostagem, reaproveitamento energético e disposição final em aterros sanitários para rejeitos não reutilizáveis.	Evita ao máximo a geração de resíduos, incentivando o design de produtos que possam ser reciclados ou reutilizados em ciclos produtivos.
Responsabilidade Compartilhada	Atribui responsabilidades a fabricantes, importadores, distribuidores, consumidores e poder público na gestão dos resíduos sólidos.	Incentiva a responsabilidade de todos os atores em cada fase do ciclo de vida dos produtos, promovendo a colaboração entre os setores.
Inovação Tecnológica	Incentiva o desenvolvimento de tecnologias limpas para minimizar os impactos ambientais.	Central para a economia circular, com foco em tecnologias que aumentem a eficiência dos processos e prolonguem a vida útil dos recursos.
Reaproveitamento Energético	Permite a recuperação de energia a partir da incineração ou processamento de resíduos sólidos urbanos, quando viável.	Prioriza a maximização da reutilização dos recursos materiais, com a recuperação de energia como último recurso antes da disposição final.

Fonte: Baseado em Brasil (2010) e Brasil (2024).

Sousa, Campos e Oliveira (2016) apresentam a mudanças no comportamento de empresários e gestores públicos quanto a disposição de resíduos em aterros sanitários, justamente por necessitar de uma estrutura logística adequada e estrutura de armazenamento dos resíduos, a estagnação no percentual de resíduos destinados adequadamente, a variação

mínima nos recursos municipais e os desafios na efetivação da política de real implementação desses meios de realização de coleta e seleção de resíduos. A falta de comprometimento dos gestores é apontada como uma possível explicação para os resultados aquém do esperado, além de evidenciar a problemática com a gestão de resíduos. Silva e Biernaski (2018) contribuem com uma compreensão sobre a necessidade do cumprimento da legislação, identificação de variáveis influentes para a correta utilização da PNRS, avaliação de planos e políticas existentes, e embasamento de recomendações para melhorias.

A gestão eficiente de resíduos sólidos enfrenta diversos desafios, como a aquisição de dados precisos e corretos e a falta de transparência, especialmente no ciclo de vida de produtos eletrônicos, onde o monitoramento incompleto e o fluxo para mercados não regulamentados são preocupações significativas (Jiang et al., 2023). No entanto, avanços tecnológicos, como a utilização de ferramentas de Tecnologia da Informação (TI) para o correto monitoramento das quantidades e classificação, sistemas de coleta subterrânea para evitar problemas de mau cheiro para moradores e melhorar a qualidade de vida para os trabalhadores, uma vez que é realizada à vácuo em tubulações e requer investimentos elevado, e a aplicação de inteligência artificial (IA), têm se mostrado promissores na otimização dos sistemas de gestão de resíduos e na promoção da economia circular, principalmente no que tange o correto descarte, sinalização e realização de Avaliação de Ciclo de Vida (Czekala; Drozdowski; Labiak, 2023).

A Economia Circular emerge como um pilar nesse cenário, baseando-se na cooperação entre empresas e indústrias para otimizar o uso de recursos, reduzir resíduos e fomentar a sustentabilidade. Ao adotar práticas de Economia Circular, as empresas podem transformar resíduos em recursos valiosos para outras, promovendo um ciclo de produção mais eficiente e sustentável (Kowalski et al., 2023). Em contextos específicos, como na gestão de resíduos biológicos em hotéis, a implementação de modelos circular de gestão pode ser realizada por meio da identificação de pontos de geração de resíduos, estabelecimento de instalações de compostagem e produção de pellets (serve como biocombustível), e desenvolvimento de modelos de localização-alocação que otimizem a distribuição e tratamento dos resíduos (Santos-Penate; Suárez-Veja; Nuez, 2023).

Outro desafio observado em localidades como Hong Kong é a baixa taxa de reciclagem e o impacto da má gestão de resíduos na saúde e nas emissões significativas de gases de efeito estufa, o que exige soluções inovadoras. Entre essas soluções, destacam-se a adoção de tecnologias avançadas, o uso de análises de dados e a implementação de plataformas educacionais interativas para conscientizar o público e melhorar as práticas de gestão de

resíduos (Li; Lee; Lau, 2023). A adoção de tecnologias avançadas, como inteligência artificial e machine learning, otimiza a coleta e triagem de resíduos, aprimorando a eficiência operacional. A análise de dados proporciona *insights* estratégicos para a tomada de decisões, identificando oportunidades de melhoria na gestão de resíduos. Plataformas educacionais interativas engajam a comunidade, promovendo a conscientização e incentivando práticas sustentáveis, resultando em uma gestão de resíduos mais eficiente e ambientalmente responsável.

Para isso, existe uma metodologia que pode auxiliar o reaproveitamento de resíduos como insumos para as empresas, sendo ela a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A utilização de técnicas como a ACV por empresas permite a definição de alternativas e modelos de gerenciamento de resíduos para a inserção em seus processos fabris (Reichert; Mendes, 2014). A ACV permite identificar quais resíduos podem ser reciclados ou reutilizados e em quais processos fabris eles podem ser reaproveitados (Mersoni; Reichert, 2017) e quais os processos críticos de sua utilização. Este processo de identificação ajuda a classificar os resíduos não apenas como lixo, mas como potenciais recursos que podem ser comercializados, gerando receita adicional para as empresas.

Empresas que utilizam a ACV para gerenciar seus resíduos sólidos demonstram um compromisso com a sustentabilidade e a transparência, para assim, melhorar a sua imagem perante consumidores, investidores e outras partes interessadas, pois mostra que a empresa está ativamente trabalhando para minimizar seu impacto ambiental (Reichert; Mendes, 2014). Através da ACV, é possível avaliar e reduzir os impactos ambientais associados a diferentes práticas de gerenciamento de resíduos. Isto inclui a redução de emissões de gases de efeito estufa, acidificação, eutrofização e toxicidade humana (Reichert; Mendes, 2014; Mersoni; Reichert, 2017).

Nas palavras de Osman et al. (2023, p. 1458) a ACV “é uma ferramenta utilizada para avaliar o impacto ambiental de um produto ou processo ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até o descarte final.” Em outras palavras, é uma metodologia sistemática e abrangente usada para avaliar o impacto ambiental de um produto, processo ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até o descarte final.

Partindo disso, o objetivo fundamental da ACV é fornecer informações para a tomada de decisões mais sustentáveis, considerando o consumo de recursos, as emissões de poluentes e o impacto ambiental em cada estágio do ciclo de vida (Sallen et al., 2023). Nas palavras de Silva, Moura, Moita Neto (2023) a metodologia ACV teve seu início nos anos 1960

e 1970, quando os cientistas começaram a se preocupar com o impacto ambiental dos produtos e processos industriais. O conceito ganhou mais destaque nas décadas seguintes, principalmente com o crescente interesse pela sustentabilidade e a necessidade de avaliar e melhorar o desempenho ambiental de produtos e sistemas (Zielinski; Stroparo, 2023; Wang et al., 2023; Wen; Wang; Liu, 2024).

Abu-Qdais e Kurbatova (2022) destacam que existem desafios administrativos, técnicos e sociais para a adoção da economia circular em ecoparques, somado a isso, ressaltam a importância de políticas regulatórias adequadas, cooperação intersetorial e modelos de gestão para superar esses desafios. Chen et al., (2024) concluíram, por meio da realização de um ACV que possibilitou a identificação de coprodutos, processos fabris e resíduos gerados, que a integração de fábricas isoladas em parques industriais pode reduzir as emissões de carbono e gerar biomassa útil para várias indústrias. Guo, Tian e Chen (2020) exploram a interdependência entre energia, água e poluição, sugerindo medidas específicas para reduzir o impacto ambiental. Também destacam a necessidade de políticas industriais que facilitem a transição para fontes de energia mais limpas e eficientes, sugerindo que medidas como a adoção de metodologias de ACV são fundamentais para as reduções almejadas, além disso, a alta gestão deve estar engajada com a circularidade.

Min (2020) destacam a importância da gestão eficaz de resíduos e materiais recicláveis em larga escala, especialmente em países em desenvolvimento como a China. Eles mostram como a indústria de reciclagem pode reduzir a dependência de recursos primários, promovendo uma economia circular e minimizando os impactos ambientais por meio da ferramenta de ACV, destacando que o primeiro passo é conhecer os processos fabris e os coprodutos, para assim, as transações econômicas e de desenvolvimento podem ocorrer. Por fim, Liu et al., (2024) destacam a importância de integrar a ACV nas decisões estratégicas de design e operação fabris, oferecendo uma abordagem prática para equilibrar os objetivos ambientais e econômicos. Reconhecendo que os objetivos ambientais ficam em segundo plano em comparação aos objetivos econômicos.

Somado ao entendimento sobre o ciclo de vida dos resíduos, para que as empresas funcionem, elas precisam atingir requisitos ambientais funcionais, esses requisitos são definidos por órgãos ambientais, dessa forma, cada esfera da gestão pública tem sua competência e seus trâmites. No contexto em estudo (Ceará), existe a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE). A Lei 15.773, de 10 de março de 2015, introduziu uma mudança na estrutura da gestão ambiental no Estado do Ceará, ao extinguir o Conselho de Políticas e Gestão do Meio Ambiente (CONPAM) e instituir a Secretaria do Meio Ambiente

(SEMA), estabelecendo também a vinculação da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) à SEMA. As competências da SEMA, por sua vez, estão definidas no artigo 3º da Lei 15.798, de 01 de junho de 2015, e abrangem a elaboração, planejamento e implementação da política ambiental estadual; o monitoramento e avaliação dessa política; a promoção da articulação interinstitucional nos âmbitos federal, estadual e municipal; a gestão de Unidades de Conservação sob jurisdição estadual; e a coordenação de programas de educação ambiental. Além disso, a SEMA tem a responsabilidade de fomentar a captação de recursos financeiros, propor revisões legislativas pertinentes ao sistema ambiental estadual e coordenar as políticas setoriais que tenham impacto no meio ambiente, entre outras funções necessárias ao cumprimento de suas finalidades (Ceará, 2015).

Vale ressaltar que as competências do órgão estadual não podem ser confundidas com as competências do órgão federal, sendo este o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). O Ibama é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), com personalidade jurídica de direito público e autonomia administrativa e financeira, conforme estabelecido no artigo 2º da Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989. Suas atribuições principais estão definidas no artigo 5º da Lei nº 11.516, de 28 de agosto de 2007, e incluem o exercício do poder de polícia ambiental, a execução de ações das políticas nacionais de meio ambiente relacionadas ao licenciamento, controle de qualidade, fiscalização e monitoramento ambiental, e a atuação supletiva em questões de competência da União. Além disso, o Ibama também propõe e edita normas de qualidade ambiental, realiza zoneamento e avaliação de impactos, gerencia o Cadastro Técnico Federal e executa programas de educação ambiental, entre outras funções. Para cumprir essas funções, o Ibama pode se articular com outros órgãos públicos e com a sociedade civil organizada, conforme as diretrizes da política nacional de meio ambiente (Brasil, 1989).

Contudo, o excesso de burocracia pode atrapalhar alguns aspectos da EC, sendo um deles a questão do licenciamento ambiental (Cheng; Yang, 2024). Todavia, ao observar de forma crítica a esse apontamento, observa-se nas palavras de Oliveira, Palmerstson e Tejerina-Garro (2022) as atividades dependentes de EIA-RIMA não podem ser objeto de descentralização de competência para o município, muito menos a questão do licenciamento ambiental deve ser trabalhada de forma leviana. Uma vez que ele pode gerar impactos ambientais e sociais irreversíveis. Para que o processo de Economia Circular seja realizado, não apenas é necessário entender os coprodutos como materiais que podem ser reutilizáveis e que geram vantagens econômicas, bem como o entendimento de sobre a gestão pública sobre a sua importância, destacando que existem políticas nacionais e federais que informam como as

empresas devem se comportar, mas também há a necessidade de uma cultura nas organizações para que seja efetivada as trocas, desde o incentivo à promoção de ideias, até a quebra de paradigmas para utilizar os produtos como novos insumos.

### ***2.1.2 Cultura de Economia Circular***

Nas palavras de Bertassini et al. (2021) para implementar uma abordagem de Economia Circular (EC) eficaz dentro de uma organização, é necessário definir e/ou atualizar uma visão clara e unificada em direção à circularidade que é a estratégia que deve ser empregada, a fim de promover o comprometimento dos funcionários. Essa visão (uma previsão do futuro, com marcos a serem atingidos) deve estar alinhada com a cultura organizacional, permitindo a integração completa dos objetivos da EC (Ahuja et al., 2019). Além disso, é importante integrar a perspectiva das partes interessadas nos objetivos da EC, garantindo que suas necessidades e preocupações sejam consideradas (Obal et al., 2020). As partes interessadas podem ser empresários, empresas, colaboradores, fornecedores, entidades estatais e até mesmo, comunidades que moram próximo às áreas das instalações das empresas.

Para garantir a efetiva implementação da EC, é necessário desenvolver e formalizar uma estratégia de implementação e um plano de ação específicos, visando uma maior integração das estratégias e práticas de EC na cultura organizacional (Ates; Bititci, 2011; Brones et al., 2021; Long et al., 2018). Contudo, esses autores informam que essas estratégias devem ser implementadas a nível de prática, então eles focam seus esforços no nível operacional (Abebe; Goldstein, 2024).

Após a criação de uma visão focada na circularidade, faz-se necessário que tenha o monitorar da execução e avaliação regularmente os resultados, progressos e lacunas identificadas. Rossi (2020) informam que isso pode envolver a criação e adaptação de indicadores de desempenho específicos para o contexto circular da organização. Esses indicadores podem estar relacionados ao processo produtivo, para haver a mensuração se o time incorporou a cultura da economia circular. Kowalski et al. (2023) apresentou que esses indicadores negligenciam o aspecto da saúde do colaborador e focam apenas em retornos econômicos e produtivos para as empresas. Contudo, Lo et al. (2023) informam que é necessário que haja esse controle de indicadores padrão para aumentar a pegada ambiental das empresas, assim, aumentando a sua responsabilidade com a sustentabilidade.

Nas palavras de Tronvoll et al., (2020) é necessário fortalecer a identidade organizacional para o externo, em torno da criação de valor para os clientes e personalização

de produtos/serviços com base no conhecimento profundo do cliente, abrangendo assim a área de marketing. Isso envolve nutrir a confiança mútua e o respeito entre os funcionários (Ahuja et al., 2019), bem como projetar canais de comunicação eficazes para enfatizar os valores centrais entre os funcionários (Ketprapakorn; Kantabutra, 2019).

Para impulsionar ainda mais a implementação da EC, é essencial criar um ambiente de trabalho que estimule o desempenho econômico, social e ambiental (Metz et al., 2020). Além disso, é fundamental engajar toda a organização, bem como múltiplas partes interessadas externas, a fim de equilibrar múltiplos objetivos que às vezes estão em conflito (Obal et al., 2020). Isso pode envolver o estabelecimento de parcerias externas para competências especializadas e terceirização de capacidades não essenciais, focando nas essenciais, como empresas que realizam pesquisas e desenvolvimento para a criação de novos produtos com os resíduos das empresas, programas de educação ambiental, ou empresas que realizam o serviço logístico de destinação correta (Tronvoll et al., 2020; Latilla et al., 2020). Também é importante criar unidades de negócios e funções internas para impulsionar a implementação da EC, além de modificar práticas de economia linear existentes nas organizações, como a destinação de resíduos para aterros industriais (Latilla et al., 2020).

Autores como Kumar et al., (2019) asseveram que é necessário criar a conscientização dos funcionários sobre a EC para desenvolver um ambiente de confiança e promover o engajamento dos funcionários e partes interessadas, assim disseminando o conhecimento entre as partes, bem como precisa haver uma remuneração variável para que haja engajamento dos colaboradores das organizações. Então, Tronvoll et al. (2020) informam que mudanças na estrutura dos funcionários podem ser necessárias, assim, urge-se a recrutamento daqueles com mentalidade compatível com a EC. Equipes multidisciplinares com conhecimento e habilidades relevantes para inovação em modelos de negócios, design de produtos e desenvolvimento de EC formam um pilar para o desenvolvimento de uma cultura organizacional baseada em EC (Ahuja et al., 2019; Jabbour et al., 2018; Kumar et al., 2019). Com isso, a identificação de agentes de mudança e construção de coalizões dentro das organizações para implementar as mudanças planejadas em direção à implementação da CE é fundamental para garantir o sucesso do processo, além de proporcionar pesquisas com o intuito de quebrar os paradigmas da utilização de coprodutos como insumos nas organizações (Ates; Bititci, 2011).

Nesta perspectiva, faz-se necessário aplicar os conhecimentos sobre a economia circular em complexos industriais que almejem a transição para uma lógica circular, mais que

isso, também é necessário compreender, com profundidade, a economia circular em parques que já atendam às lógicas de sustentabilidade, como o caso dos ecoparques industriais.

## 2.2 Ecoparque Industrial

Um ecoparque industrial é uma área planejada que busca promover a conservação ambiental, a restauração da vegetação nativa e a criação de um ambiente propício para a interação harmoniosa entre as pessoas e a natureza, integrando atividades industriais, comerciais e de serviços com práticas sustentáveis e ambientalmente amigáveis (Bohórquez; Nieto, 2023; Abu-Qdais; Kurbatova, 2022). A ideia é criar um ambiente onde as atividades econômicas possam coexistir de maneira harmoniosa com a preservação do meio ambiente e a promoção do desenvolvimento sustentável (Tobal-Cupul *et al.*, 2022). Xue et al., (2023) informam que o objetivo principal de um ecoparque industrial é criar um sistema fechado onde os resíduos de uma indústria são utilizados como recursos para outra, aumentando a eficiência de recursos e reduzindo o impacto ambiental.

Chertow (1998) sugere que os ecoparques industriais não devem ser vistos como projetos totalmente planejados e centralizados desde o início, mas como sistemas que evoluem gradualmente através de colaborações e trocas entre empresas. O modelo de "*anchor tenant*" é proposto, onde uma grande empresa ou instalação serve como ponto de partida para atrair outras empresas e promover a troca de resíduos e subprodutos. O autor também informa mecanismos como a criação de listas de trocas de resíduos, o uso de fluxos de materiais dentro de uma organização, a colaboração entre empresas colocalizadas em um parque industrial, e até mesmo parques industriais virtuais que conectam empresas distantes geograficamente através de fluxos de resíduos. Já Perrucci et al. (2022) somam a esses mecanismos os requisitos geográficos, envolvimento e dedicação dos stakeholders, envolvimento da comunidade e suporte do sistema/agências reguladoras. Sendo esses os fatores para que haja a efetividade da implementação dos ecoparques industriais.

Nas palavras de Tellier et al., (2019), existem características comuns em ecoparques industriais incluem o Desenvolvimento de infraestrutura que promova eficiência no uso de recursos e minimização de impactos ambientais por meio de ecossistemas industriais que promovam redes de coesas de trocas materiais entre as empresas do mesmo ecossistema (colaboração entre as empresas do mesmo complexo), incentivando ao uso de fontes de energia renovável e práticas para redução do consumo energético, além de tentar aproveitar ao máximo a energia aproveitada pelo sistema. Outro ponto que deve ser observado é a implementação de

sistemas avançados de coleta, reciclagem e tratamento de resíduos industriais, por vezes, a terceirização desse serviço pode ser uma alternativa para as organizações dos ecoparques, gerando legitimidade para os resíduos e gerar oportunidades de negócios.

Outro ponto, existem dois modelos que diferenciam as abordagens de ecoparques em relação à preservação ambiental e ao incentivo à inovação sustentável. O primeiro é o modelo da China, e o segundo é o Modelo exemplificado pelo ecoparque de Kalundborg, na Dinamarca. O Modelo Chinês é caracterizado por uma estrutura de gestão rígida, onde o ecoparque é organizado em diferentes níveis de autoridade e responsabilidade, liderados por forças estatais, como leis e normas (Rodríguez-Otero et al., 2023). Outro ponto a ser discutido é que a China, ao adotar um modelo hierárquico, também promove políticas de incentivo financeiro para a adoção de práticas circulares (Faria *et al.*, 2023).

A tomada de decisões segue uma abordagem de cima para baixo, com estratégias definidas em diferentes níveis hierárquicos. A coordenação vertical é enfatizada, visando integrar eficazmente a administração global, gerência intermediária e operações diárias para alcançar metas sustentáveis (Cruz; Christianetti; Moraes, 2023). Já o Modelo Orgânico nasce por necessidade entre as empresas, no qual colaboram de forma integrada o compartilhamento de subprodutos, resíduos ou recursos para otimizar o uso de recursos e minimizar o desperdício (Miyamoto; Costa; Candiani, 2022).

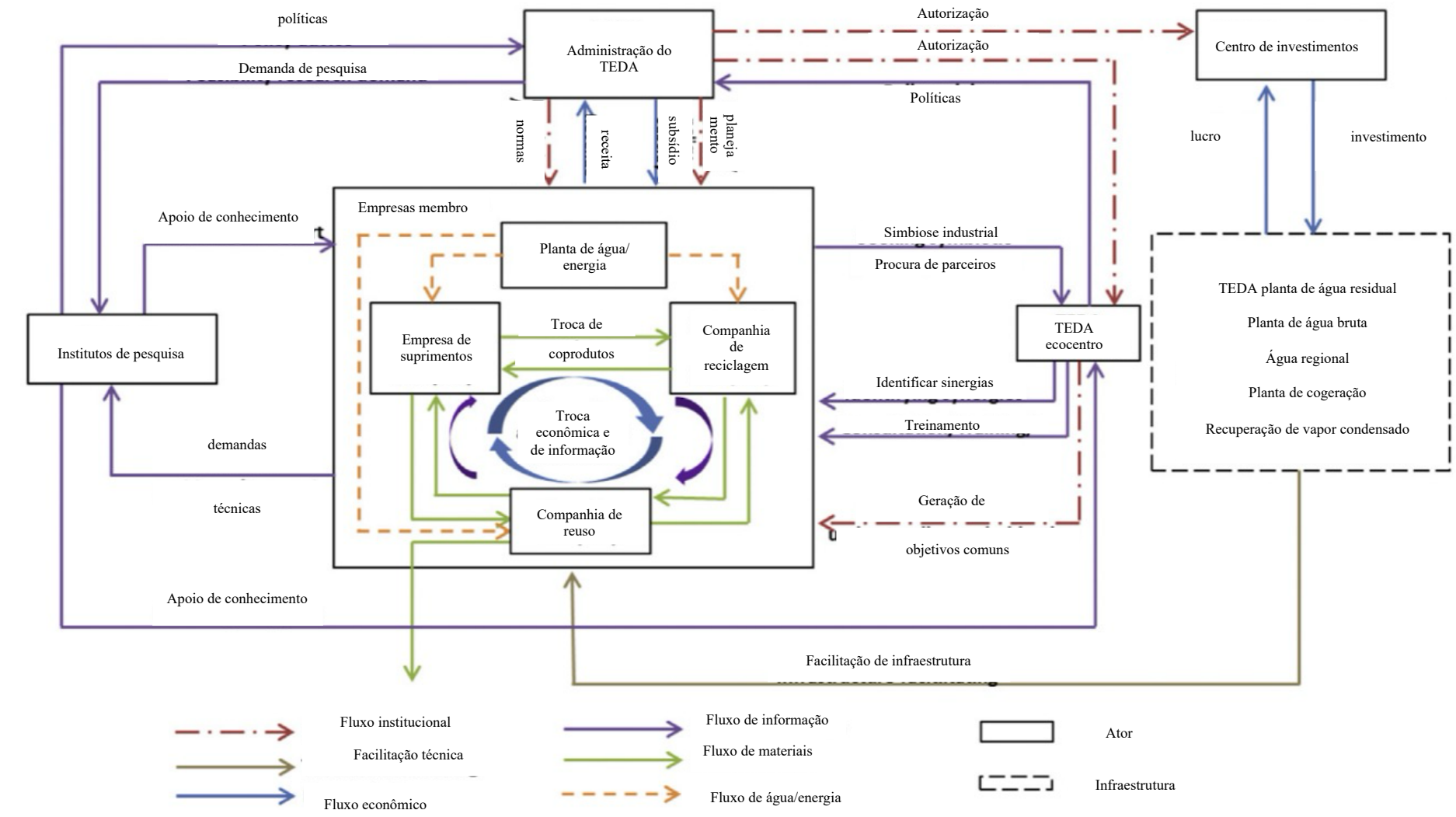
Kalundborg se destaca por sua ênfase na inovação sustentável na busca por soluções mais avançadas e ecologicamente responsáveis pela descentralização e independência das empresas pertencentes ao ecoparque, em contraste com a estrutura hierárquica centralizada do Modelo Chinês, proporcionando maior flexibilidade e adaptabilidade às mudanças ambientais e de mercado (Ahmad-Nielsen et al., 2022). A diversidade e a interconexão entre as empresas nesse modelo também aumentam a resiliência do sistema como um todo, oferecendo uma rede robusta capaz de lidar melhor com choques externos e incertezas (Andreasen, 2019).

Outro fator observado é a existência de barreiras para uma transição de parques industriais para ecoparques industriais, elas são identificadas no estudo de Ceglia, Abreu e Silva Filho (2017). De acordo com os autores, as barreiras sociais referentes a fatores como valores, confiança, domínio cognitivo de resíduos e engajamento ambiental, as barreiras institucionais são limitações inerentes ao domínio da organização, e estão diretamente associadas às questões de tomada de decisão e de gestão, as barreiras financeiras incluem a necessidade de subsídios e incentivos econômicos para fomentar o desenvolvimento de redes e projetos relacionados ao reaproveitamento de resíduos e as barreiras tecnológicas envolvem a necessidade de tecnologias inovadoras para redesenhar processos e estabelecer componentes de sistemas circulares.

Shao et al. (2024) realizaram um experimento na província de Jiangxi na China e propuseram o International Framework for Eco-Industrial Parks (framework ligado a entender a relação de aprimoramento da sustentabilidade e a governança para a circularidade) e revelaram que os indicadores são amplamente reconhecidos pelos stakeholders locais. Os resultados destacaram forte alinhamento em áreas como gestão e desempenho ambiental, enquanto a conformidade foi relativamente mais baixa nos indicadores econômicos, especialmente no apoio a pequenas e médias empresas. Embora os parques tenham atingido altos níveis de adequação em dimensões sociais, práticas econômicas e ambientais, o estudo de Shao et al. (2024) identificou lacunas, como a necessidade de infraestrutura para trocas de energia e calor, e maior engajamento em biodiversidade e serviços ecossistêmicos.

Dado que pesquisas direcionadas à elaboração de um *roadmap* para Economia Circular para o desenvolvimento sustentável de parques industriais tem se tornado uma prioridade global, impulsionado pela necessidade de mitigar os impactos ambientais, promover práticas mais responsáveis e fortalecer a competitividade econômica. Nesse contexto, diversos estudos têm contribuído para a compreensão e implementação de estratégias inovadoras nos ecoparques industriais, fornecendo insights e propostas de frameworks. A Figura 2 apresenta uma estrutura de modelo sugerido por Yu, Jon e Dijkema (2014), nesta estrutura, há a presença de fatores que se interdependem para a criação de um ecoparque industrial.

Figura 2 - Modelo de Ecoparque sugerido pela literatura



Fonte: Yu, Jong, Dijkema (2014, p. 47)

O TEDA (Tianjin Economic-technological Development Area) é uma área de desenvolvimento econômico e tecnológico localizada em Tianjin, China. Estabelecida em 1984, o TEDA foi um dos primeiros parques industriais de nível nacional na China. Com uma área de terra desenvolvida de aproximadamente 98 km<sup>2</sup>, incluindo 46 km<sup>2</sup> de área industrial, o TEDA abriga uma população empregada de 484 mil pessoas. A figura mostra a estrutura do sistema do TEDA em uma era emergente, no período de 2006 a 2011. Na figura 2, os diferentes atores envolvidos no desenvolvimento do parque industrial eco-sustentável são representados, incluindo o Comitê Administrativo do TEDA, o Centro Ecológico (Eco-center), o Centro de Planejamento Ambiental (EPB), as empresas e outras entidades relevantes (Yu; Jong; Dijkema, 2014).

As setas presentes na figura indicam como esses atores influenciam uns aos outros em termos de atividade institucional, facilitação técnica, facilitadores econômicos e financeiros, atividade informativa e atividade da empresa em relação ao fluxo de materiais e energia/água (simbiose industrial). A representação visual na figura 2 ilustra como as principais atividades de simbiose industrial se expandiram ao longo do tempo, passando de simples compartilhamento de utilidades para trocas efetivas de subprodutos e compartilhamento de informações, podendo realizar trocas de subprodutos condicionantes a oferta-procura das empresas, ocasionando redução de custos e geração de novas receitas. Isso demonstra a evolução do sistema do TEDA em direção a uma abordagem mais integrada e colaborativa para promover a sustentabilidade e a eficiência no parque industrial (Yu; Jong; Dijkema, 2014).

O parque industrial foi reconhecido como uma Área Piloto Nacional para Economia Circular e tornou-se um Parques Industriais Ecológicos Demonstrativos Nacionalmente em 2008 (Yu; Jong; Dijkema, 2014). A figura ilustra a interação entre diferentes atores e o fluxo de informações, materiais e recursos, essencial para o funcionamento eficiente de uma economia circular. No centro, tem-se o TEDA Eco-center, que funciona como o coração da Economia Circular, promovendo a troca de subprodutos e o compartilhamento de informações entre as empresas. Este centro funciona como um facilitador, identificando sinergias entre as empresas, oferecendo consultoria/treinamento e disseminando um entendimento e objetivos comuns. A troca de subprodutos não apenas reduz os resíduos, mas também reduz a necessidade de matérias-primas virgens, economizando custos e minimizando o impacto ambiental (Yu; Jong; Dijkema, 2014).

O fluxo de material entre as empresas, representado por setas roxas, indica o compartilhamento de recursos como energia, água e materiais, o que é fundamental em um

ecossistema industrial circular. As setas azuis e roxas juntas simbolizam a integração de transações econômicas com o movimento de materiais, destacando a interdependência entre a eficiência econômica e a sustentabilidade (Yu; Jong; Dijkema, 2014). Isso entra de acordo com os estudos de Heck, Utikal e Leker (2024), Schützenhofer et al. (2022), Schultz e Reinhardt (2023) e Bruel e Godina (2023) dessa forma, as trocas materiais devem ser observadas como uma questão de oportunidades e possibilidade para inovação dentro das organizações, podendo ser um fator estratégico e capaz de obter recursos valiosos para as organizações. O Comitê Administrativo do TEDA e o EPB (Environmental Planning Bureau) são mostrados fornecendo suporte de políticas, autorizações e pesquisas de viabilidade, o que sugere uma forte governança e estrutura de apoio para as empresas dentro do parque. Estas entidades estão conectadas ao TEDA Investment Holding Co., que gerencia os lucros e investimentos, ilustrando como a sustentabilidade está incorporada no modelo de negócios (Yu; Jong; Dijkema, 2014).

O fluxo de infraestrutura é igualmente importante, com elementos como a Planta de Tratamento de Águas Residuais TEDA e a Planta de Novas Fontes de Água, indicando um ciclo regional de água que complementa a simbiose industrial ao reutilizar e reciclar recursos hídricos. O figura 2 também mostra um fluxo de conhecimento, com institutos de pesquisa e especialistas fornecendo apoio técnico, demonstrando o papel essencial da inovação e da especialização técnica no desenvolvimento de uma economia circular eficiente (Yu; Jong; Dijkema, 2014). Outro ponto é a necessidade de aquisição de tecnologias para o reaproveitamento de resíduos pelas organizações (Tedesco et al., 2022).

Jean-Pierre et al. (2019) realizaram uma investigação focada no desenvolvimento de um parque ecoindustrial, utilizando a economia circular e a ecologia industrial como base. O estudo concentrou-se na perspectiva da política francesa, aplicando um *white paper* com recomendações para a transição em economia circular e workshops. Os resultados incluíram a criação de uma caixa de ferramentas para a organização do ecoparque industrial que permitiu a identificação de sinergias benéficas, contribuindo diretamente para a competitividade do investimento realizado pelas empresas para a modificação de suas estruturas para o novo rearranjo. Modificações nos projetos industriais iniciais também foram destacadas, resultando em benefícios como maior proximidade dos consumidores e abordagens alinhadas com políticas de responsabilidade social corporativa. Dentre os principais ciclos que foram destacados pelos autores, foi o de efluentes líquidos. A empresa central da discussão utilizava água virgem para limpeza de garrafas, após o estudo, adotou-se a reciclagem de sílica na água de enxágue de garrafas e a implementação de uma rede de água industrial para a reciclagem

eficiente, dessa forma, houve troca dessa água com as outras empresas e o ciclo da água pôde ser fechado.

Haskins (2007) explorou a abordagem multidisciplinar com foco em engenharia de sistemas necessária para compreender e criar parques industriais ecológicos, propondo o framework de engenharia de sistemas IFACE (*I - Identify stakeholders and their needs; F - Frame the problem(s); A - Alternatives to identify and study the Options; C - Choose and implement a course of action; E - Evaluate continuously* - I - Identificar os stakeholders e suas necessidades; F - Enquadrar o(s) problema(s); A - Alternativas para identificar e estudar as Opções; C - Escolher e implementar um curso de ação; E - Avaliar continuamente). O estudo identificou atributos-chave desses parques, enfatizando a transição para práticas mais sustentáveis. O framework IFACE foi proposto como uma metodologia integrada de engenharia de sistemas, destacando a importância da comunicação contínua e coleta sistemática de informações. As informações eram referentes à geração de resíduos, processos industriais e fabris de cada empresa que estivesse no parque industrial e uma estrutura de governança para gerar ligação entre as partes interessadas, com a finalidade de desenvolver sustentabilidade em todas as fases do processo de desenvolvimento de ecoparques.

Xue et al. (2023) propuseram um framework integrado para avaliar o desempenho de sistemas de Economia Circular (baseada em trocas de produtos, sendo entendida como simbiose industrial) em parques industriais intensivos em energia. O estudo utilizou métodos de análise de fluxo de materiais, ACV e análise de redes sociais. A proposta de sua pesquisa era apresentar os benefícios de redução do impacto ambiental das atividades industriais que adotam mecanismos simbióticos. O modelo conceitual de acoplamento simbiótico foi aplicado no parque industrial de *Red Flag Channel*, localizado no nordeste da cidade de Linzhou, na província de Henan, China, destacando, em seus resultados, a importância da colaboração entre as empresas e proximidade geográfica para a implementação bem-sucedida de sistemas de IS.

Negesa et al. (2022) exploraram o desenvolvimento de eco parques industriais na Etiópia, a metodologia escolhida foi um estudo de caso no Parque Industrial de Hawassa. O framework IF-EIP foi criado como uma ferramenta de avaliação de desempenho e conformidade com padrões internacionais de sustentabilidade, dessa forma, ela funciona como um checklist de conformidade com os padrões internacionais. O estudo destacou o papel do desenvolvimento do Parque Industrial de Hawassa na implementação da estratégia de desenvolvimento sustentável, mas identificou limitações, como metas de intensidade de carbono, necessitando de um grande investimento para a reversão desses quadros de emissão

de carbono, investimentos esses que não foram avaliados pelos gestores e falta de dados transparentes devido à opacidade no departamento de gestão e sustentabilidade, evidenciando a necessidade de maior transparência e coleta de informações para aumentar a assertividade dos resultados e diminuir as incertezas dessa abordagem.

Tseng et al. (2021) visaram desenvolver um modelo hierárquico de transição de parques industriais ecológicos com foco na colaboração entre empresas, dessa forma, eles exploraram o papel do quadro político e regulatório na promoção da colaboração entre empresas durante a transição para parques industriais ecológicos. Utilizando métodos Delphi, teoria dos conjuntos difusos e avaliação do processo de tomada de decisão difusa, identificaram a importância do quadro político e regulatório na promoção da colaboração durante a transição. Seus resultados indicam critérios práticos para melhoria, incluindo reformas de preços (haja vista que tinham incentivo governamental para conseguir baixar os valores adotados), comprometimento da gestão (a equipe trabalhava junta com objetivos em comum e todos capacitados com a economia Circular), planejamento estratégico (a alta gestão tinha conhecimento das ações necessárias para a realização dessas atividades), superação de barreiras cognitivas (mudança na cultura organizacional da empresa) e integração eficaz de informações externas (criação de uma estrutura de governança para gerar confiança em compartilhamento de informações entre os envolvidos no ecoparque).

As pesquisas revisadas apontam avanços no entendimento da economia circular (Geissdoerfer et al., 2017; Kirzherr, Reike; Hekkert, 2017), mas também revelam desafios na implementação prática de conceitos como simbiose industrial e ecologia industrial. Modelos como os de Cárcamo e Peñabaena-Niebles (2022) e Xue et al. (2023) enfatizam a importância da troca de resíduos e integração de processos, mas destacam barreiras culturais e institucionais, como a resistência à colaboração e a falta de políticas públicas eficazes. O modelo centralizado da China, embora apresente vantagens na coordenação estatal (Rodríguez-Otero et al., 2023), limita inovações espontâneas observadas no modelo orgânico de Kalundborg (Ahmad-Nielsen et al., 2022), o que ressalta a necessidade de estratégias híbridas que combinem regulação governamental e autonomia empresarial.

A revisão de literatura também destaca a relevância de instrumentos analíticos como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que permite identificar oportunidades para otimizar resíduos e processos produtivos (Reichert; Mendes, 2014; Osman et al., 2023). No entanto, há lacunas práticas, especialmente em economias emergentes, onde frameworks como os propostos por Negesa et al. (2022) e Xue et al. (2023) enfrentam limitações relacionadas à falta

de transparência nos dados e à coordenação interorganizacional. A dependência de proximidade geográfica para maximizar os benefícios da simbiose industrial (Yu; Jong; Dijkema, 2014) e a ausência de indicadores padronizados de circularidade dificultam a avaliação de impactos ambientais e econômicos, reforçando a necessidade de contextualizar soluções para diferentes realidades.

Com isso, a transição para a economia circular depende da transformação cultural nas organizações (Bertassini et al., 2021; Tronvoll et al., 2020). Estudos como os de Kumar et al. (2019) e Ahuja et al. (2019) destacam que a resistência interna, aliada à falta de incentivos financeiros (Latilla et al., 2020), representa um obstáculo crítico para essa realidade. Soluções como promoção de lideranças comprometidas com a circularidade, a educação ambiental e a integração de partes interessadas são fatores indispensáveis para superar essas barreiras (Obal et al., 2020; Jabbour et al., 2018).

Este capítulo forneceu uma visão sobre os conceitos fundamentais da economia circular e dos ecoparques industriais, essenciais para a compreensão do estudo sobre a transição de parques industriais em uma lógica de economia circular. A economia circular destacou a importância da ecologia industrial, simbiose industrial, integração de processos, reciclagem de lixo e metabolismo urbano. Além disso, foram discutidas as dimensões necessárias para a funcionalidade da economia circular, incluindo governança, colocalização de empresas, troca de materiais e mão de obra qualificada. Em seguida, o conceito de ecoparque industrial foi abordado, enfatizando a criação de um ambiente sustentável que integra atividades industriais com práticas ambientais responsáveis. Componentes como incentivo estatal, troca política, P&D, troca de conhecimentos, objetivos comuns e a troca de produtos, materiais, água e energia entre empresas foram detalhados como fundamentais para o sucesso dos ecoparques industriais. Assim, este capítulo estabeleceu as bases teóricas que sustentam a análise e proposta metodológica do estudo para transformar um parque industrial em um ecoparque, promovendo a sustentabilidade e a eficiência no uso de recursos.

### 3 METODOLOGIA

Este estudo realiza uma revisão de escopo para compreender os processos de fabricação, resíduos, produtos e insumos das empresas de um complexo industrial e portuário. Utiliza-se dos documentos de EIA/RIMA para identificar os tipos de empresas presentes no complexo em estudo e, a partir disso, elaborar as strings de busca. Posteriormente, são realizadas entrevistas com gestores das empresas localizadas no complexo industrial e portuário, visando a uma análise de conteúdo. Pesquisas anteriores sugerem três passos metodológicos para alcançar os objetivos de uma transição circular (Kennedy; Cuddihy; Engel-Yan, 2007; Rosado; Niza; Ferrão, 2014; Prendeville; Cherim; Bocken, 2018).

O primeiro passo consiste na busca de informações científicas que confirmem o objetivo da transição, por meio de uma revisão da literatura focada nos processos de fabricação do espaço em estudo, neste caso, um complexo industrial e portuário. O segundo passo envolve a realização de entrevistas com os gestores das empresas do local para coleta de informações. O terceiro é a apresentação de um relatório com as etapas a serem adotadas para a transição para um ecoparque com foco na economia circular (Kennedy; Cuddihy; Engel-Yan, 2007; Rosado; Niza; Ferrão, 2014; Prendeville; Cherim; Bocken, 2018).

#### 3.1 Tipologia

Esta pesquisa é de natureza aplicada (Moresi *et al.*, 2003), pois ela gera conhecimento a partir do confronto da literatura com os processos fabris que ocorrem no complexo industrial e portuário, além de entrevistas com os gestores das organizações, para compreender as oportunidades de Economia Circular que podem surgir dentro desse parque industrial e portuário e sugerir soluções mitigadoras para as problemáticas encontradas em uma lógica de economia circular, com isso, essas soluções propostas são dirigidas à solução de problemas específicos envolvendo os interesses locais. O estudo é de natureza aplicada pois tem como foco resolver um problema prático e fornecer soluções para a transição de um complexo industrial e portuário para uma lógica de economia circular, bem como reflete a intenção de oferecer insights e recomendações práticas para o setor industrial, alinhando teoria à prática e abordando questões como gestão de resíduos e sustentabilidade industrial de maneira direta e aplicável.

Este estudo tem a abordagem qualitativa (Marconi, Lakatos, 2007; Lakatos, Marconi, 2010). Este estudo se concentra na compreensão profunda dos fenômenos associados

à transição para a economia circular em um complexo industrial e portuário. Somado a isso, a pesquisa utiliza estratégias como busca em Relatórios de Impacto Ambiental e Revisão de Escopo, para categorizar produtos, resíduos e processos fabris das empresas no complexo estudado, além de entrevistas com gestores focadas em extrair informações detalhadas e contextuais, que são analisadas por meio de Análise de Conteúdo. O foco na do estudo está na interpretação contextual, com isso, os resultados são interpretados e discutidos no contexto específico do problema de pesquisa.

Além disso, ele está dividido em duas etapas: revisão de escopo e entrevistas. A revisão de escopo versa sobre a sistematização da literatura sobre os resíduos gerados nesse processo, além de trabalhar com dados bibliográficos (artigos), este estudo se apropria de uma análise documental (EIA/RIMA das empresas). A parte das entrevistas é realizada uma análise de conteúdo de entrevistas realizadas com gestores de empresas do complexo. Quanto aos objetivos ela é exploratória (Gil, 2002; Gil, 2008) pois visa compreender fatos emergentes sobre a lógica da economia circular em um complexo que ainda precisa adotar a economia circular. Outro ponto que justifica esta pesquisa ser exploratória é a busca por indícios nas falas de entrevistados que possam ser utilizados para inferir os principais problemas encontrados para transicionar um parque industrial em um ecoparque industrial. Dessa forma, esta pesquisa é exploratória pois investiga um tema emergente e relativamente novo, como a aplicação de práticas de economia circular em ecoparques industriais, utilizando métodos qualitativos (análise de conteúdo) para captar insights e padrões que ainda não estão completamente estabelecidos na literatura.

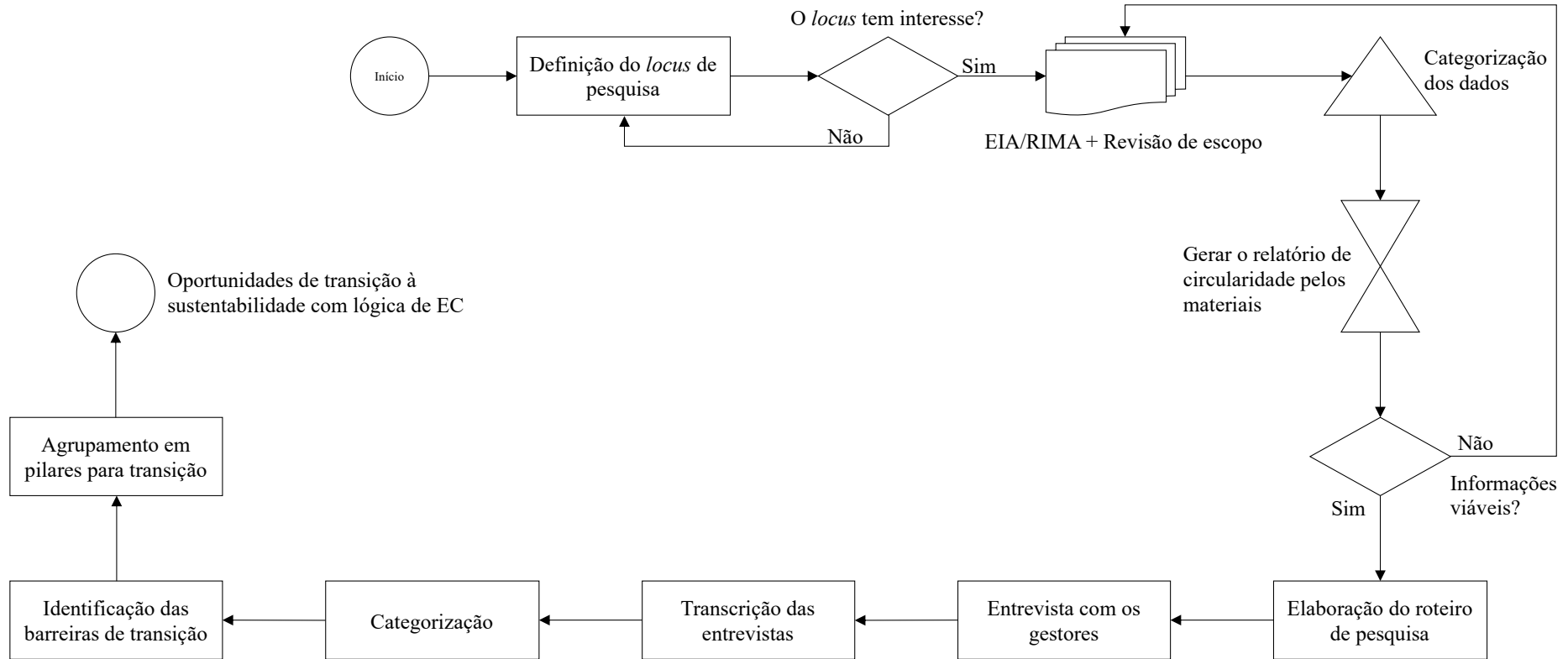
Somado a isso, nas palavras de Godoy (1995) a pesquisa que versa sobre a análise de conteúdo também é descritiva, pois visa a obtenção de dados descritivos obtidos por meio do contato direto do pesquisador com o objeto de estudo. Esta pesquisa é descritiva pois são recolhidas informações mais específicas e detalhadas das entrevistas realizadas com os gestores das organizações presentes no complexo industrial e portuário em estudo, por meio de um questionário semiestruturado, bem como os dados são obtidos por meio de entrevistas (contato direto) no qual o pesquisador teve acesso. Esta pesquisa é descritiva pois identifica e sistematiza pilares para a transição à economia circular em um contexto de complexo industrial e portuário, descrevendo processos, desafios e práticas envolvidas, como as interações entre empresas e o Estado.

### **3.2 Delineamento e design da pesquisa**

Esta pesquisa focaliza sua análise em um complexo industrial e portuário no Ceará. As empresas inseridas neste complexo (fábricas de produção de cimento, placas de aço, pré-moldados de concreto, de ração animal e de fertilizantes, porto, empresa de criogenia, prestadores de serviço e termoelétricas) necessitam compreender os desafios enfrentados e identificar soluções para viabilizar uma abordagem efetiva da Economia Circular.

Para a realização do contato com as empresas situadas no parque industrial e portuário, houve a parceria com a associação empresarial que representa os interesses dos empresários desse complexo industrial e portuário. Com isso, participam do espaço amostral 84 empresas (todas as associadas à associação de empresas do complexo industrial e portuário), contudo, esta pesquisa ocorreu nas empresas que tinham interesse e disponibilidade para participar das etapas deste estudo. A Figura 3 apresenta as etapas de construção desta pesquisa.

Figura 3 - Etapas de execução desta pesquisa



A figura 3 ressalta toda a estrutura metodológica deste estudo, desde a definição no *locus* a ser aplicado, passando pela etapa que mescla os conhecimentos advindos da bibliografia e documental, percorrendo a análise de conteúdo e finalizando com a entrega de soluções para as problemáticas enfrentadas para a transição para uma lógica de economia circular. Com isso, o processo começa com a definição do *locus* de pesquisa, ou seja, o local ou objeto de estudo. Em seguida, verifica-se se o *locus* tem interesse em participar. Caso a resposta seja positiva, realiza-se uma análise envolvendo o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), além de uma revisão do escopo. Com isso, os dados coletados são categorizados, permitindo a geração de um relatório de circularidade pelos materiais.

Na sequência, avalia-se se as informações disponíveis são viáveis. Se forem, passa-se para a elaboração do roteiro de pesquisa. Após essa etapa, são realizadas entrevistas com os gestores, cujas informações são transcritas e categorizadas. Com base nessas categorias, identificam-se as barreiras à transição para a sustentabilidade. Posteriormente, essas barreiras são agrupadas em pilares estruturantes, que ajudam a organizar as oportunidades de transição para um modelo mais sustentável, fundamentado na lógica da Economia Circular. Houve assinatura de termo de sigilo, dessa forma, os critérios éticos foram devidamente definidos e enfatizados, assegurando o compromisso com a confidencialidade dos dados e informações coletados, bem como a garantia de que nenhum participante da pesquisa, seja empresa ou profissional, será identificado individualmente.

### **3.3 Coleta e Análise de dados**

Este trabalho apresenta duas fases para a coleta e análise de dados, a primeira sendo realizada com base na literatura e a segunda é referente a coleta de dados de entrevista para a realização de análise de conteúdo.

#### ***3.3.1 Coleta de dados da Revisão de Escopo e EIA/RIMA***

Em primeiro plano, fez-se necessário entender quais as indústrias que estão presentes no complexo industrial e portuário em estudo, após isso, detalhar quais os processos fabris que elas se apropriam, para depois disso, obter informações e coletar dados de diferentes fontes. Essas fontes incluem EIA/RIMA (disponíveis nos anos 2001, 2008, 2012, 2014, 2016, 2017, 2019) das empresas do complexo e revisão de escopo dos processos fabris delas. Para a realização do último, este estudo opta por utilizar a base de dados Web of Science (por ser uma

base de dados com ampla divulgação e disponibilidade em diversos países, com a presença de variadas revistas científicas de elevado impacto) sem delimitação de tempo (a data utilizada para a coleta foi de dezembro de 2023, por se tratar de um ano finalizado). Somado a isso, justifica-se o termo *Life Cycle Assessment* pela discussão do referencial teórico sobre a institucionalização de resíduos.

Quadro 3 - Strings de busca

Atividade	String
Cimenteira	<i>"cement industry" AND "circular economy" AND "Life Cycle Assessment" (all fields)</i>
Aciaria	<i>"steel industry" AND "circular economy" AND "Life Cycle Assessment"</i>
Nutrição Animal	<i>"animal feed" AND "circular economy" AND "Life Cycle Assessment"</i>
Pá eólica	<i>"wind blade" AND "circular economy" AND "Life Cycle Assessment"</i>
Termoelétrica	<i>"steam thermal power plant" OR "coal-fired" OR "thermal power plant" AND "circular economy" AND "Life Cycle Assessment"</i>
Pré-moldados	<i>"Precast concrete" OR "prefabricated concrete" AND "circular economy" AND "Life Cycle Assessment"</i>
Fertilizantes	<i>"fertilizer*" AND "circular economy" AND "Life Cycle Assessment"</i>
Cerâmica	<i>"Potter*" OR Ceramic* AND "circular economy" AND "Life Cycle Assessment"</i>

No tocante aos critérios de inclusão e exclusão (que é fornecida como parte integrante desta versão de escopo, de forma mais específica, a segunda etapa), foram adotados os critérios disponíveis no Quadro 3. Para a inserção do artigo pré-selecionado no estudo faz-se necessário atender a todos os critérios de inclusão. Para que o artigo seja descartado do estudo, basta que ele não atenda a pelo menos um dos critérios de exclusão.

Quadro 4 - Critérios de inclusão e exclusão dos registros

critério	Pergunta
Inclusão	O artigo aborda diretamente a Economia Circular?
	O artigo explora a aplicação de ACV para avaliar conceitos de economia circular dentro dos segmentos industriais especificados?
	O artigo se concentra em um dos seguintes segmentos industriais: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indústria de cimento?</li> <li>• Indústria siderúrgica?</li> <li>• Alimentação animal?</li> <li>• Fabricação de pás eólicas?</li> <li>• Usinas termelétricas a gás ou usinas a carvão?</li> <li>• Concreto pré-fabricado ou pré-moldado?</li> <li>• Produção de fertilizantes?</li> <li>• Indústrias de cerâmica ou de olaria?</li> </ul>
	O artigo fornece uma descrição clara da metodologia de ACV, incluindo fontes de dados, limites do sistema e pressupostos?
	O artigo aborda ou explora os princípios, estratégias ou práticas da economia circular nos segmentos industriais especificados? Exemplos incluem design de produtos para longevidade ou reuso, reciclagem e recuperação de materiais, eficiência de recursos e redução de resíduos, remanufatura ou

	recondicionamento, responsabilidade estendida do produtor (REP) ou cadeias de suprimento circulares.
Exclusão	O artigo não se relaciona com a interseção da Economia Circular (EC) e da Avaliação do Ciclo de Vida?
	O artigo não é uma publicação revisada por pares, como editoriais, artigos de opinião ou notícias?
	O artigo se concentra em indústrias não relacionadas aos segmentos industriais especificados dentro do escopo da revisão?
	O artigo não atende a vários critérios de inclusão, incluindo relevância para EC e ACV e aplicabilidade aos segmentos industriais especificados?
	O artigo apresenta um viés extremo ou desequilibrado em sua abordagem, comprometendo a imparcialidade e a objetividade?
	O artigo não fornece informações substanciais ou relevantes sobre a interseção de EC e ACV, mesmo que atenda a outros critérios.
	O artigo não está disponível em acesso aberto ou não pode ser acessado de maneira razoável pela equipe de revisão?

Para a realização da seleção inicial dos artigos, este trabalho adotou 3 juízes com expertise no tema (todos os 3 com ampla participação na academia e com pesquisas nas áreas relacionadas, dessa forma, podendo realizar o julgamento de forma criteriosa). Eles realizaram os julgamentos na plataforma de auxílio de revisões sistemáticas de literatura Rayyan, a plataforma é on-line e foi utilizado o modo *blind-on*, para que cada juiz tivesse acesso apenas aos seus trabalhos. Após, foram catalogados e categorizados os insumos, processos fabris, resultados e resíduos de cada artigo selecionado. Concomitante, houve a busca documental nos EIA/RIMA (Estudo de Impactos Ambientais e Relatórios de Impactos ao Meio Ambiente) das empresas no site da Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE (com a mesma finalidade da busca na literatura), sendo realizada a análise por meio de sua leitura e os dados foram extraídos nas categorias processos fabris, insumos, produtos e resíduos.

### ***3.3.2 Análise dos dados da Revisão de Escopo e EIA/RIMA***

Neste estudo, o complexo industrial e portuário foi escolhido para aplicação desta metodologia, pois visa desenvolver a indústria cearense por meio da integração entre atividades portuárias e industriais (Abreu; Mota; Paula, 2020). As fábricas que atuam no complexo industrial e portuário produzem cimento, siderurgia, pré-moldados de concreto, ração animal, fertilizantes, cerâmica, pás eólicas e energia por meio da queima de carvão mineral.

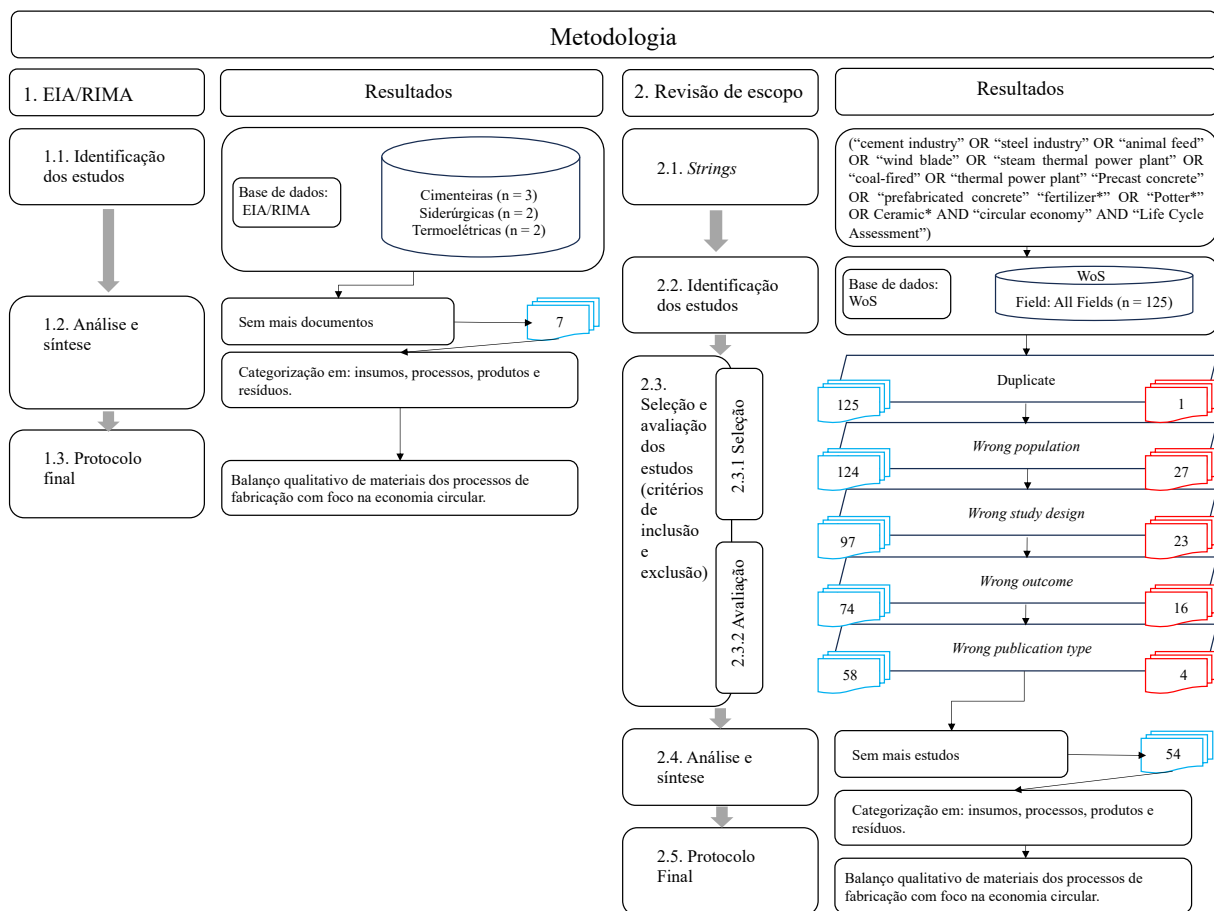
Durante os meses de fevereiro e abril de 2023, 7 documentos de EIA/RIMA foram coletados e analisados por meio de consulta eletrônica e duas visitas à Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), sendo estes EIA/RIMA: 3 de empresas cimenteiras, 2 de siderurgias e 2 de termoeletrica. Em seguida, houve a busca de artigos científicos na base

de dados *Web of Science* no mês de dezembro do ano de 2023. A coleta e análise de dados é baseada na lista verificação *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews* (PRISMA) (Liberati *et al.*, 2009).

Partindo disso, este estudo adotou os seguintes passos para a Revisão de Escopo: (1) identificação das *strings*; (2) estabelecimento de critérios para inclusão e exclusão de estudos; (3) definição das informações a serem extraídas dos estudos relacionados (categorização dos estudos); (4) interpretação dos resultados; (5) apresentação da revisão (síntese do conteúdo) (Munn *et al.* 2018; Pham *et al.* 2014; Tricco *et al.* 2016). Os termos utilizados nesta busca foram: (1) o ramo industrial; (2) economia circular; e (3) avaliação do ciclo de vida. Estes termos foram escolhidos, pois o primeiro delimita o segmento industrial foco, o segundo levanta possibilidades de economia circular neste segmento industrial e o terceiro foca-se nos insumos, processos, produtos e resíduos gerados. Com isto, 125 artigos científicos foram coletados.

Para a realização da seleção inicial dos artigos da revisão de escopo, este trabalho contou com 3 juízes com expertise no tema, sendo eles com perfil de academia, egressos de programas de pós-graduação *stricto sensu* e com atuação no magistério superior, antes dos julgamentos, todos tiveram acesso aos EIA/RIMA das empresas do complexo, pois ele serve como um manual direcionador para a qualidade dos trabalhos selecionados. O primeiro juiz tem formação em engenharia civil e pós-graduação em engenharia ambiental, atuando na escolha dos artigos da cimenteira, aciaria, pá eólica, termoelétrica, pré-moldados e cerâmica, totalizando 55 artigos julgados. O segundo juiz tem formação inicial em engenharia ambiental e auxiliou na escolha de nutrição animal, pá eólica, termoelétrica, pré-moldados e fertilizantes, totalizando 102 artigos julgados. O terceiro juiz tem formação inicial em economia e pós-graduação em pesquisa operacional e julgou os estudos de cimenteira, aciaria, cerâmica, nutrição animal e fertilizantes, totalizando 114 artigos. Após o julgamento, restaram 54 artigos que estavam elegíveis para continuar no estudo e serem lidos na íntegra para a realização da catalogação.

Os julgamentos foram realizados por meio do software Rayyan, plataforma on-line e gratuita para o auxílio de revisões sistemáticas de literatura. O modo *blind on* foi aplicado para que cada juiz tivesse acesso apenas aos seus trabalhos. Nesta perspectiva, foi possível identificar a quantidade de trabalhos a serem utilizados como base desta pesquisa, conforme apresentado na Figura 4.



Na revisão de escopo realizada, após o julgamento dos especialistas, foram selecionados artigos que atendiam aos critérios previamente estabelecidos de inclusão e exclusão, para cada área de estudo específica. Restaram 1 artigo para a pá-eólica, 3 artigos para a termoelétrica, 4 artigos para a pré-moldados, 3 artigos para a cimenteira, 4 artigos para a aciaria, 14 artigos para a nutrição animal, 11 artigos para a cerâmica e 14 artigos para a área de fertilizantes, totalizando 54 artigos.

### 3.3.3 Coleta de dados das Entrevistas

Após a realização da revisão de escopo unida com a análise dos documentos de EIA/RIMA (disponíveis nos anos 2001, 2008, 2012, 2014, 2016, 2017, 2019), foram realizadas seis entrevistas com os gerentes das empresas localizadas no complexo industrial e portuário que aceitaram participar deste estudo. É importante ressaltar que esta dissertação é parte de um projeto de pesquisa financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), intitulado "Políticas Públicas e Respostas Corporativas para Promoção do Desenvolvimento Econômico Sustentável no HUB do Hidrogênio Verde com Ênfase na

Economia Circular" (Processo nº 409549/2022), coordenado pela Professora Dra. Mônica Cavalcanti Sá de Abreu e que houve a assinatura de termos com as empresas para garantir a confidencialidade dos dados obtidos. Além disso, o contato com as empresas, bem como as entrevistas, foi conduzido por um pesquisador do projeto. Esta etapa conta com análise de conteúdo das entrevistas realizadas por meio de roteiro de entrevistas semiestruturado com os gestores das empresas. Entende-se entrevista como um encontro entre duas pessoas ou mais que tenha a finalidade de obter informações científicas sobre um determinado assunto, mediante uma sistematização dos achados (Marconi; Lakatos, 2007).

Os entrevistados foram selecionados com base nas funções que desempenhavam e na participação nas qualificações das empresas do complexo industrial em estudo. Essa condição era essencial devido ao papel do gestor na operacionalização e nos impactos desse processo de entender sobre o papel da Economia Circular em complexos industriais. Northcutt e McCoy (2004) destacam que os sujeitos são definidos como um grupo de pessoas que compartilham uma compreensão comum do fenômeno. Entre as empresas investigadas, a seleção dos participantes foi determinada pela disponibilidade e interesse para participar da pesquisa de maneira interativa.

O roteiro (Apêndice I) conta com cinco blocos de perguntas, contabilizando vinte e uma perguntas, sendo elas divididas em: Políticas e práticas de gestão de resíduos (o entendimento do estágio atual de conhecimentos e técnicas utilizadas pelas empresas), Educação e treinamento (o entendimento sobre a necessidade de haver um compartilhamento de ideias e treinamentos para que haja surgimento de conhecimentos sobre a circularidade), Práticas de economia circular (como atualmente as empresas realizam as práticas de economia circular, quais as preocupações que atualmente existem), Investimento econômico (um importante marco para a realização de um investimento é a obtenção de lucro pelas empresas, dessa forma, é indissociável a necessidade de entender a economia circular como uma estratégia capaz de gerar lucro para as empresas), Percepções sobre Economia Circular (permitir que o gestor apresente a sua percepção sobre a necessidade e viabilidade da economia circular, bem como a sua importância dentro de parques industriais). Com o questionário formulado, parte-se para a aplicação junto aos participantes da pesquisa.

O questionário foi elaborado com base no referencial teórico deste estudo e teve a sua divisão em grandes blocos para facilitar a sua formulação, cada grande bloco adotou uma literatura pertinente para que pudesse haver a confecção dos dados obtidos. Sobre as políticas internas, adotou-se a literatura de Bertassini (2023) e Bertassini et al. (2021) que versam sobre a cultura organizacional voltada para a economia circular, apresentando assim, mudanças

necessárias nas políticas internas das empresas que querem adotar essas práticas, também foram utilizadas para elaborar o bloco sobre as percepções de economia circular. Para o bloco de educação e treinamento, adotou-se a literatura de Oughton et al. (2022), eles asseveram que existe a necessidade de uma mão de obra qualificada para a realização de estratégias de economia circular em complexos industriais. Khan et al. (2020) foram explorados para a formulação de perguntas sobre práticas de economia circular nas empresas, por outro lado, Xue et al., (2023) apresentaram um trabalho que versava sobre os benefícios econômicos e ambientais para empresas de um complexo industrial, por meio de Avaliação do Ciclo de Vida e análise de redes sociais, com isso, foram adotados para a construção do bloco referente a investimento econômico e relacionamento entre atores.

As entrevistas, realizadas com base em um roteiro semiestruturado (Apêndice I), foram conduzidas com os participantes de cada organização, visando explorar indiretamente suas perspectivas sobre o tema em estudo. Embora o roteiro tenha servido como um guia para o pesquisador, as entrevistas foram conduzidas em profundidade, permitindo que os entrevistados narrassem aspectos que consideravam importantes e acrescentassem, ao final, o que julgassem pertinente. As pesquisas ocorrem de forma presencial, dentro de cada empresa, dessa forma, houve a locomoção para a coleta dessas informações. Todas as entrevistas foram gravadas e transcritas na íntegra (foi utilizado a linguagem de programação Python). Ao todo, foram realizadas seis entrevistas que somaram 167 páginas com mais de 10 horas e 30 minutos.

Para a realização da transcrição das entrevistas, adotou-se a linguagem de programação Python, com isso, foi realizada na plataforma on-line denominada Anaconda, pois não há a necessidade de baixá-la em um desktop, podendo rodar em uma máquina virtual. Para isso, será necessário baixar o código de transcrição, `<!pip installgit+https://github.com/openai/whisper.git>`, conforme observado, ele é disponibilizado de forma pública na página do github. Após a realização do download do pacote de transcrição, fará necessário atualizar a lista de pacotes disponíveis no sistema e, em seguida, instalar o pacote "ffmpeg" usando o gerenciador de pacotes "apt" `<!sudo apt update && sudo apt install ffmpeg>`. O uso do "sudo" garante que esses comandos sejam executados com permissões de superusuário. Por fim, será feito o upload do arquivo para a plataforma on-line, dessa forma, o arquivo precisa estar em uma pasta que seja a mesma que o software esteja habilitado a rodar, com isso, o arquivo nomeado deve subir com seu respectivo nome por um comando e o seu formado dever ser .mp3, conforme o comando `<!whisper "Nome_Entrevista_1.mp3" --model large --language Portuguese>`. A linguagem de transcrição deve ser indicada.

Os critérios éticos foram esclarecidos e destacados, juntamente com o compromisso de manter a confidencialidade dos dados e informações, garantindo a não identificação individualizada dos participantes da pesquisa (empresas e profissionais). A presente dissertação integra o projeto de pesquisa financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), intitulado "Políticas Públicas e Respostas Corporativas para Promoção do Desenvolvimento Econômico Sustentável no HUB do Hidrogênio Verde com Ênfase na Economia Circular" (Processo nº 409549/2022).

### ***3.3.4 Análise de dados das Entrevistas***

Para a análise dos dados, foi utilizada a técnica de análise de conteúdo, que é um método qualitativo com legitimidade no campo da produção científica (Mozzato; Grzybovski, 2011). A análise de conteúdo é uma técnica refinada que requer dedicação, paciência e tempo do pesquisador, que deve usar sua intuição, imaginação e criatividade, especialmente na definição das categorias de análise. Disciplina, perseverança e rigor são, portanto, essenciais para este processo (Freitas et al., 1997). Como afirma Chizzotti (2006, p. 98), “o objetivo da análise de conteúdo é compreender criticamente o sentido das comunicações, seu conteúdo manifesto ou latente, as significações explícitas ou ocultas”. A análise de conteúdo constitui num conjunto de instrumentos metodológicos que asseguram a objetividade, sistematização e influência aplicadas aos discursos (Barros; Lehfeld, 2021).

Para a realização da análise de conteúdo, houve a exploração da literatura de Bardin (2011) sobre a “análise de conteúdo”. Este método compreende três etapas essenciais, começando pela pré-análise, na qual delimita-se o objeto de estudo. Em seguida, adentra-se na fase de exploração do material, na qual realiza-se a codificação do *corpus* (organização e catalogação). Por fim, no tratamento dos resultados, os dados codificados são analisados em profundidade, interpretados à luz das hipóteses iniciais, validados por métodos adicionais e apresentados de forma clara, destacando descobertas e implicando discussões teóricas e práticas.

No Design de Pesquisa, nas palavras de Bardin (2011), é fundamental articular o fenômeno de interesse e formular perguntas de pesquisa (questionário) que visem a revelar as relações entre os conceitos envolvidos. Durante a fase referente a Coleta de Dados, os informantes são tratados como agentes conhecedores (são contactadas pessoas que são referências na área escolhida para o estudo), com suas vozes sendo valorizadas. A flexibilidade é mantida para ajustar o protocolo de entrevista (recomenda-se um questionário

semiestruturado) com base nas respostas dos informantes, e há a possibilidade de "voltar atrás" para perguntar a informantes anteriores com base em entrevistas subsequentes.

Na Análise de Dados, inicia-se com a codificação inicial dos dados, preservando a integridade dos temas, centrados nos informantes, este estudo chamou de principais resultados. Uma compilação desses termos é desenvolvida, organizando-os com base na teoria disponível, sendo classificado como unidade de contexto. Esses temas são então destilados em dimensões mais amplas, se aplicável, e são montados em uma estrutura de dados transformados em informação. A última etapa é referente a Articulação da teoria fundamentada que este estudo denominou de Categoria de Análise e ela é extraída dos estudos.

Para a exploração do material, foi efetuada a codificação e categorização das informações coletadas nas entrevistas, com isso um total de 45 códigos foram obtidos, sendo 17 códigos *a priori* nomeados de categorias de análise e unidades de contexto, os quais originaram-se da literatura embasadora da pesquisa, e 28 códigos *a posteriori* nomeados de unidades de registro, os quais originaram-se a partir das percepções dos entrevistados. Após a categorização dos estudos, identificando o que cada excerto dos textos transcritos apresentava como problemática para a realização deste estudo foi possível definir as oportunidades de Economia Circular para transicionar um parque industrial em uma lógica mais sustentável.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os principais resultados oriundos da revisão de escopo somado os documentos de EIA/RIMA sobre as empresas do complexo industrial e portuário, bem como a apresentação da categorização em: insumos, processo fabril, produtos e resíduos, com as entrevistas realizadas com os gestores dos empreendimentos localizados em um complexo industrial e portuário localizado no estado do Ceará.

### 4.1 Resultados da Circularidade por trocas materiais

Este estudo sistematiza 54 artigos provenientes para a revisão de escopo e os 7 documentos de EIA/RIMA. Após isso, extraem-se as informações necessárias para iniciar o processo de transição de parques industriais rumo à economia circular, sendo eles: insumo, processos fabris, produto e resíduos gerados). O Quadro 5 apresenta o modelo de negócios de forma linear (com os insumos que cada empresa produz, somado ao seu processo fabril, seus produtos e os resíduos gerados). Alguns destes resíduos podem ser incorporados como insumos de processos industriais dentro do complexo, implicando no aumento da circularidade no complexo industrial e portuário. Essa prática pode trazer inúmeros benefícios para organizações como mitigação dos impactos ambientais e aumento da vida útil de um resíduo (Ghisellini; Cialani; Ulgiati, 2016).

A escória é subproduto da fundição de metais ou da produção de aço e consiste em materiais não metálicos e impurezas que são separadas do metal durante o processo de fusão (Uddin et al., 2023; Ren et al., 2017; Perathoner et al., 2021), sendo rica em sílica e alumina, dois componentes cruciais na composição do cimento. Portanto, este resíduo pode ser empregado como um substituto total ou parcial do clínquer, que é o principal componente do cimento (Perathoner et al., 2021). Outra aplicação da escória como insumo é no processo produtivo do concreto. Inclusive, a incorporação da escória neste processo produtivo implica em melhora na resistência à compressão e abrasão e na durabilidade do concreto. Por fim, um último uso da escória como insumo seria no processo produtivo de asfalto e outros materiais de construção (Pinto; Diemer, 2020). Outro resíduo produzido é a cinza proveniente do processo produtivo de termoelétricas. Por ser rica em sílica e alumina, este resíduo aumenta a resistência do cimento à abrasão e à fissuração, tornando mais durável e resistente (Batuecas et al., 2022; Uddin et al., 2023). Os resíduos sólidos de produção da pá eólica, cimento e concreto também podem ser utilizados para a incorporação no cimento, por meio de processo físico da tritura (Batuecas *et al.*, 2021).

Durante o processo de produção de fertilizantes é formado o lodo por meio do tratamento anaeróbico. Este lodo é rico em gás metano e pode ser utilizado na produção de energia, o biogás. A queima do biogás, por sua vez, gera cinzas, que podem ser direcionadas para a produção de cimentos e pré-moldados de concreto (Rufi-Salís et al., 2020). O Plano de Ações Estratégicas de Recursos Hídricos do Estado do Ceará prevê a operação de uma estação produtora de água de reúso para abastecimento do complexo industrial e portuário. Esta estação será abastecida por meio de efluentes advindos de efluentes urbanos captados da Região Metropolitana de Fortaleza (Ceará, 2018). O lodo surge como resultado do tratamento de efluentes. Este material pode ser utilizado na produção de fertilizantes por meio da formação de cristais de estruvita. Três processos são empregados para a formação dos cristais de estruvita: (1) REM-NUT®, que é um processo baseado em troca iônica que pode recuperar fósforo na forma de estruvita a partir do efluente tratado secundário, adicionando  $Mg^{2+}$  para cumprir a relação estequiométrica e precipitando a estruvita; (2) Ostara® que requer um reator específico e produtos químicos com  $Mg^{2+}$  e  $NH_4^+$  para precipitar a estruvita do digestato; e (3) AirPrex® que também envolve a adição de  $Mg^{2+}$  via cloreto de magnésio antes de entrar no reator AirLift, onde a aeração intensa é adicionada por meio de *stripping* de  $CO_2$  para aumentar o pH e produzir cristais de estruvita no fundo do reator (Rufi-Salís et al., 2020).

As partículas finas são resíduos resultantes do processo de produção de cerâmica e de pré-moldados, sendo elas são um tipo de poluente atmosférico que se refere a partículas sólidas ou líquidas com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 micrômetros (PM 2,5) ou 10 micrômetros (PM 10). Estas partículas podem ser inaladas e até mesmo entrar na corrente sanguínea, causando uma série de problemas de saúde, incluindo doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer (Blundo et al., 2019). As partículas finas podem ser inseridas no processo produtivo de concreto ou asfalto, desde que sejam submetidos a processos químicos para que sua toxicidade seja eliminada (Perathoner et al., 2021).

Notou-se que todas as empresas de produção de cimento, de aço, de pré-moldados e termoelétrica emitem os gases de efeito estufa e que elas têm uma similaridade na emissão sendo eles:  $CO_2$  (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono),  $CH_4$  (metano),  $NO_x$  (óxidos de nitrogênio),  $N_2O$  (óxido nitroso),  $SO_2$  (dióxido de enxofre), HCl (ácido fluorídrico) e HCL (ácido clorídrico). Esses gases podem ser utilizados para produzir fertilizantes seguindo as etapas: (1) processo de conversão catalítica, no qual o nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) é transformado em óxido nitroso ( $N_2O$ ) (Sem; Bakshi, 2023); (2) o óxido nitroso é submetido a uma reação com hidrogênio ( $H_2$ ), resultando na formação de amônia ( $NH_3$ ) (Mohammed et al., 2018). A amônia produzida desempenha um papel essencial na fabricação de fertilizantes

nitrogenados, como ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônia (Aleisa; Alsulaili; Almuzaini, 2021). O processo de produção da amônia mais difundido é o método Haber-Bosch, caracterizado por requerer alta pressão e temperatura (Humphreys; Lan; Tao, 2021).

Quadro 5 – Categorização dos estudos de Revisão de Escopo e EIA/RIMA

Indústria	Insumos	Processos Fabris	Produto	Resíduos	Referências
Cimenteira	Calciário, argila, minério de ferro, gesso, areia e cinzas de carvão.	Moagem, mistura, cozimento, moagem de clínquer.	Cimento, clínquer.	Gases de efeito estufa (CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , NO <sub>x</sub> , N <sub>2</sub> O e SO <sub>2</sub> ) e compostos orgânicos voláteis (VOCs), partículas finas (PM 2,5 e PM 10) e metais pesados (As, Cr, Hg e Ni).	Uddin et al. (2023); Batuecas et al. (2022); Perathoner et al. (2021); Apodi (2019); Votorantim (2014); Polimix (2016).
Aciação	Sucata de aço, minério de ferro, coque, carvão e calcário.	Fusão, refino e laminação.	Aço	Escória, poeira, gases e águas residuais.	Broadbent (2016); Pinto e Diemer (2020); Minunno (2020); Li et al. (2022); Dong et al. (2016); ArcellorMittal (2017); Gerdau (2012).
Nutrição Animal	Proteína, água, resíduos de alimentos e grãos.	Mistura, granulação, embalagem.	Ração.	Resíduos de produção, coprodutos de compostagem, CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O e VOCs.	Campos et al. (2020); Jagtap et al. (2021); Viana, et al. (2023); Laso et al. (2018); Teigiserova, et al. (2022); Petit et al. (2020); Ojha et al. (2020); Oldfield et al. (2017); San Martin et al. (2021); Albizzati et al. (2021); Owsianiak et al. (2022); Sanchez et al. (2021); Suckling et al. (2021).
Pá Eólica	Fibra de carbono, fibra de vidro e epóxi	Fabricação, moldagem e montagem.	Pás eólicas.	Retalhos de material e resíduos de fabricação.	Ghosh et al. (2022).
Termoelétrica	Carvão, gás, biomassa, água, O <sub>2</sub> , resíduos orgânicos, inorgânicos, inertes para produzir biogás, lama vermelha e escória (alumínio e carboneto).	Combustão, geração de eletricidade.	Energia	Cinzas, águas residuais, gases (CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO e CH <sub>4</sub> ), metais pesados (Zn, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb e V) e compostos orgânicos voláteis não metano (NMVOC).	Asif et al. (2022); Rathore e Sarmah (2020); Ren et al. (2017); MPX (2001); Termolux (2008).
Pré-Moldados	Concreto, aço, madeira, cimento e agregados (areia, cascalho e pedra britada,) água, partículas sólidas (fly ash), cimento, água, areia, superplastificante e lixos de construção e demolição (CDW).	Moldagem, cura, acabamento.	Produtos pré-moldados.	Gases de efeito estufa (CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , Nox, N <sub>2</sub> O e SO <sub>2</sub> ) e compostos orgânicos voláteis (VOCs), partículas finas (PM2,5 e PM10) e metais pesados (As, Cr, Hg e Ni).	Zhang et al. (2023); Yu et al. (2024); Zengfeng et al. (2020); Moreno-Juez et al. (2020).
Fertilizantes	Nitrogênio, Cálcio, silício, fósforo, potássio, estruvita, materiais orgânicos, herbicida, amônia, águas residuais tratadas, fosfato, magnésio, NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> , estruvita, lodo, esterco, resíduos sólidos municipais (MSW), resíduos lignocelulósicos, fosfogesso e compostagem.	Mistura, granulação, gaseificação e purificação.	Fertilizantes.	lodo purgado e cinzas.	Colley et al. (2021); Pagliaro et al. (2022); Rufi-Salis et al. (2020); Moller et al. (2023); Cobo et al. (2019); Taifouris e Martin (2018); Aleisa, Alsulaili e Almuzaini (2021); Li et al. (2022); Mohammed et al. (2018); Sen e Bakshi (2023); Pajura, Maslón e Czarnota (2023); Antonetti et al. (2017).
Cerâmica	Argila, feldspato, areia, água e carbonato de cálcio.	Moldagem, secagem, queima e esmaltação.	Produtos cerâmicos.	Resíduos de produção (quebras) e Gases poluentes (CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , HF e HCl).	López-García et al. (2021); Silvestri et al. (2021); Bianchi et al. (2023); Barbosa et al. (2022); Barraco et al. (2023); Cangussu, Vasconcelos e Maia (2023); Zygmuntowicz et al. (2021); Dino et al. (2020); Simão et al. (2022); Gaibor et al. (2023); Blundo et al. (2019).

Além disso, na indústria de fertilizantes, o CH<sub>4</sub> pode ser empregado na produção de fertilizantes nitrogenados (Colley et al., 2021; Li et al., 2022). O CO<sub>2</sub>, por sua vez, é útil na fabricação de fertilizantes fosfatados, como superfosfato simples e superfosfato triplo (Cobo et al., 2019). Essa abordagem de reaproveitamento de gases residuais é um aspecto significativo da eficiência e sustentabilidade na indústria de fertilizantes, contribuindo para a otimização dos recursos e a redução do impacto ambiental (Colley et al., 2021).

Outrossim, a utilização desses gases residuais pode ser a produção de ração (Teigiserova, *et al.*, 2022). O metano, produzido a partir da digestão anaeróbica de matéria orgânica, como dejetos de animais pode ser empregado diretamente na produção de ração (Laso *et al.*, 2018). Da mesma forma, o CO<sub>2</sub> e a NH<sub>3</sub> podem ser utilizados na produção de ração por meio da fermentação (Laso et al., 2018). A utilização de gases residuais na produção de ração emerge como um desafio tecnológico para o complexo industrial, pois necessita de atenção para as técnicas requeridas (Ojha et al., 2020).

Empresas de produção de pré-moldados em contratos e cimenteiras apresentaram, com base na literatura, o resíduo Composto Orgânico Volátil (VOCs), que é uma categoria de poluentes atmosféricos não metálicos. Em geral, VOCs são compostos químicos orgânicos que têm baixo ponto de ebulição e alta pressão de vapor, o que significa que eles podem facilmente evaporar e se tornar gases na atmosfera (Yu et al., 2024). Muitos VOCs são prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, e são frequentemente emitidos por processos industriais, produtos químicos, solventes, combustíveis e outras fontes. Contudo, os artigos não especificaram esses compostos e não mencionaram possibilidades de circularidade entre as empresas do complexo industrial, nesta perspectiva, orienta-se a destinação destes resíduos para um aterro sanitário industrial.

Na mesma situação, a literatura também evidencia que empresas como cimenteira, termoeletricas e pré-moldados geram metais pesados como resíduos, sendo eles: As (arsênio), Cr (cromo), Hg (mercúrio), Ni (níquel), Zn (zinco), Pb (chumbo), V (vanádio). Eles se encontram sem circularidade comprovada pela literatura, com isso, também se indica o seu direcionamento um aterro sanitário industrial. Estes elementos, nas palavras de Zhang et al. (2023), se forem descartados de forma inadequada podem causar contaminação da água, do solo, do ar e afetar toda a cadeia da biosfera implicando em uma ameaça à saúde humana.

O estudo sobre a catalogação dos resíduos serve como uma ferramenta para conduzir entrevistas com os gestores do parque industrial em estudo, ao oferecer uma metodologia estruturada para a transição rumo à economia circular. Essa metodologia, baseada no mapeamento de processos produtivos e resíduos, permite orientar as entrevistas com foco em entender as práticas atuais de gestão de insumos, processos fabris, produtos e resíduos gerados pelas empresas do parque. Dessa forma, é possível explorar com os gestores como essas atividades são conduzidas e quais oportunidades de melhoria podem ser identificadas no contexto da economia circular. Além disso, a metodologia proporciona um ponto de partida para discutir com os gestores as possíveis oportunidades de circularidade, como o reaproveitamento de resíduos entre empresas do parque. As entrevistas permitirão identificar especificidades sobre o parque industrial em questão.

#### 4.2 Resultado das entrevistas com gestores

Inicialmente, é importante delinear o perfil dos respondentes, respeitando a ordem cronológica em que cada entrevista foi conduzida, para isso, houve a confecção do Quadro 6. Para preservar a identidade dos participantes, optou-se por adotar o termo "C" seguido de um número sequencial, criando assim um pseudônimo para cada gestor entrevistado. Essa abordagem garante o anonimato e a confidencialidade dos dados coletados, conforme os princípios éticos de pesquisa.

Quadro 6 - Perfil dos respondentes

<b>Empresa</b>	<b>Atividade Industrial</b>
C1	Gestão Portuária
C2	Cimenteira 1
C3	Cimenteira 2
C4	Tratamento de Efluentes
C5	Siderurgia 1
C6	Pá eólica

A partir dessas entrevistas, foi possível obter uma compreensão sobre as práticas de gestão, os desafios específicos de cada setor e as perspectivas futuras dos empreendimentos localizados no complexo industrial e portuário do Ceará para então gerar oportunidades de Economia Circular que orientem a transição para uma lógica mais sustentável. Os dados coletados fornecem uma base para a análise e discussão dos resultados, permitindo identificar tendências, oportunidades e áreas de melhoria para os gestores desses empreendimentos.

Por adotar a teoria de Bardin (2011) para a realização da análise de conteúdo, este capítulo está dividido em quatro subcapítulos, sendo cada um deles referentes às categorias de análise que foram identificadas neste estudo, sendo representadas como explicações amplas e que precisam de um detalhamento descritivo. Dentre dos capítulos há a divisão em subcapítulos, respeitando as unidades de contexto que foram adotadas no estudo. Ao final de cada capítulo, são apresentadas as problemáticas identificadas, para assim, gerar as oportunidades de Economia Circular. Por fim, há um quinto subcapítulo, ele é referente à síntese dos resultados obtidos, apresentando as categorias de análise, as unidades de contexto, os principais resultados e as oportunidades de economia circular.

#### ***4.2.1 Controle Institucional***

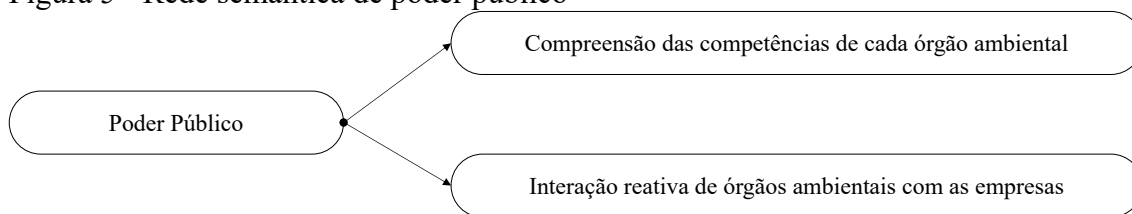
A transição de parques industriais para ecoparques exige uma participação ativa e estratégica do poder público, que deve atuar como facilitador desse processo. O Estado, por meio de órgãos reguladores e normativos, desempenha um papel de controle, desde a exigência de documentações até o monitoramento contínuo das atividades. Para garantir que essa transição ocorra de maneira eficaz, é fundamental que as normas e leis sejam robustas, evitando lacunas que possam fragilizar o controle institucional, ao mesmo tempo em que incentivos financeiros podem ser oferecidos para fomentar a adesão das empresas a práticas mais sustentáveis. No entanto, a relação entre empresas e órgãos reguladores, como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), revela uma série de desafios, principalmente na questão de dúvidas sobre o licenciamento ambiental e competência dos órgãos. Nesta seção, são discutidos os impactos da atuação do poder público e os desafios regulatórios enfrentados pelas empresas no contexto da economia circular.

##### ***4.2.1.1 Poder público***

Para a transição de um parque industrial na lógica de um ecoparque, urge-se que o Estado participe do processo. O Estado pode incentivar a formação de um ecoparque, desde o monitoramento constante das atividades, até o ato de exigir os documentos para a instalação, contudo, as leis e normas não podem ser frágeis podendo

até proporcionar incentivos financeiros para as empresas do ecoparque. A figura 5 compreende a rede semântica sobre o poder público.

Figura 5 - Rede semântica de poder público



O participante C1 informa que, enquanto a SEMACE cuida das condicionantes e do licenciamento ambiental de áreas fora do terminal de resíduos, o IBAMA é responsável pela parte dentro do terminal. Embora a SEMACE tenha realizado o licenciamento de empresas em uma área específica do porto, o IBAMA mantém sua autoridade sobre o terminal. A fala ilustra a complexidade e as competências de cada órgão ambiental (federal e estadual).

Com isso, o participante C2 menciona a que a empresa que está inserida no complexo industrial passa por uma reestruturação interna e tenta de melhorar a relação com a SEMACE. No entanto, ele destaca a falta de apoio contínuo tanto da SEMACE quanto do IBAMA, mencionando que a interação é limitada e geralmente reativa, ocorrendo apenas em situações específicas, geralmente em fiscalizações. Somado a isso, ele informa que há uma confusão para entender de qual órgão é a competência para realizar determinadas ações, criando um gargalo para a conversa com os órgãos ambientais. Contudo, as competências de cada órgão estão definidas em leis próprias conforme observado em Brasil (1989) e Ceará (2015).

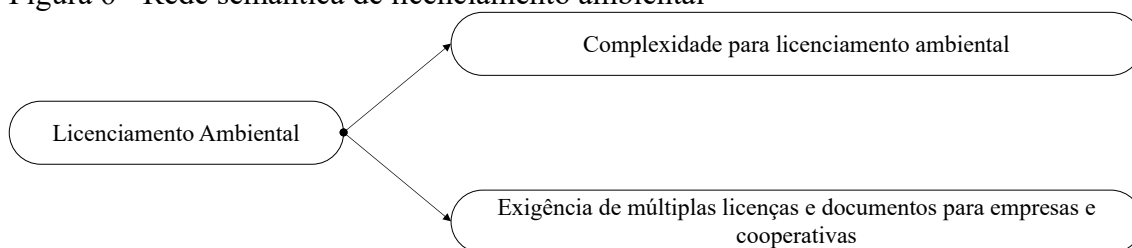
Essa dinâmica sobre gestão pública é observada pela distinção do entendimento sobre as competências de cada esfera da gestão pública ou órgão. A próxima seção é referente ao processo de licenciamento ambiental.

#### 4.2.1.2 Licenciamento ambiental

O Participante C3 menciona a necessidade de notas condicionais e a complexidade de obter licenças para a entrega de resíduos para outras empresas, indicando que é um processo burocrático que impede a execução de projetos com outras empresas de forma espontânea, tendo a necessidade de ter as devidas licenças ambientais.

O participante C3 ainda explica que em uma unidade de sua empresa, a relação com o órgão ambiental é focada no licenciamento e apresentação de notas condicionais, sem projetos diretos. Já na outra, eles realizam avaliações anuais dos receptores de resíduos, garantindo que estes tratem os resíduos de forma adequada antes de enviá-los, priorizando a segurança na destinação correta. A figura 6 apresenta a rede semântica de licenciamento ambiental.

Figura 6 - Rede semântica de licenciamento ambiental



O participante C3 complementa sua ideia informando sobre a impossibilidade de destinar alguns resíduos devido a ausência de licenciamento de organizações, sendo assim, um empecilho. O participante C1 destaca a necessidade de uma vasta documentação para que as empresas possam operar, além do licenciamento final que deve ser aprovado, mostrando a burocracia exigida pelas regulamentações vigentes. Ela também entra em acordo com o participante C3 ao mencionar a burocracia enfrentada devido ao licenciamento ambiental.

Outro empecilho para a economia circular em parques industriais foi relatado pelo participante C5, ele menciona a dificuldade de cooperativas em obter a documentação necessária, mostrando a burocracia que impede a formalização de parcerias.

#### **4.2.2 Capacidade Organizacional**

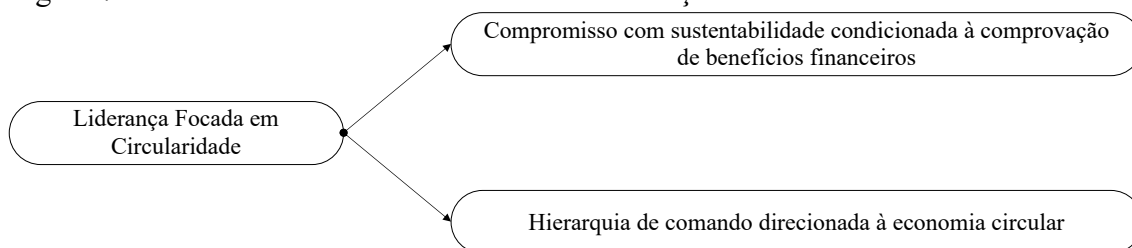
A capacidade organizacional também desempenha um papel na transição de modelos de parques industriais tradicionais para uma lógica de economia circular. A implementação de práticas sustentáveis dentro de um complexo industrial depende diretamente da qualidade da liderança, da qualificação da mão de obra e de incentivos eficazes para promover uma cultura de circularidade. Nesta seção, são discutidos fatores que afetam a capacidade de uma organização adotar estratégias ambientais, como o papel da liderança focada em circularidade, a necessidade de qualificação da mão de obra para

a gestão ambiental, e a importância de incentivos financeiros como remuneração variável e premiações. Além disso, a colaboração entre empresas dentro de um complexo industrial é um elemento chave para o sucesso da economia circular. No entanto, a falta de adesão em fóruns temáticos e a percepção limitada dos benefícios de práticas sustentáveis podem dificultar essa transição. Esta seção explora como a capacidade organizacional, quando adequadamente desenvolvida, pode transformar a gestão ambiental e fortalecer a sustentabilidade em ecossistemas industriais.

#### 4.2.2.1 Liderança Focada em Circularidade

Nesta seção do estudo, os entrevistados C3 e C4 destacaram a necessidade de uma liderança forte e um apoio ambiental para promover a economia circular. As entrevistas apontaram que a burocracia é um obstáculo que indica lacuna na liderança eficaz em alguns níveis organizacionais, principalmente nos mais altos. Além disso, C1 afirma que a organização que está inserido evoluiu em seu entendimento de economia circular, mas a necessidade de justificar financeiramente os benefícios aponta que é um compromisso limitado da liderança com práticas sustentáveis, visando mais um benefício econômico do que ambiental. Com isso, a Figura 7 apresenta a rede semântica de liderança focada em circularidade.

Figura 7 - Rede semântica de necessidade de liderança focada em circularidade



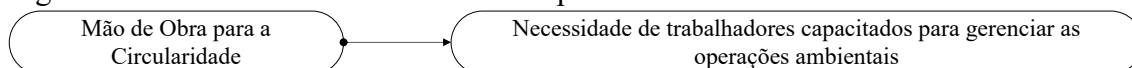
Os entrevistados informaram que há a necessidade de uma liderança forte e uma área ambiental que apoie iniciativas de economia circular. Na entrevista com o participante C3, há a sugestão, pelo menos em parte, que existe uma liderança influente na área ambiental. Somado a isso, com o aumento da dificuldade demandada, há a necessidade de recorrer a níveis mais altos na cadeia de comando, implicando em maior complexidade nas tomadas de decisão (dependendo de cada caso observado) e uma maior dependência de supervisão estratégica.

Somado a isso, C4 assevera que a organização que está presente evoluiu sobre o entendimento de economia circular, mencionando que no presente houve uma melhoria nesses termos. No entanto, menções sobre a necessidade de “colocar na ponta do lápis” os benefícios para obter apoio sugere a necessidade de demonstração clara dos benefícios financeiros. Na próxima seção se destaca a necessidade de ter profissionais capacitados para realizarem as atividades demandadas voltadas para a circularidade.

#### 4.2.2.2 Mão de Obra para a circularidade

A insuficiência de mão de obra qualificada é um problema significativo que impacta negativamente a gestão ambiental. A falta de pessoal adequado impede a implementação eficiente de operações ambientais, o que pode resultar em falhas na conformidade com as regulamentações ambientais e na gestão de resíduos. Com isso, o participante C3 informa que a carência de profissionais capacitados para gerenciar as operações ambientais ampliadas pode levar a uma série de problemas, incluindo a degradação ambiental, multas regulatórias, e uma imagem corporativa prejudicada. Empresas que não conseguem atender às demandas ambientais de maneira eficaz correm o risco de enfrentar sanções e perder a confiança dos stakeholders. A figura 8 apresenta a rede semântica de mão de obra para a circularidade.

Figura 8 - Rede semântica de mão de obra para a circularidade



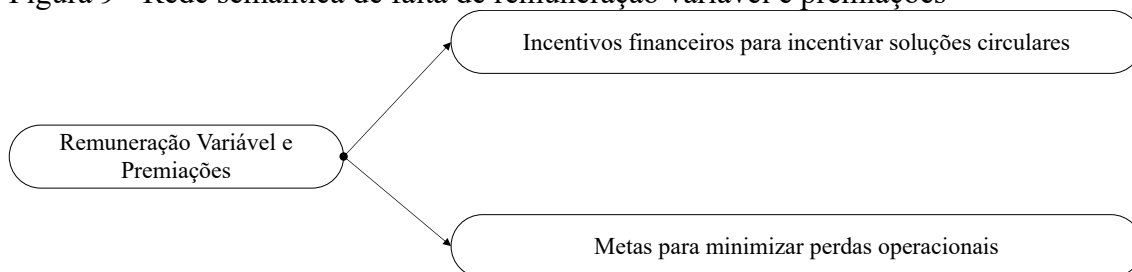
A participante C4 menciona que a empresa que está inserida começou a mudar sua abordagem quando a governança corporativa enfatizou que resíduos não deveriam ser tratados como lixo. Esse foco trouxe seriedade e empenho, permitindo a criação de uma área dedicada à gestão de resíduos e o início de práticas mais sustentáveis, precisando de empregados qualificados para as novas atribuições de práticas circulares. A conscientização e o esforço coordenado melhoraram a gestão de resíduos. A mudança de mentalidade e a remoção de barreiras resultaram em um aumento no reaproveitamento e uma diminuição no aterramento de resíduos. Isso demonstra como a governança e a liderança podem influenciar positivamente as práticas ambientais dentro de uma organização. Somado a isso, o participante C2 destaca a complexidade de implementar

práticas ESG (ambientais, sociais e de governança) em áreas de vulnerabilidade social. O participante C2 complementa com os desafios enfrentados pelos pequenos fornecedores, incluindo questões de segurança e trabalhistas, dessa forma, tem-se que manter a segurança trabalhista como um fator para práticas ESG. A seção seguinte destaca a questão referente a remunerações variáveis e premiações.

#### 4.2.2.3 Remuneração Variável e Premiações

O participante C6 ilustra a importância da participação dos colaboradores e a implementação de suas ideias inovadoras para melhorar a gestão de resíduos nas empresas. Enquanto aborda a participação dos colaboradores, ele sugere, mas não detalha explicitamente, como a falta de incentivos financeiros e a integração do reaproveitamento de resíduos às metas de remuneração variável são questões que foram parcialmente resolvidas pelo programa de reconhecimento de ideias presente na empresa em que trabalha, com isso, a figura 9 compreende aos resultados que indicam a remuneração variável e premiações.

Figura 9 - Rede semântica de falta de remuneração variável e premiações



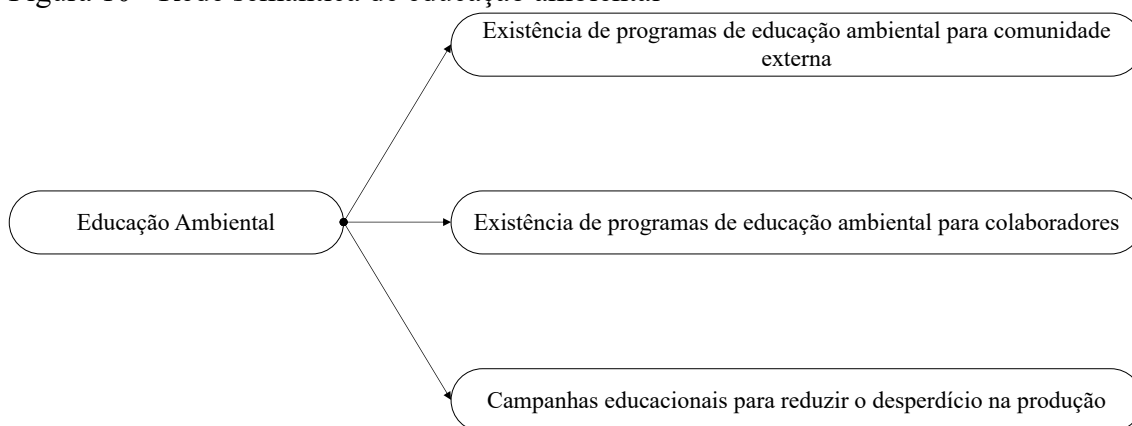
O participante C6 menciona a necessidade de haver sistema que incentive financeiramente ideias de colaboradores para incentivar ideias com soluções em circularidade para as operações empresariais. Essa necessidade fica ainda mais evidente quando os participantes C2, C4 e C5 informam que não possuem mecanismos de incentivo em remuneração variável e premiações em suas organizações. Dessa forma, abre margem para a proposição de soluções que abordem essa problemática. Somado a isso, o participante C3 informou que o controle de perdas operacionais e produtivas faz parte da remuneração variável de todas as áreas da empresa. Cada área possui metas relacionadas à redução dessas perdas, e o desempenho é monitorado mensalmente. Os

funcionários são responsabilizados por minimizar essas perdas, o que afeta diretamente sua remuneração. A próxima seção destaca a questão da educação ambiental.

#### 4.2.2.4 Educação Ambiental

O participante C1 informa que existe um programa de educação ambiental em sua empresa, contudo, ele funciona de forma externa, para a comunidade. Este trecho destaca a implementação de um programa de educação ambiental focado em pescadores e marisqueiras. O participante C6 descreve a existência de uma plataforma de aprendizado na empresa, indicando um sistema bem estruturado para capacitações e treinamentos, incluindo aspectos de segurança e educação ambiental. Tendo base o exposto, o a figura 10 apresenta a rede semântica de educação ambiental.

Figura 10 - Rede semântica de educação ambiental



O participante C1 informa que existe um programa de educação ambiental em sua empresa, contudo, ele funciona de forma externa, para a comunidade. Este trecho destaca a implementação de um programa de educação ambiental focado em pescadores e marisqueiras, mas não menciona a continuidade da comunicação após o início do programa, apontando para a necessidade de uma discussão contínua sobre a importância da educação ambiental. O participante C6 descreve a existência de uma plataforma de aprendizado na empresa, indicando um sistema bem estruturado para capacitações e treinamentos, incluindo aspectos de segurança e educação ambiental. No entanto, essa é uma exceção e não a regra, apontando para uma necessidade geral de mais programas semelhantes em outras empresas.

Já o participante C2 fala sobre a conscientização para reduzir resíduos, especialmente em processos produtivos, e a necessidade de campanhas contínuas. Isto

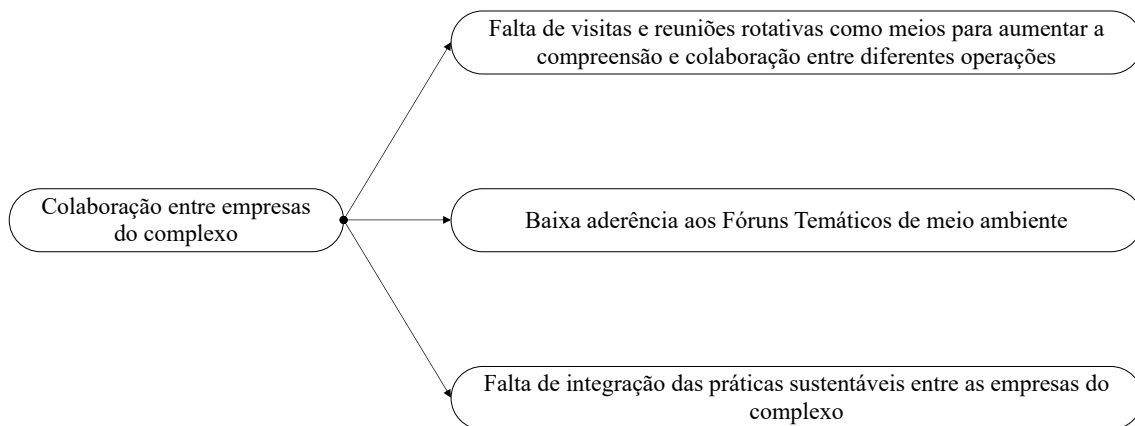
mostra que ainda há muito a ser feito em termos de diálogos regulares e plataformas educacionais. O participante explica que, em um sistema produtivo, a geração de resíduos é inevitável, embora possam ser feitas reduções. Ele dá o exemplo de uma redução simples, como a diminuição do uso de copos descartáveis em processos administrativos, através de conscientização. No entanto, reduzir resíduos em processos produtivos mais complexos, como na fabricação de cimento, é um desafio maior, pois é preciso garantir que qualquer mudança no processo não afete a qualidade do produto. Atualmente, não há um projeto concreto para reduzir resíduos no processo produtivo, mas há campanhas e esforços contínuos para identificar melhorias possíveis no dia a dia.

O participante C6 informou que a empresa enfrenta problemas com a mistura de resíduos perigosos com recicláveis, e recicláveis com não recicláveis. Para lidar com isso, a fábrica utiliza coletores internos que são transportados para uma área de armazenamento temporário, chamada de "sala de resíduos". Lá, ocorre o direcionamento para baias e caçambas, passando por um processo de triagem. Eles atuam em duas frentes: primeiro, educando a fonte geradora para evitar a mistura de resíduos, o que corrige cerca de 70% dos problemas. Os erros restantes, cerca de 30 a 40%, são corrigidos na triagem final, onde os resíduos são separados de acordo com sua classificação e contaminação antes do descarte. A seguir, apresenta-se a questão de colaboração entre empresas do complexo.

#### *4.2.2.5 Colaboração entre empresas do complexo*

Os participantes C3, C4 e C6, informaram a baixa aderência em reuniões de Fóruns Temáticos (Meio Ambiente) para discutir os temas relacionados a sustentabilidade, eles, também, apresentaram excertos que frequentaram, mas que hoje em dia não estão entendendo a relevância dos fóruns temáticos de meio ambiente. Contudo, eles entendem a importância da integração das práticas sustentáveis no complexo. Eles ainda enfatizam que a união e integração das empresas podem levar a soluções melhores, como o caso de uma empresa que é "aterro zero". A figura 11 apresenta a rede semântica de Colaboração entre empresas do complexo.

Figura 11 - Rede semântica de Colaboração entre empresas do complexo



Esse entendimento é claro ao observar o participante C3 que informou que participava das reuniões de Fórum Temático do complexo, contudo pontuou que deixou de participar pois percebeu que não havia uma aderência das outras empresas para participarem deste momento. Dessa forma, ele pontuou uma sugestão, “se realmente as pessoas se integrarem mesmo, as empresas se unirem, eu acho que dá pra fazer um benchmark muito bom. Eu tenho, por exemplo, o resíduo orgânico comum que eu não consigo ainda reaproveitar, mas eu já vi que tem uma empresa no Pecém que eles são aterro zero. Então eu disse assim, eu já vi ali, já brilhou uma luzinha. O que ele faz com o orgânico dele? (...) Vai que aqui tem uma composteira? (...)”.

O participante C6 informa que a participação de sua empresa nos fóruns é relacionada muito mais como ouvintes “a gente não tem puxado nenhum assunto ou puxado nenhum grupo de trabalho”. Contudo, a direção de sua empresa entendeu que é importante estar inserido nesse meio e que precisam estar mais presentes e divulgar as iniciativas relacionadas a meio ambiente de sua empresa para os outros participantes.

Outro problema relatado é que dentro e fora das organizações, existem problemas de entender a sustentabilidade como um investimento importante, dessa forma, a Economia Circular não recebe a devida importância sobre como ser operacionalizada, com isso, a participante C4 menciona a importância de comunicação contínua e transparência sobre os projetos das empresas do complexo, especialmente no contexto do Hidrogênio Verde. A ideia de "mostrar como é o projeto" sugere a necessidade de uma interação mais próxima e frequente entre as empresas. Ela ainda continua informando que há a necessidade das empresas terem comunicação para que quebre o receio em utilizar os coprodutos em seus processos fabris.

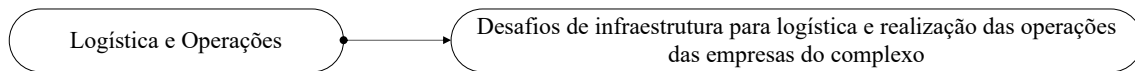
### ***4.2.3 Infraestrutura Circular***

A questão da infraestrutura é apresentada por desempenhar um papel essencial na implementação de práticas de economia circular em complexos industriais, principalmente por englobar fatores como logística e infraestrutura para tratamento de resíduos. A logística eficiente, a gestão adequada de resíduos e a existência de uma infraestrutura que apoie as operações circulares são fundamentais para que as empresas possam integrar essas práticas de maneira eficaz em suas atividades diárias. No entanto, a falta de estruturas adequadas, como sistemas de descarte de efluentes e redes de água, aliada aos desafios logísticos de transporte de resíduos, representa um obstáculo para a adoção de um modelo circular. Nesta seção, serão exploradas as dificuldades enfrentadas pelas empresas, desde a necessidade de uma infraestrutura básica até as questões complexas relacionadas à gestão de resíduos em larga escala. Além disso, discute-se como as empresas têm buscado soluções criativas para esses problemas, como o mapeamento de parceiros comerciais para a destinação de resíduos e o foco na meta de "aterro zero". Ainda assim, esses esforços são limitados pela infraestrutura disponível e pela necessidade de maior apoio das políticas públicas para promover práticas circulares de maneira abrangente.

#### ***4.2.3.1 Logística e operações***

Visando a necessidade de entender a logística e as operações realizadas no complexo industrial e portuário, o participante C3 informou que mapeou empresas em vários estados para oferecer os coprodutos e destacou que foi uma atividade emergencial para destinar os resíduos produzidos internamente, escolhendo a melhor condição comercial. Outro ponto destacado pelo participante C3 foi o processo de oferta e levantamento de condições comerciais, com base na melhor oferta. A empresa fez um mapeamento das empresas que precisavam de resíduos ferrosos e expandiu a busca além do Nordeste, oferecendo os materiais em todo o Brasil. Eles identificaram compradores de coprodutos em diferentes estados e enviaram uma "carta convite" para 12 empresas do mercado. A empresa que ofereceu as melhores condições comerciais foi selecionada para adquirir os resíduos ferrosos. Partindo disso, a figura 12 apresenta a rede semântica de logística e operações.

Figura 12 - Rede semântica de logística e operação



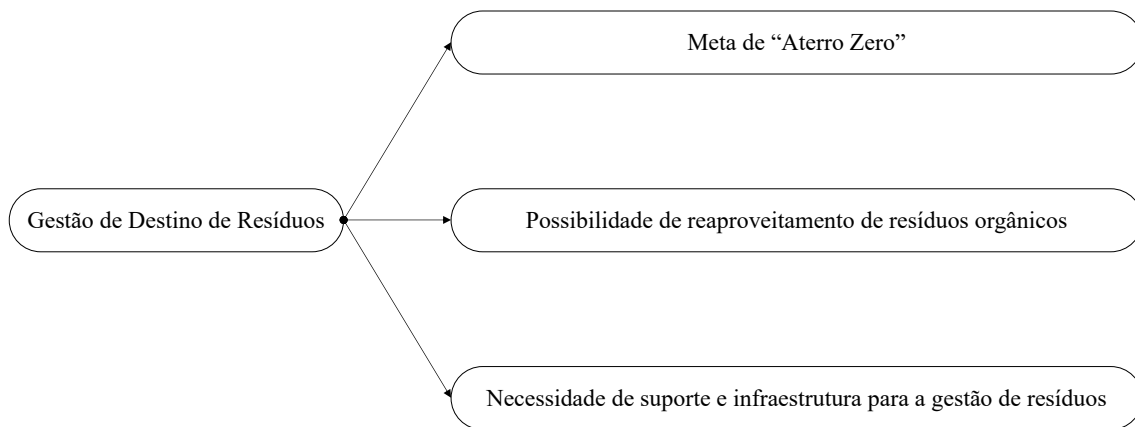
Outro ponto destacado é que existem problemas logísticos referentes às infraestruturas locais para o recebimento de empresas que se sintam atraídas a realizarem suas atividades comerciais. A participante C4 expressa surpresa e frustração pelo fato de que nenhuma providência foi tomada pelo governo para resolver problemas, como canalização de água ou criar um sistema para o descarte de águas residuais.

O problema destacado pelo Participante C6 é decorrente a uma assimetria na quantidade de produtos de uma empresa pode receber e a quantidade de resíduos que é gerada. Com isso, há um gargalo logístico que dificulta trocas de circularidade em complexos industriais, pois nem todas as empresas podem receber toda a produção de resíduos disponível. Quando há muita disponibilidade para pouca demanda é um problema, também, quando há muita demanda para pouca disponibilidade, dessa forma, para que haja troca de resíduos entre as empresas, eles devem atender aos requisitos de disponibilidade, no tempo que o comprador deseja, na quantidade correta e com a qualidade almejada. Dessa forma, o Participante C2 informa: “Depois nós tivemos desafios de logística, porque não dava densidade essa biomassa”. A seção seguinte é referente a gestão de destino de resíduos.

#### 4.2.3.2 *Gestão de Destino de resíduos*

O participante C3 explica que o principal objetivo da empresa que atua atualmente é atingir o marco do "aterro zero", ou seja, não enviar resíduos para aterros industriais. Para isso, há uma área específica, onde ela atua, focada no desenvolvimento de soluções para reaproveitar 100% dos resíduos gerados. Embora ainda não tenham alcançado o reaproveitamento total, eles estão trabalhando ativamente para atingir essa meta. A figura 13 apresenta a rede semântica referente a gestão de destino de resíduos.

Figura 13 - Rede semântica de gestão de destino de resíduos



O participante C5 destaca que uma empresa participante possui selos de "aterro zero" e "selo verde", indicando que a empresa é reconhecida por suas práticas ambientais corretas. Este reconhecimento informa que a empresa está em conformidade com as políticas ambientais. Já o participante C6 menciona a validação de fornecedores para garantir a destinação adequada dos resíduos, mas não aborda investigações ou penalidades específicas para assegurar a conformidade. Os participantes C3, C5 e C6 informam sobre a seleção cuidadosa dos materiais compostáveis demonstra uma tentativa de minimizar a destinação inadequada, mas ainda assim, parte dos resíduos acaba em aterros, evidenciando a necessidade de estratégias mais abrangentes para o tratamento desses resíduos.

O participante C3 destaca a dificuldade de reaproveitar resíduos comuns e orgânicos e menciona que a situação é mais complexa em indústrias como a aciaria. Com isso, a falta de uma central de resíduos adequada força as pessoas a buscarem soluções individuais e improvisadas, o que pode não ser eficiente ou sustentável a longo prazo. Já a participante C4 expressa incerteza sobre a gestão de resíduos sólidos e questiona quem deve investir em soluções como a geração de biogás.

#### **4.2.4 Dinâmica econômica e tecnológica**

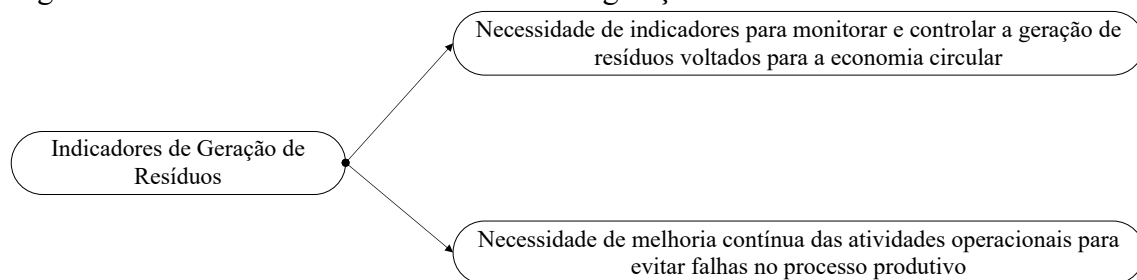
A transição para a economia circular em complexos industriais depende de uma combinação entre inovação tecnológica e estratégias econômicas sustentáveis. Neste contexto, o desenvolvimento de indicadores específicos para a gestão de resíduos, o uso de tecnologias adequadas para o reaproveitamento de materiais e o equilíbrio entre oferta e demanda de coprodutos são fatores para o sucesso dessa transição. Além disso, a capacidade de gerar receitas a partir de resíduos, minimizando custos e maximizando o

reaproveitamento, contribui para a viabilidade econômica das empresas que adotam práticas circulares. Nesta seção, serão discutidos fatores enfrentados pelas empresas em termos de monitoramento de resíduos, limitações tecnológicas e as estratégias adotadas para transformar resíduos em produtos comercializáveis. Também será abordada a dinâmica entre custos e geração de receitas, além da relação entre oferta e demanda de coprodutos, fatores que impactam diretamente a implementação da economia circular no ambiente industrial.

#### 4.2.4.1 Indicadores de Geração de Resíduos

Os participantes C2 e C3 informaram que existe um acompanhamento sobre as atividades operacionais e produtivas, esse monitorado é realizado mensalmente, visando observar as perdas, sendo que há a menção de que as empresas tratam os resíduos como falhas no processo produtivo. A figura 14 apresenta a rede semântica de indicadores de geração de resíduos.

Figura 14 - Rede semântica de indicadores de geração de resíduos



O participante C2 destaca a necessidade de criação de indicadores específicos para a organização sobre a questão de economia circular, justamente por entender que os indicadores existentes, não atendem à lógica circular. Somado a isso, o entendimento de que o resíduo é uma falha do processo é coadunada com o mencionado pelo participante C3, que completa sua fala destacando a necessidade de ter uma melhoria contínua nos processos fabris para que haja o controle operacional de perdas. Esse posicionamento é incorporado por apresentar que existe a necessidade da empresa trabalhar com a maximização da institucionalização dos resíduos, dessa forma, eles devem gerar receita para a organização.

O participante C6 informa que a organização que está inserido trabalha com o sistema de Power BI e que atualiza a base de dados mensalmente, com a finalidade de

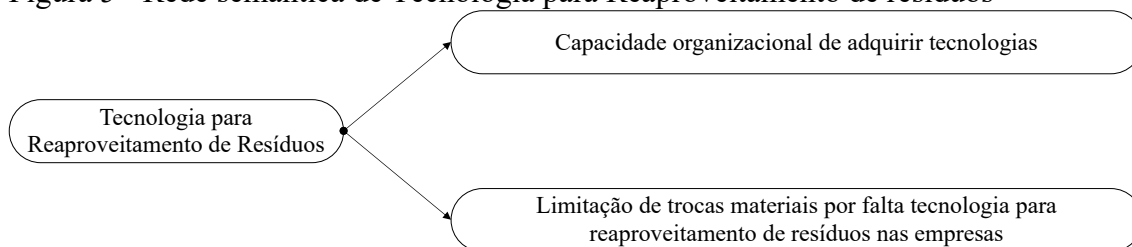
atingir as metas que sua empresa tem sobre a gestão de resíduos (os dados são apresentados em formato de gráfico de pizza, apresentando apenas a porcentagem), contudo a empresa não tem capacidade tecnológica de processar todos os resíduos.

Outro ponto é o destaque de que existem empresas que possuem estrutura para monitorar e controlar a geração de resíduos, com indicadores definidos e metas. No entanto, C2 menciona que empresas não certificadas pela ISO 9000, 14000, ou 45000, não possuem metas anuais para melhoria dos eco-indicadores, o que pode ser visto como uma limitação na avaliação de desempenho e na implementação de melhores práticas ambientais, uma vez que a empresa adota a sua própria meta e não é auditada por empresas fora. Isso é evidenciado na fala de C2 quando informa que “se nós tivéssemos um sistema de gestão ambiental baseado na 14.000, a gente teria que ter metas anuais para melhoria dos eco-indicadores. Nós não temos. Então, isso é uma parte do que a (...) colocou”. A próxima seção destaca dilemas de tecnologia para reaproveitamento de resíduos.

#### 4.2.4.2 Tecnologia para Reaproveitamento de resíduos

O participante C3 apresenta que uma das limitações para que haja as trocas materiais no parque industrial é a ausência de tecnologias para realizar o aproveitamento desses recursos, sendo assim, as tecnologias podem estar em déficit devido: a ausência no mercado; ou restrições da empresa em adquirir. O participante C3 ainda destaca a ausência de uma tecnologia sustentável para o reaproveitamento dos finos de pátios, que são ricos em óxido de ferro no mercado. Com isso, a figura 15 apresenta a rede semântica de tecnologias para o reaproveitamento de resíduos.

Figura 5 - Rede semântica de Tecnologia para Reaproveitamento de resíduos



A participante C4 menciona o processo de avaliação e seleção de tecnologias avançadas e convencionais para tratamento biológico de seus resíduos, mostrando a complexidade e os desafios na escolha da tecnologia mais adequada para cada situação

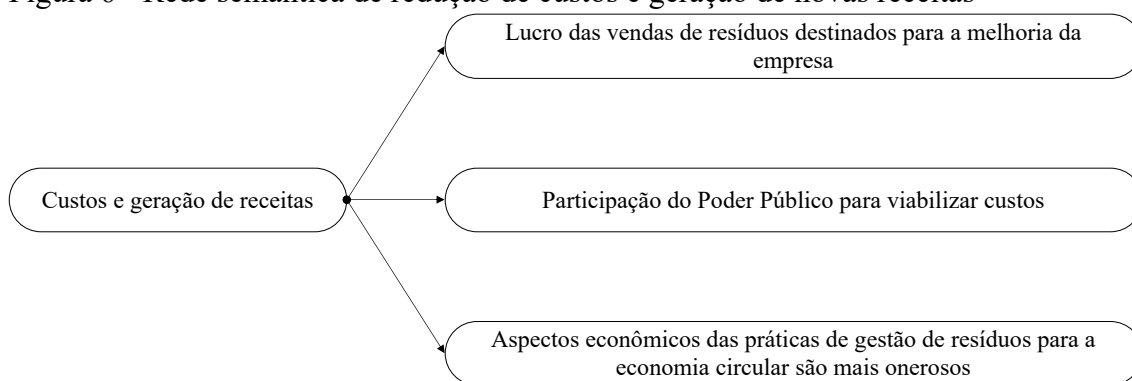
específica. Ela continua informando que a organização que está inserida avalia diferentes tecnologias e fornecedores para os projetos internos e que eles têm a opção de escolher entre uma tecnologia avançada e inovadora ou uma mais convencional, precisando realizar diversos estudos de impactos para isso.

Contudo, existem tecnologias existentes e adquiridas, como menciona o Participante C5, ele detalha as tecnologias específicas utilizadas para tratamento de escória e lamas metálicas. Ele ressalta a exclusividade de uma tecnologia mundialmente possuída pela empresa, indicando um alto nível de inovação tecnológica na gestão de resíduos. Os participantes C4 e C5 identificam a falta de tecnologias como uma limitação para a troca de materiais no parque industrial, seja pela ausência no mercado ou restrições das empresas em adquiri-las. O próximo tópico é referente a redução de custos e geração de receitas.

#### 4.2.4.3 Redução de custos e geração de receitas

O participante C3 menciona que toda receita gerada pela venda de resíduos é destinada a melhorias operacionais da empresa. Isso implica que os lucros obtidos da venda de resíduos não são atribuídos diretamente à área geradora, mas sim utilizados para diminuir os custos operacionais da empresa inteira. Esta prática contribui para a sustentabilidade financeira da usina, diminuindo os custos produtivos mensais. A figura 16 apresenta a rede semântica de custos e geração de receitas.

Figura 6 - Rede semântica de redução de custos e geração de novas receitas



A participante C4 aponta que um dos maiores desafios para a viabilização da água de reúso é o baixo custo da água para as indústrias, o que desincentiva a adoção de práticas de reúso. Ela sugere que incentivos governamentais, como alíquotas, poderiam

ajudar a promover o uso de água de reúso. A participante C4 ainda informa que a implementação de incentivos fiscais ou alíquotas pode motivar as indústrias a adotarem práticas de reúso de água, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos e a sustentabilidade ambiental.

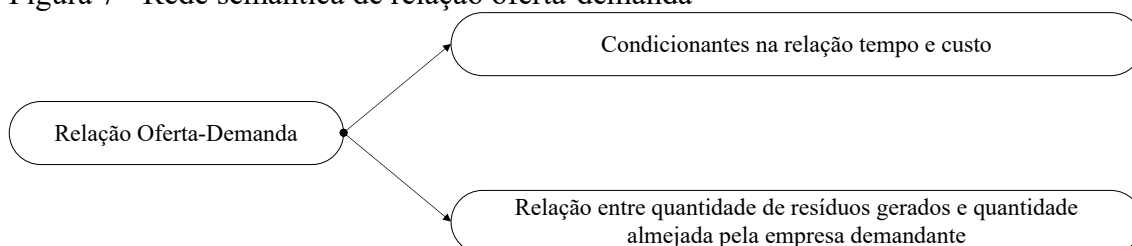
Somado a isso, o participante C5 explica o processo de tratamento das escórias, onde são separadas em escórias ricas em metálicos, que são devolvidas, e escórias menos ricas, que são vendidas ou doadas. Este tratamento agrega valor aos resíduos, transformando-os em produtos comercializáveis. A prática de tratar escórias para recuperar metálicos e comercializar os resíduos menos valiosos demonstra um uso eficiente dos recursos, promovendo a economia circular.

O participante C6 descreve o sistema de abastecimento de água da empresa, que inclui água de poço profundo e uma significativa fração de água de reúso. A água tratada é utilizada para fins mais nobres, enquanto o rejeito e a água de reúso são destinados a usos menos nobres, como irrigação e umectação de vias. Também menciona que ao tratar e reutilizar a água, a empresa reduz a demanda por água potável e minimiza o desperdício, promovendo uma gestão mais eficiente e responsável dos recursos. A próxima seção destaca a problemática da relação da oferta-demanda.

#### 4.2.4.4 Relação oferta-demanda

A participante C4 menciona que a otimização dos custos e da qualidade de seus produtos está diretamente relacionada ao prazo contratual estabelecido com as outras empresas. Quanto maior o prazo, melhor é para o cliente final, pois facilita a viabilização de um melhor custo. Isto reflete um desafio em equilibrar a oferta e a demanda no mercado de reinserção de resíduos na cadeia produtiva, uma vez que a flexibilidade nos parâmetros de qualidade (como diferentes condutividades da água) pode facilitar o processo de tratamento e aproveitamento dos resíduos. A figura 17 apresenta rede semântica de relação oferta-demanda.

Figura 7 - Rede semântica de relação oferta-demanda



Já o participante C5 aborda a questão da responsabilidade e controle dos coprodutos gerados. O participante C5 menciona que a empresa não controla a destinação dos coprodutos, apenas faz o tratamento deles e deixa à disposição do cliente para serem utilizados da forma que quiserem. Outro fator observado pelo participante C5 é sobre a quantidade de resíduo gerado e a quantidade que a empresa demandante quer receber, sendo esse um gargalo. Com isso, urge-se que haja uma síntese dos resultados obtidos neste estudo.

#### ***4.2.5 Síntese dos resultados***

A Análise de Conteúdo revelou que a transição para a economia circular nos complexos industriais é um processo multifacetado, que envolve a participação ativa do Estado, a adaptação das capacidades organizacionais, a superação de desafios infraestruturais e o aproveitamento de dinâmicas econômicas e tecnológicas. Cada um desses aspectos interage de forma a possibilitar ou dificultar a implementação de práticas circulares. O Quadro 7 apresenta um quadro síntese das categorias. Informa-se que a codificação e categorização das informações coletadas nas entrevistas contou com um total de 45 códigos, sendo 17 códigos *a priori* nomeados de categorias de análise e unidades de contexto, os quais originaram-se da literatura embasadora da pesquisa, e 28 códigos *a posteriori* nomeados de unidades de registro, os quais originaram-se a partir das percepções dos entrevistados.

Quadro 7 - Síntese das categorias da Análise de Conteúdo

<b>Categorias de análise</b>	<b>Unidades de contexto</b>	<b>Unidades de registro</b>
Controle Institucional	Poder Público	Compreensão das competências de cada órgão ambiental
		Interação reativa de órgãos ambientais com empresas
	Licenciamento ambiental	Complexidade para licenciamento ambiental
		Exigência de múltiplas licenças e documentos para empresas e cooperativas
Capacidade Organizacional	Liderança Focada em Circularidade	Compromisso com sustentabilidade condicionada à aprovação de benefícios financeiros
		Hierarquia de comando direcionada à economia circular
	Mão de obra para a circularidade	Necessidade de trabalhadores capacitados para gerenciar as operações ambientais
	Remuneração Variável e Premiações	Incentivos financeiros para incentivar soluções circulares
		Metas para minimizar perdas operacionais
	Educação ambiental	Existência de programas de educação ambiental para comunidade externa
		Existência de programas de educação ambiental para colaboradores
		Campanhas educacionais para reduzir o desperdício na produção
	Colaboração entre empresas do complexo	Falta de visitas e reuniões rotativas como meios para aumentar a compreensão e colaboração entre diferentes operações
		Baixa aderência aos Fóruns Temáticos de meio ambiente
		Falta de integração das práticas sustentáveis entre empresas do complexo
	Infraestrutura Circular	Logística e operações
Gestão de destino de resíduos		
Gestão de destino de resíduos		Meta de “Aterro Zero”
		Possibilidade de reaproveitamento de resíduos orgânicos
Dinâmica Econômica e Tecnológica	Indicadores de Geração de resíduos	Necessidade de indicadores para monitorar e controlar a geração de resíduos voltados para a economia circular
		Necessidade de melhoria contínua das atividades operacionais para evitar falhas no processo produtivo
		Tecnologia para Reaproveitamento de resíduos
	Tecnologia para Reaproveitamento de resíduos	Capacidade organizacional de adquirir tecnologias
		Limitação de trocas materiais por falta de tecnologias para reaproveitamento de resíduos nas empresas
	Redução de custos e geração de receitas	Lucro das vendas de resíduos destinado para a melhoria da empresa
		Participação do Poder Público para viabilizar custos

		Aspectos Econômicos das práticas de gestão de resíduos para a economia circular são mais caros
	Relação oferta-demanda	Condicionantes na relação tempo e custo
		Relação entre quantidade de resíduos gerados e quantidade almejada pela empresa demandante

O Estado tem o papel de estabelecer diretrizes e regulamentos que orientem as empresas, além de garantir o cumprimento de normas ambientais e oferecer incentivos financeiros que estimulem práticas circulares. A burocracia e a falta de clareza nas responsabilidades entre os órgãos ambientais federais e estaduais, como SEMACE, foram destacados como fatores que dificultam a comunicação e a eficiência na obtenção de licenças ambientais. Esse cenário leva as empresas a enfrentarem gargalos operacionais, visto que há confusão sobre quais órgãos são responsáveis por determinadas etapas do licenciamento. Esses resultados entram em conformidade com os estudos anteriores, uma vez que Kaplan (2023) menciona que o Estado estabelece normas e leis que orientam as empresas, garantindo o cumprimento de normas ambientais e oferecendo incentivos financeiros para estimular práticas circulares. Além disso, Son, Oh e Ban (2023) mencionam a necessidade de melhorias no licenciamento ambiental para garantir a eficiência de parques industriais, além de Oliveira et al. (2022) destacarem que os entraves do licenciamento ambiental devem ser rígidos para equilibrar os interesses ecológicos e econômicos, e que algumas documentações não podem ser objeto de descentralização de competência para municípios.

A categoria referente a capacidade organizacional, apresentou ênfase em lideranças comprometidas, mão de obra qualificada, um sistema de incentivos que valorize a inovação e o desempenho ambiental, a educação ambiental e colaboração entre as empresas do complexo. A pesquisa evidenciou que, apesar do avanço no entendimento sobre economia circular, muitas lideranças ainda estão presas a uma lógica financeira, em que os benefícios ambientais são secundários aos econômicos. Essa limitação restringe o potencial de inovação e impede que a circularidade seja vista como uma estratégia essencial para a competitividade e sustentabilidade a longo prazo. Os resultados completam estudos anteriores, principalmente ao observar que Bertassini et al. (2021) afirmam que os líderes são agentes de mudança que inspiram e mobilizam equipes para adotar práticas inovadoras e sustentáveis, tendo como atividades de identificar oportunidades, construir coalizões internas e alinhar objetivos estratégicos com a circularidade. Tseng et al. (2021) complementam que lideranças devem fomentar equipes habilidosas e promover workshops e conferências para superar barreiras à circularidade referentes a educação ambiental. Son, Oh e Ban (2023) discutem a importância de compartilhamento de ideias entre trabalhadores para construir conjuntamente o conhecimento sobre circularidade, devendo ser feito por meio de seminários e workshops para treinamentos internos e externos. Sobre a remuneração variável, Bertassini et al.

(2021) mencionam que eles podem valorizar a inovação e o desempenho ambiental, motivando colaboradores a adotar práticas circulares.

Outro aspecto é a carência de profissionais capacitados para a economia circular, uma vez que compromete a eficiência das operações ambientais, resultando em multas, degradação ambiental e uma imagem corporativa prejudicada. A governança corporativa, embora tenha evoluído em algumas empresas, ainda carece de um compromisso mais robusto com a educação ambiental interna, que poderia ajudar a superar essas lacunas. A necessidade de programas estruturados de educação ambiental voltados tanto para os funcionários quanto para as comunidades envolvidas foi mencionada como uma solução possível para reforçar a implementação de práticas sustentáveis. A colaboração entre empresas é vista como uma ferramenta catalisadora do sucesso de práticas circulares. Son, Oh e Ban (2023) apontam que a falta de qualificação da mão de obra é um ponto crítico, afetando a eficiência na gestão ambiental e resultando em impactos negativos, como degradação ambiental e multas regulatórias. Tseng et al. (2021) apresentam uma questão de oportunidade de mitigar essa problemática por meio da realização de treinamentos, conferências e workshops.

Os resultados da pesquisa também mostraram que a infraestrutura adequada é um dos pilares para que a economia circular possa ser implementada em complexos industriais. As empresas enfrentam grandes desafios logísticos e estruturais para gerenciar a troca de resíduos de forma eficiente e sustentável. A logística foi identificada como um gargalo na troca de resíduos entre empresas que precisa ser superado. O problema da assimetria entre a quantidade de resíduos gerados e a capacidade das empresas receptoras de absorver esses materiais cria barreiras para a circularidade. Quando há uma oferta maior do que a demanda, ou vice-versa, os resíduos acabam sendo subutilizados ou descartados de maneira inadequada. Além disso, o custo de transporte desses materiais e a falta de infraestrutura para facilitar essas trocas são outros pontos críticos que precisam ser abordados. Heck, Utikal e Leker (2024) destacam que a infraestrutura inadequada limita a transição para a economia circular, complementando, Xue et al. (2023) apontam que a falta de redes de água, sistemas de tratamento de efluentes e suporte logístico eficiente são gargalos para a gestão de resíduos e implementação da economia circular. Já Tellier et al. (2019) mencionam a relevância de sistemas avançados de coleta, reciclagem e tratamento de resíduos industriais, além de sugerirem a responsabilidade de terceirização (contratar empresas especializadas nessa área de reciclagem e reúso) como alternativa para gerar legitimidade para os resíduos. Xue et al.

(2023) indicam que a logística representa um gargalo na gestão de resíduos, destacando a proximidade geográfica como um fator essencial para o sucesso da simbiose industrial. Somado a isso, Atalano, Ibiapina e Machado (2022) sugerem que a integração de processos contribui para a eficiência logística e a redução de desperdícios.

Outra categoria observada neste estudo foi a dinâmica econômica e tecnológica, uma vez que a transição para a economia circular também está diretamente ligada à capacidade das empresas de adotar inovações tecnológicas e criar estratégias econômicas que viabilizem essa mudança. A criação de indicadores específicos para monitorar a geração de resíduos e a implementação de tecnologias avançadas para o reaproveitamento de materiais são componentes para o sucesso da circularidade. Dessa forma, estudos anteriores complementam os resultados a medida em que Czekala, Drozdowski e Labiak (2023) observam que a aplicação de tecnologias emergentes, como inteligência artificial, contribui para otimizar sistemas de gestão de resíduos e fomentar inovações relacionadas à economia circular. Somado a isso, Heck, Utikal e Leker (2024) apontam barreiras tecnológicas, como a falta de capacidade para processar resíduos e a ausência de tecnologias disponíveis para reaproveitamento de resíduos. Czekala, Drozdowski e Labiak (2023) mencionam a utilização de inteligência artificial como ferramenta para a gestão de resíduos e implementação da economia circular. Finalizando com Mersoni e Reichert (2017) indicando indicadores como metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida para medir a circularidade e apoiar o planejamento de sustentabilidade dos complexos industriais de médio e longo prazo. Somado a Tseng et al. (2021) que destacam a importância de incluir indicadores sustentáveis nos planejamentos estratégicos para coordenar ações em parques industriais. Nemesh (2022) menciona que dentre os indicadores, a eficiência energética e uso de recursos, são necessários para avaliar e monitorar o progresso da transição para ecoparques industriais.

Por outro lado, algumas empresas já possuem tecnologia de ponta para o tratamento de resíduos, como o tratamento de escórias e lamas metálicas. Isso demonstra que, quando há investimentos em inovação, os resultados podem ser extremamente positivos, tanto no aspecto ambiental quanto econômico. A venda de resíduos tratados e a reutilização de materiais agregam valor e contribuem para a sustentabilidade financeira das empresas, mas essa prática ainda não é amplamente difundida. Dessa forma, esses resultados contribuem com os trabalhos anteriores, uma vez que Reichert e Mendes (2014) destacam que a Avaliação do Ciclo de Vida pode classificar resíduos como recursos potenciais, permitindo que sejam comercializados como insumos e, assim,

gerem receita adicional para as empresas. Schultz e Reinhardt (2023) complementam, afirmando que a inovação em processos produtivos é essencial para melhorar a qualidade dos materiais reciclados, o que contribui para agregar valor aos produtos dentro da lógica da economia circular. Além disso, Chen et al. (2022) ressaltam que a troca de subprodutos não apenas reduz a dependência de matérias-primas virgens, mas também gera valor econômico ao reaproveitar resíduos no processo produtivo.

Embora algumas empresas já tenham internalizado a ideia de que os resíduos podem gerar receitas, outras ainda veem o processo de reaproveitamento como um custo adicional. A questão da viabilidade financeira, principalmente em relação ao custo baixo de recursos como a água, desincentiva práticas como o reúso de água, sugerindo a necessidade de incentivos fiscais e políticas públicas que promovam a economia circular de maneira mais assertiva. A relação oferta-demanda de resíduos entre as empresas apresenta a dificuldade em equilibrar a quantidade de resíduos gerados e a demanda de outras empresas para reutilizá-los, assim, cria barreiras, que poderiam ser resolvidas com uma melhor coordenação e planejamento entre os atores envolvidos. Heck, Utikal e Leker (2024) destacam a dificuldade em equilibrar oferta e demanda devido à assimetria entre os resíduos gerados e a necessidade de outros processos produtivos. Assim, ressaltam que a falta de mecanismos para controlar essa relação é uma barreira para a circularidade em parques industriais (Heck; Utikal; Leker, 2024). Em consonância, Ceglia, Abreu e Silva Filho (2017), mencionam que a relação oferta-demanda está relacionada a barreiras financeiras e sociais que dificultam a integração e o alinhamento de processos entre empresas de um complexo em questão, dificultando o processo de transição para essa lógica de economia circular.

Outro fator revelado, principalmente ao integrar os resultados obtidos, como pilar é a questão das trocas materiais. Ela promove a circularidade ao reaproveitar resíduos como insumos produtivos. No entanto, sua implementação enfrenta desafios, falta de práticas de gestão e reaproveitamento de resíduos, enquanto, financeiramente, a falta de incentivos limita os investimentos necessários para adoção dessas práticas. Regulamentações específicas para destinação e reaproveitamento de resíduos são imprescindíveis para assegurar segurança e eficiência no processo, assim como avanços tecnológicos que viabilizem o tratamento e transformação de resíduos em insumos viáveis. Além disso, a ausência de uma governança clara e de políticas públicas robustas dificulta a coordenação de estratégias de circularidade e práticas sustentáveis, como o reúso de água e o reaproveitamento de gases e resíduos sólidos. Fraccascia, Ceccarelli e

Dangelico (2023) mencionam que a simbiose industrial promove inovação ao permitir o reaproveitamento de resíduos como insumos, fortalecendo a competitividade entre empresas. Somado a isso, a simbiose industrial desempenha um papel importante nesse processo, pois utiliza resíduos de uma empresa como matéria-prima para outra, aumentando o valor agregado dos materiais reciclados (Fraccascia; Ceccarelli; Dangelico, 2023). Outros estudos também evidenciam a necessidade das trocas materiais como um pilar para a transição de parques industriais para a lógica de economia circular, como Chen et al. (2022) que afirmam que a troca de subprodutos entre empresas reduz resíduos e diminui a dependência de matérias-primas virgens, gerando economia de custos e impacto ambiental reduzido. Tellier et al. (2019) complementam, apontando que sistemas avançados de coleta e gestão de resíduos podem facilitar as trocas materiais entre empresas, gerando valor econômico e legitimidade para os resíduos. Já Oughton et al. (2022) mencionam que um sistema de confiança entre as empresas colocalizadas no complexo industrial majora a governança colaborativa, dessa forma, impulsiona as trocas materiais e garante o sucesso das iniciativas de simbiose industrial.

Os resultados evidenciam que, para que a transição para a economia circular nos complexos industriais seja efetiva, é necessário um esforço coordenado entre o poder público, as empresas e a sociedade. O fortalecimento do controle institucional, o desenvolvimento da capacidade organizacional, a melhoria da infraestrutura e a adoção de tecnologias inovadoras são fundamentais para que os complexos industriais possam se alinhar aos princípios da economia circular. Sem esses avanços, o potencial para um desenvolvimento econômico verdadeiramente sustentável continuará limitado. A seguir, apresenta-se a integração dos resultados obtidos, apontando os pilares para a transição de parques industriais com foco na economia circular, classificando as unidades de registro nas barreiras, posteriormente apresentando estratégias para mitigá-las e finalizando com um modelo de aplicação prática dessas estratégias.

## **5 PILARES PARA TRANSFORMAR UM PARQUE INDUSTRIAL EM LÓGICA DE ECONOMIA CIRCULAR**

Os resultados deste estudo possibilitaram identificar por meio da mescla do estudo da categorização dos insumos, produtos, processos e resíduos, junto com a análise de conteúdo das entrevistas, cinco (5) pilares para transformar um parque industrial em lógica de economia circular, sendo eles interdependentes e tendo a necessidade de atuação conjunta, sendo: Poder Público, Capacidade Organizacional, Infraestrutura Circular, Dinâmica Econômica e Tecnológica e Troca de Materiais. A Figura 5 apresenta, de forma visual como os pilares se dispõem.

Figura 18 – Disposição dos pilares de para transformar um parque industrial em lógica de economia circular



A transformação de parques industriais convencionais em ecoindustriais (parques que se apropriam da lógica de economia circular) exige um enfoque integrado que considere não apenas aspectos isolados como Governança para a circularidade, Cultura organizacional, Logística e colocalização de empresas no parque industrial, Gestão e destinação de resíduos das empresas, troca de materiais – simbiose industrial e os indicadores de circularidade. O estudo conduzido no parque industrial em questão, revelou que pilares como o Poder Público, Capacidade Organizacional, Infraestrutura Circular, Dinâmica Econômica e Tecnológica e Troca de Materiais são fatores críticos para o sucesso de iniciativas de transformar um parque industrial na lógica de economia circular.

Nas palavras de Promentilla et al., (2016) a implementação de parques industriais que se apropriam da lógica de economia circular exige a compreensão e análise sistemática das barreiras existentes, mesmo nas fases iniciais de planejamento. Conforme indicado pelos autores, é essencial priorizar a superação de obstáculos como a falta de engajamento da alta gestão, a ausência de conscientização sobre os conceitos de simbiose industrial e a carência de políticas que incentivem iniciativas de simbiose industrial. Esses fatores são identificados como barreiras-chave que precisam ser abordadas para mitigar os desafios potenciais na aplicação do conceito de ecologia industrial em parques industriais. Tais ações são fundamentais para viabilizar a transição para modelos produtivos mais sustentáveis e colaborativos.

Heck, Utikal e Leker (2024) completam o pensamento informando que existe uma ambiguidade sobre as relações simbióticas, dessa forma, elas podem tanto promover quanto restringir a transformação dos parques industriais. Com isso, as relações simbióticas em parques industriais promovem a transição ao otimizar o uso de recursos, reduzir custos e riscos, fomentar a inovação e fortalecer a competitividade por meio do compartilhamento de energia, resíduos e infraestrutura, além de facilitar o aprendizado conjunto entre empresas. Por outro lado, podem restringir a transformação devido à dependência de infraestruturas baseadas em combustíveis fósseis, à complexidade na coordenação entre atores com interesses divergentes, ao incentivo a mudanças incrementais em vez de radicais e à incerteza regulatória e econômica.

Ainda sobre Heck, Utikal e Leker (2024), seu estudo menciona barreiras para atingir a economia circular em parques industriais, incluindo (a) infraestrutura inadequada, com ausência de conexões para hidrogênio e dióxido de carbono (H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>) e (b) capacidade insuficiente na rede elétrica, além de (c) custos elevados das tecnologias

neutras em emissões de carbono, agravados pela (d) concorrência internacional com locais de custos mais baixos. Também são destacadas a (e) incerteza regulatória, devido à ambiguidade nas estratégias de manejo de carbono e créditos de CO<sub>2</sub>, e as barreiras tecnológicas, como (f) limitações na reciclagem e reutilização de materiais. A (g) burocracia excessiva aparece como um problema recorrente, (h) assim como a disponibilidade limitada de eletricidade renovável e hidrogênio verde para atender à demanda. Por fim, a (i) escassez de mão de obra qualificada é apontada como uma preocupação relevante para o futuro.

Já Abebe, Buehren e Goldstein (2024) abordam barreiras referentes à governança, mais especificamente à participação no mercado de trabalho formal, especialmente em parques industriais. Com isso, os autores focam em desafios enfrentados por jovens mulheres em busca de trabalho formal, como fricções espaciais e informacionais, custos de transporte e limitações em infraestrutura e conhecimento sobre oportunidades de emprego. Quanto às barreiras à participação no mercado de trabalho formal em parques industriais, elas incluem a (a) localização remota, que dificulta o acesso, e a falta de conhecimento sobre oportunidades de emprego, agravada por (b) custos elevados de transporte e (c) ausência de infraestrutura de mobilidade acessível. Além disso, há (d) informações insuficientes sobre processos de recrutamento e as (e) demandas do trabalho formal, bem como um (f) desalinhamento entre as expectativas dos candidatos e a realidade dos empregos, frequentemente percebidos como temporários e com pouca progressão de carreira. Mulheres enfrentam barreiras adicionais devido a (g) normas sociais e responsabilidades familiares, (h) enquanto preocupações com condições de trabalho fisicamente desgastantes e insalubres também desincentivam a adesão.

Bilyaminu et al., (2024) também identificam barreiras para alcançar a economia circular em parques industriais, destacando (a) deficiências em infraestrutura, como instalações inadequadas de transporte e energia, e (b) desafios regulatórios, com políticas ambientais que não incentivam suficientemente a simbiose industrial. Além disso, os (c) elevados custos de investimento em tecnologia, infraestrutura e treinamento são obstáculos, assim como (d) dificuldades técnicas para compatibilizar processos produtivos e características dos resíduos. A (e) falta de colaboração entre empresas e a (f) baixa conscientização sobre os benefícios da economia circular também representam barreiras, agravadas pela (g) escassez de dados e capacitação técnica para identificar sinergias. A (h) resistência cultural e organizacional dificulta a adoção de mudanças operacionais necessárias para implementar práticas circulares, ressaltando a necessidade

de governança eficaz, apoio político e financeiro, e investimentos em capacitação e tecnologia.

Dessa forma, ao observar as barreiras apresentadas pelos estudos de Heck, Utikal e Leker (2024), Abebe, Buehren e Goldstein (2024) e Bilyaminu et al., (2024), observa-se que este trabalho avança no conhecimento científico ao abordar barreiras referentes a (a) dificuldades ao entender as competências dos órgãos ambientais; (b) dificuldade com parcerias devida à burocracia e complexidade do processo de licenciamento; (c) baixa adesão e integração nas reuniões e fóruns temáticos; (d) dependência de níveis hierárquicos mais altos para decisões; (e) falta de programas estruturados e unificados; (f) falta de engajamento em iniciativas colaborativas; (g) necessidade de validação de fornecedores com certificações ambientais; (h) necessidade de suporte financeiro, como investimentos em centrais de resíduos e biodigestores; (i) Necessidade de discutir práticas de gestão e reaproveitamento de resíduos com gestores do parque industrial e; (j) necessidade de políticas públicas mais robustas para incentivar práticas sustentáveis, como o reúso de água e o reaproveitamento de gases e resíduos sólidos.

O Quadro 8 apresenta as barreiras classificadas em cada um dos pilares que o estudo identificou. As barreiras para essa transição são identificadas no estudo de Ceglia, Abreu e Silva Filho (2017). De acordo com os autores, as barreiras sociais referentes a fatores como valores, confiança, domínio cognitivo de resíduos e engajamento ambiental, as barreiras institucionais são limitações inerentes ao domínio da organização, e estão diretamente associadas às questões de tomada de decisão e de gestão, as barreiras financeiras incluem a necessidade de subsídios e incentivos econômicos para fomentar o desenvolvimento de redes e projetos relacionados ao reaproveitamento de resíduos e as barreiras tecnológicas envolvem a necessidade de tecnologias inovadoras para redesenhar processos e estabelecer componentes de sistemas circulares.

Quadro 8 – Barreiras classificadas pelos pilares da transição de parques industriais para a lógica de economia circular

<b>Pilar</b>	<b>Barreiras</b>	<b>Unidade de Registro</b>
Poder Público	Sociais	
	Financeiras	F1: Falta de incentivos financeiros para empresas do ecoparque.
	Regulatórias	R1: Dificuldades ao entender as competências dos órgãos ambientais; R2: Dificuldade com parcerias devida à burocracia e complexidade do processo de licenciamento.
	Tecnológicas	
	Institucionais	I1: Falta de apoio contínuo dos órgãos ambientais, evidenciando a sua atuação reativa com fiscalizações; I2: Dificuldade de coordenação e comunicação entre órgãos ambientais.
Capacidade Organizacional	Sociais	S1: Falta de mão de obra qualificada para operações circulares; S2: Falta de engajamento dos colaboradores por ausência de incentivos financeiros; S3: Falta de conscientização e comunicação contínua sobre educação ambiental; S4: Baixa adesão e integração nas reuniões e fóruns temáticos.
	Financeiras	F2: Necessidade de justificar os benefícios financeiros das práticas sustentáveis; F3: Falta de programas de remuneração variável e premiações.
	Regulatórias	
	Tecnológicas	
	Institucionais	I3: Dependência de níveis hierárquicos mais altos para decisões; I4: Falta de programas estruturados e unificados; I5: Falta de engajamento em iniciativas colaborativas.
Infraestrutura Circular	Sociais	S5: Assimetria na troca de resíduos e a necessidade de atender aos requisitos de disponibilidade e qualidade; S6: Necessidade de validação de fornecedores com certificações ambientais.
	Financeiras	F4: Busca por financiamento ou subsídios do governo para melhorar a infraestrutura logística; F5: Necessidade de suporte financeiro, como investimentos em centrais de resíduos e biodigestores.
	Regulatórias	R3: Dificuldades com a adoção de políticas ambientais como "aterro zero" e "selo verde".
	Tecnológicas	T1: Falta de infraestrutura adequada (como sistemas de descarte de efluentes e canalização de água).
	Institucionais	I6: Falta de ação governamental para resolver os problemas de infraestrutura.
Dinâmica Econômica e Tecnológica	Sociais	S7: Gargalos na troca de resíduos entre empresas e outras organizações.
	Financeiras	F6: Necessidade de adquirir tecnologias para maximizar a geração de receitas com resíduos; F7: Restrição financeira para aquisição de tecnologias; F8: Assimetria entre oferta de resíduos, demanda e os custos associados às transações.
	Regulatórias	
	Tecnológicas	T2: Falta de capacidade tecnológica para processar todos os resíduos; T3: Ausência ou limitação de tecnologias avançadas para o reaproveitamento de resíduos.
	Institucionais	I7: Falta de incentivos fiscais e a centralização de transações internas;

		I8: Ausência de mecanismos para controlar e otimizar a relação oferta-demanda.
Troca de Materiais	Sociais	S8: Necessidade de discutir práticas de gestão e reaproveitamento de resíduos com gestores do parque industrial.
	Financeiras	F9: Falta de incentivos financeiros para a utilização de resíduos como insumos.
	Regulatórias	R4: Necessidade de regulamentação e normativas específicas para destinação ou reaproveitamento de resíduos.
	Tecnológicas	T4: Dificuldade de adaptação tecnológica para processos de tratamento de resíduos visando circularidade.
	Institucionais	I9: Falta de governança clara para implementar estratégias de circularidade; I10: Necessidade de políticas públicas mais robustas para incentivar práticas sustentáveis, como o reúso de água e o reaproveitamento de gases e resíduos sólidos.

Quanto ao pilar do Controle Institucional, o estudo apresentou que o Estado estabelece diretrizes e regulamentos que orientam as empresas, garantindo o cumprimento de normas ambientais e oferecendo incentivos financeiros para estimular práticas circulares. Além disso, a burocracia e a falta de clareza sobre as responsabilidades entre órgãos ambientais federais e estaduais, dificultam a comunicação e a obtenção de licenças ambientais. Essa confusão impacta diretamente as operações das empresas, criando gargalos no licenciamento e atrasos na implementação de práticas sustentáveis. Son, Oh e Ban (2023) identificaram que o planejamento deficiente e apoio financeiro insuficiente do governo reduz a probabilidade de sucesso de um ecoparque industrial, Oliveira et al., (2022) completa sobre os entraves do licenciamento ambiental, informando que eles devem ser rígidos pois se interesses ecológicos não forem ponderados corretamente, existe o risco eminente de privilegiar somente interesses econômicos em detrimento do ambiental. Outro levantamento de Oliveira et al., (2022) é sobre a competência dos órgãos, tendo documentações que não podem ser objeto de descentralização de competência para o município.

Já o pilar de Capacidade Organizacional apresenta limitações relacionadas à falta de lideranças voltada para a circularidade, mão de obra qualificada e incentivos que valorizem a inovação e o desempenho ambiental. Embora tenha havido avanços no entendimento sobre economia circular, muitas lideranças permanecem focadas em resultados financeiros imediatos, restringindo o potencial de práticas circulares como estratégia competitiva. A falta de qualificação da mão de obra é outro ponto crítico, com a carência de profissionais especializados afetando a eficiência na gestão ambiental e resultando em degradação ambiental, multas regulatórias e impacto negativo na imagem corporativa. Outro aspecto identificado é a baixa colaboração entre empresas. A limitada adesão a fóruns temáticos voltados à sustentabilidade reflete uma percepção restrita sobre os benefícios da economia circular, mostrando a necessidade de promover uma cultura de cooperação interempresarial. Sem isso, as práticas circulares continuarão fragmentadas e com resultados limitados. Sobre os achados referentes a liderança de economia circular Bertassini et al., (2021) apresenta os líderes como agentes de mudança que inspiram e mobilizam equipes para adotar práticas inovadoras e sustentáveis. Além disso, líderes têm a responsabilidade de identificar oportunidades, construir coalizões dentro das organizações e alinhar objetivos estratégicos à circularidade. Eles devem fomentar equipes multidisciplinares, com conhecimentos e habilidades em inovação de modelos de

negócios, design de produtos e desenvolvimento de práticas circulares (Ahuja et al., 2019; Jabbour et al., 2018; Kumar et al., 2019; Ates; Bititci, 2011).

Outro ponto debatido nos resultados deste estudo é a problemática decorrente da falta de qualificação de mão de obra. Son, Oh e Ban (2023) discutem sobre a possibilidade de um compartilhamento de ideias entre os trabalhadores para que haja uma construção conjunta do conhecimento sobre a circularidade, somado a seminários e workshops para o treinamento. Tseng et al., (2021) completam esses dados com uma equipe habilidosa e com força para adaptar às mudanças necessárias para a realização de atividades circulares, bem como asseveram que há a necessidade de conferências e workshops para reduzir as barreiras psicológicas sobre a utilização desses produtos, ou apropriação de novos processos fabris. Outro aspecto observado é a baixa colaboração entre empresas, Tseng et al., (2021) complementam que há a necessidade de redes compartilhadas de informação entre as empresas, bem como as empresas participarem em colaboração com as outras empresas das oportunidades de circularidade.

Quanto ao pilar de Infraestrutura Circular, tem-se que a infraestrutura inadequada foi identificada como um dos principais obstáculos para a implementação da economia circular em complexos industriais. As empresas enfrentam dificuldades no gerenciamento de resíduos devido à falta de redes de água adequadas, sistemas de tratamento de efluentes e suporte logístico eficiente. Xue et al. (2023) informam que a logística em si representa um gargalo para a gestão adequada de destino dos resíduos, com isso, informam que a proximidade geográfica é destacada como fator essencial para a implementação bem-sucedida de sistemas de simbiose industrial na realidade de parques industriais. O que entra em acordo com Chertow (1998) ao informar sobre a colocalização para a troca de produtos, serviços e resíduos. Outra sugestão apontada por estudos é a integração de processos envolve a sincronização de fluxos de materiais, contribuindo para a eficiência e redução de desperdício (Atalano; Ibiapina; Machado, 2022; Belaud et al., 2019). Quanto à gestão de destino de resíduos, Tellier et al. (2019) informam que um ponto que deve ser observado é a implementação de sistemas avançados de coleta, reciclagem e tratamento de resíduos industriais, por vezes, a terceirização desse serviço pode ser uma alternativa para as organizações dos ecoparques, gerando legitimidade para os resíduos e gerando oportunidades de negócios. Yu, Jong e Dijkema (2014) complementam informando que na infraestrutura é importante conter elementos como a planta de tratamento de águas residuais e a planta de novas fontes de água, indicando um ciclo regional de água que complementa a simbiose industrial ao

reutilizar e reciclar recursos hídricos. Além disso, o uso de fontes de energia renovável é recomendado como prática para redução do consumo energético, além de tentar aproveitar ao máximo a energia gerada pelo sistema (Tellier et al., 2019).

Quanto ao pilar de Dinâmica Econômica e Tecnológica, tem-se que a relação entre custos e receitas desempenha um papel fundamental na implementação ou não de práticas circulares. Embora algumas empresas visualizem os resíduos como uma oportunidade de geração de receita, outras ainda os tratam como um custo adicional. O baixo custo de recursos, como água, desincentiva práticas de reúso, reforçando a necessidade de políticas públicas e incentivos fiscais que favoreçam a economia circular. Também, o equilíbrio entre a oferta e a demanda de resíduos entre empresas é um dos aspectos mais desafiadores da economia circular. A dificuldade em ajustar a quantidade de resíduos gerados e a demanda de outras empresas ressalta a importância de melhor coordenação e planejamento entre os atores envolvidos. Mersoni e Reichert (2017) defendem que a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) representa um importante indicador para a circularidade, bem como Tseng et al. (2021) informa a preocupação de inserção de indicadores nos planejamentos de médio e longo prazo para a ação coordenada dos parques.

Czekala, Drozdowski e Labiak (2023) apresentam avanços tecnológicos, como a utilização de ferramentas de Tecnologia da Informação (TI) para o monitoramento adequado das quantidades e classificação, sistemas de coleta para evitar problemas de saúde e melhorar a qualidade de vida para os trabalhadores, eles concluíram que e a aplicação de inteligência artificial (IA), têm se mostrado promissora na otimização dos sistemas de gestão de resíduos e na promoção da economia circular. Sobre a questão econômica dos resíduos, Reichert e Mendes (2014) asseveram que existe a preocupação em utilizar a ACV para classificar os resíduos não apenas como lixo, mas como potenciais recursos que podem ser comercializados, gerando receita adicional para as empresas, bem como Fraccascia, Ceccarelli e Dangelico (2023) informam que a simbiose industrial é baseada em trocas físicas de resíduos e materiais, que encontra formas de utilizar os resíduos de uma indústria como insumos ou matérias-primas para outra, tudo apoiado pela colaboração empresarial, assim, gerando oportunidades econômicas. Sobre a relação de oferta-demanda, Xue et al. (2023) informaram que a proximidade geográfica entre as empresas é um elemento-chave para otimizar o equilíbrio entre oferta e demanda de resíduos.

Já a dimensão Troca de Materiais destaca a importância da colaboração entre empresas dentro de parques industriais para otimizar o uso de recursos e promover a circularidade. Para que essa integração aconteça, é necessário estabelecer diálogos contínuos entre gestores, implementar incentivos econômicos para tornar o reaproveitamento de resíduos financeiramente viável, e criar regulamentações claras que garantam a qualidade e a segurança dos materiais reaproveitados. Além disso, a adaptação tecnológica viabiliza o tratamento adequado dos resíduos, permitindo sua reutilização em novos processos produtivos. A governança eficiente e políticas públicas estruturadas, como subsídios e incentivos fiscais, também são essenciais para criar um ambiente que favoreça práticas sustentáveis, como o reúso de água e o aproveitamento de gases e resíduos sólidos. Dessa forma, entende-se, por Chen et al. (2022) que a troca de subprodutos não apenas reduz os resíduos, mas também reduz a necessidade de matérias-primas virgens, economizando custos e minimizando o impacto ambiental. As trocas de materiais, que correspondem ao fluxo de materiais e energia/água (Yu; Jong; Dijkema, 2014), geram legitimidade para os resíduos, com isso, implicam em oportunidades de negócios (Tellier et al., 2019; Oughton et al., 2022).

Dessa forma, os resultados deste estudo mesclados com artigos de estudos anteriores destacaram que a transformação de parques industriais em ecoparques exige um enfoque integrado, sustentado por cinco pilares: Controle Institucional, Capacidade Organizacional, Infraestrutura Circular, Dinâmica Econômica e Tecnológica, e Troca de Materiais. No Controle Institucional, Son, Oh e Ban (2023) enfatizam a relevância de planejamento governamental e apoio financeiro, enquanto Oliveira et al. (2022) destacam a rigidez necessária no licenciamento ambiental para equilibrar interesses ecológicos e econômicos. Em relação à Capacidade Organizacional, Bertassini et al. (2021) apontam líderes como agentes-chave para práticas inovadoras, complementados por Tseng et al. (2021), que ressaltam a importância de workshops para superar barreiras psicológicas. No pilar de Infraestrutura Circular, Xue et al. (2023) e Tellier et al. (2019) sublinham a necessidade de redes logísticas eficientes e sistemas avançados de gestão de resíduos. Já na Dinâmica Econômica e Tecnológica, Reichert e Mendes (2014) e Fraccascia et al. (2023) demonstram o potencial econômico dos resíduos, especialmente pela simbiose industrial, enquanto Tseng et al. (2021) defendem indicadores de ciclo de vida como essenciais. No pilar de Troca de Materiais, Chen et al. (2022) e Yu, Jong e Dijkema (2014) evidenciam como o fluxo de materiais e energia reduz a dependência de matérias-primas virgens, criando oportunidades de negócios e reduzindo o impacto ambiental. Assim, o

estudo reforça que a sinergia entre esses pilares é fundamental para o sucesso da transição à economia circular.

Portanto, a superação dessas barreiras é um pré-requisito para o sucesso de projetos de transição de parques industriais para uma lógica de economia circular. Conforme observado, a transição requer esforços coordenados entre empresas, associações industriais e o poder público, com suporte de políticas públicas robustas e incentivos que estimulem uma mudança comportamental e estrutural em direção à sustentabilidade. O estudo de Neves et al. (2019) explicitam que há a necessidade de propor fatores que promovam ou facilitem a implementação da simbiose industrial e da economia circular em parques industriais. Ainda sobre os autores, eles mencionam que as dimensões analisadas pelo estudo são impulsionadas por fatores, como proximidade geográfica, políticas públicas e benefícios econômicos.

O presente estudo se diferencia, pois menciona que a transição para um ecoparque industrial exige esforços coordenados nas frentes Poder Público, Capacidade Organizacional, Infraestrutura Circular, Dinâmica Econômica e Tecnológica e Troca de Materiais, para isso, urge-se a identificação de barreiras sociais, tecnológicas, institucionais, regulatórias e financeiras. De acordo com estudos e entrevistas realizadas, é improvável que avanços na transformação para um ecoparque ocorram sem alinhamento de questões sociais que dificultam a cooperação e a integração entre empresas. Assim, é fundamental implementar padrões ambientais rigorosos, esquemas para a utilização abrangente de recursos, apoio financeiro e diretrizes claras de planejamento ambiental e de ecoparques. O estudo evidencia que a transformação espontânea do parque para a lógica de um ecoparque não ocorrerá sem planejamento estratégico e intervenções estruturadas. No estudo de Butturi et al., (2019) há a menção de que as barreiras incluem a falta de expertise técnica e gerencial interna e a dificuldade de lidar com questões técnicas, econômicas, ambientais e sociais. Além disso, destacam que devem existir iniciativas e esforços coletivos para superar essas barreiras.

Somado a isso, Afshari Farel e Peng (2018) destacam que a implementação de parques industriais na lógica de economia circular enfrenta barreiras, como a complexidade organizacional, decorrente da diversidade de stakeholders e objetivos conflitantes, e a ausência de ferramentas para mensurar a lucratividade e os impactos ambientais das sinergias industriais. Além disso, os elevados custos de infraestrutura, como tubulações e equipamentos de troca de calor, e a necessidade de proximidade geográfica entre as unidades industriais dificultam a viabilidade das trocas de energia.

Também são mencionados os conflitos de interesse entre stakeholders, que precisam ser conciliados com os objetivos globais da rede do parque industrial. Os autores também destacaram a necessidade de superar essas barreiras, eles propõem modelos de otimização (sugestões) baseados em análises de custo-benefício e impacto ambiental, visando decisões mais informadas e sustentáveis.

Dessa forma, é necessário que haja sugestões de estratégias de mitigação para os desafios sociais, financeiros, regulatórios, tecnológicos e institucionais na transformação do parque industrial em um ecoparque (lógica de economia circular). Son, Oh e Ban (2023) apresentam estratégias para superar as barreiras para transicionar um parque industrial rumo a sustentabilidade com lógica de economia circular, sendo elas (a) construção de banco de dados (BD) para subprodutos e resíduos; (b) estabelecimento de um centro de informações em um parque industrial; (c) análise do fluxo de materiais e resíduos; (d) estabelecimento de estratégias de rede de circulação de recursos; (e) desenvolvimento de modelo de rede de circulação de recursos; (f) conexão e estabelecimento de infraestrutura física para a economia circular; (g) estabelecimento de instalações conjuntas de tratamento de resíduos e reciclagem; (h) tecnologia para minimizar resíduos ou subprodutos; (i) desenvolvimento de tecnologia inovadora para análise do fluxo de materiais; (j) aquisição e criação de áreas verdes; (k) conquista de design sustentável; (l) melhoria do ambiente de trabalho; (m) uso de tecnologia ambientalmente amigável no transporte e na arquitetura; (n) utilização de terrenos ambientalmente amigáveis dentro do cluster; (o) implementação de projeto para reduzir a poluição ambiental (aumentando a eficiência energética e reduzindo gases de efeito estufa); (p) sistema de cooperação entre empresas; (q) sistema de cooperação entre governo/comunidade local/clusters industriais; (r) sistema de cooperação para apoiar informações tecnológicas em grupos especializados, como universidades; (s) fornecimento de subsídios para instalações ambientais, benefícios fiscais e incentivos; (t) treinamento de funcionários para uma cultura compartilhada; (u) construção de um sistema de suporte extensivo; (v) esforços para melhorar leis e instituições relacionadas; (w) seminários de negócios e atividades de workshop; (x) atividades promocionais; (y) autossuficiência de grupos locais de EIP (centro) e; (z) fomento do capital humano.

Atanasovska et al. (2022) complementam informando estratégias, sendo a (a) utilização de fontes de energia renovável na produção, abordagens de ACV para monitorar a produção com base em KPIs integrados e estratégias de pequena escala para agricultura familiar – ou associações. Além disso, destaca-se a (b) otimização constante

da produção para eficiência de recursos, com foco na limitação da superprodução e no controle de pedidos em excesso. Também são implementadas (d) estratégias para compras locais ou regionais nas proximidades de parques ecoindustriais, com a disponibilidade de indicadores de impacto na comunidade, como criação de empregos, redução da desigualdade e segurança alimentar. As práticas de (e) reciclagem, reúso e redistribuição incluem a venda de resíduos para outras empresas, a otimização dos fluxos de reciclagem com reutilização de resíduos de fabricação e o desenvolvimento de fertilizantes a partir da reciclagem e do reúso. Também sugere-se (f) centros de separação e reciclagem de resíduos, com o uso de sobras, lixo e resíduos para fabricação de novos produtos. Além disso, (g) metas para reprocessamento e remanufatura, uso de embalagens circulares e estratégias internas para reduzir o uso de matéria-prima, além do reuso de materiais de limpeza de equipamentos. No âmbito do relacionamento e engajamento de partes interessadas, que incluem agricultores, agronegócios, transportadores, varejistas, sindicatos e clientes, as práticas envolvem estratégias de (h) seleção sustentável, circular e social de fornecedores e partes interessadas, com avaliação de desempenho ambiental e social da cadeia de suprimentos. Há sugestão de (i) certificação e auditoria dos valores ambientais, circulares e sociais das partes interessadas, colaboração e cooperação conjunta com stakeholders de parques ecoindustriais para treinamento e redesenho de processos. Para a gestão de recursos humanos propõe-se o (j) apoio da alta e média administração, juntamente com (k) programas de treinamento voltados para os funcionários, com o objetivo de fomentar a implementação eficiente das práticas mencionadas.

Com isso, foram selecionados Son, Oh e Ban (2023) e Atanasovska et al. (2022) que apresentam estratégias para mitigar as problemáticas para transicionar os parques industriais para uma lógica de economia circular. Observou-se que ao propor estratégias que mitiguem as barreiras, este estudo apresenta proposições que se diferem a estudos anteriores, principalmente ao abordar estratégias de (a) implementar bonificações por resultados sustentáveis; (b) realizar campanhas regulares de educação ambiental; (c) dinamizar fóruns com metas colaborativas; (d) criar políticas fiscais com isenções para empresas do ecoparque; (e) desenvolver relatórios que comprovem os ganhos financeiros sustentáveis; (f) destinar fundos públicos e privados para infraestrutura ambiental; (g) criar programas de subsídios específicos para tecnologias sustentáveis; (h) Promover capacitações sobre competências dos órgãos ambientais e; (h) descentralizar decisões

para aumentar a eficiência local. Com isso, o Quadro 9 apresenta proposição de estratégias para superar as barreiras identificadas.

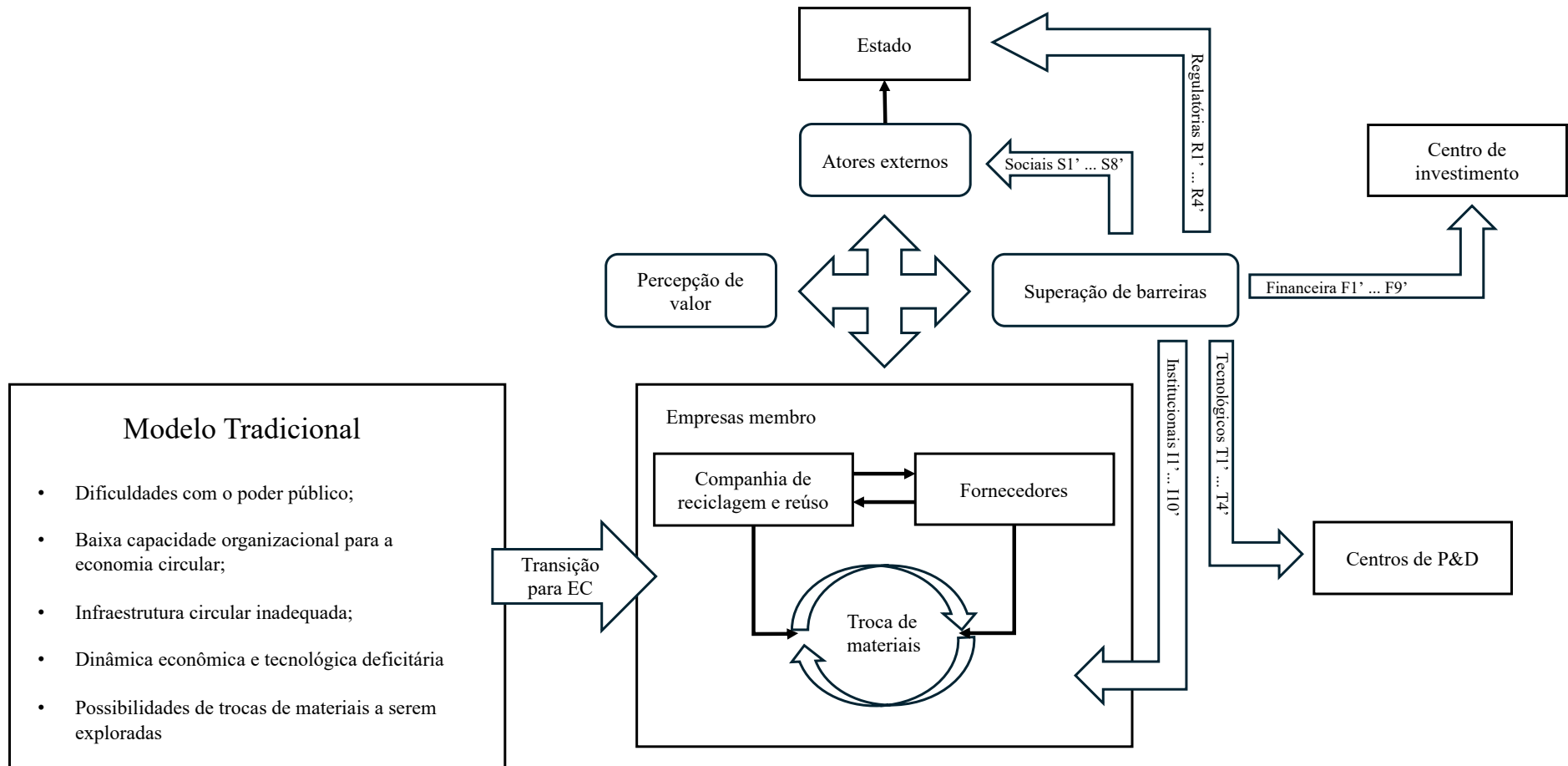
Quadro 9 - Proposição de estratégias para superar as barreiras identificadas.

Barreiras	Unidade de Registro	Estratégia
Sociais	<p>S1: Falta de mão de obra qualificada para operações circulares;</p> <p>S2: Falta de engajamento dos colaboradores por ausência de incentivos financeiros;</p> <p>S3: Falta de conscientização e comunicação contínua sobre educação ambiental;</p> <p>S4: Baixa adesão e integração nas reuniões e fóruns temáticos;</p> <p>S5: Assimetria na troca de resíduos e a necessidade de atender aos requisitos de disponibilidade e qualidade;</p> <p>S6: Necessidade de validação de fornecedores com certificações ambientais;</p> <p>S7: Gargalos na troca de resíduos entre empresas e outras organizações;</p> <p>S8: Necessidade de discutir práticas de gestão e reaproveitamento de resíduos com gestores do parque industrial.</p>	<p>S1': Promover treinamentos técnicos em práticas circulares;</p> <p>S2': Implementar bonificações por resultados sustentáveis;</p> <p>S3': Realizar campanhas regulares de educação ambiental;</p> <p>S4': Dinamizar fóruns com metas colaborativas;</p> <p>S5': Criar plataformas digitais para monitorar resíduos;</p> <p>S6': Exigir fornecedores com certificações ambientais;</p> <p>S7': Melhorar a infraestrutura para troca de resíduos;</p> <p>S8': Organizar reuniões periódicas sobre gestão de resíduos.</p>
Financeiras	<p>F1: Falta de incentivos financeiros para empresas do ecoparque;</p> <p>F2: Necessidade de justificar os benefícios financeiros das práticas sustentáveis;</p> <p>F3: Falta de programas de remuneração variável e premiações;</p> <p>F4: Busca por financiamento ou subsídios do governo para melhorar a infraestrutura logística;</p> <p>F5: Necessidade de suporte financeiro, como investimentos em centrais de resíduos e biodigestores;</p> <p>F6: Necessidade de adquirir tecnologias para maximizar a geração de receitas com resíduos;</p> <p>F7: Restrição financeira para aquisição de tecnologias;</p> <p>F8: Assimetria entre oferta de resíduos, demanda e os custos associados às transações;</p> <p>F9: Falta de incentivos financeiros para a utilização de resíduos como insumos.</p>	<p>F1': Criar políticas fiscais com isenções para empresas do ecoparque;</p> <p>F2': Desenvolver relatórios que comprovem os ganhos financeiros sustentáveis;</p> <p>F3': Implementar sistemas de remuneração variável com foco em circularidade;</p> <p>F4': Estabelecer parcerias público-privadas para financiar a logística;</p> <p>F5': Destinar fundos públicos e privados para infraestrutura ambiental;</p> <p>F6': Buscar financiamentos ou linhas de crédito para tecnologias de resíduos;</p> <p>F7': Criar programas de subsídios específicos para tecnologias sustentáveis;</p> <p>F8': Desenvolver plataformas para alinhar oferta, demanda e custos de resíduos;</p> <p>F9': Oferecer incentivos fiscais para empresas que utilizem resíduos como insumos.</p>

Regulatórias	<p>R1: Dificuldades ao entender as competências dos órgãos ambientais;</p> <p>R2: Dificuldade com parcerias devida à burocracia e complexidade do processo de licenciamento;</p> <p>R3: Dificuldades com a adoção de políticas ambientais como "aterro zero" e "selo verde";</p> <p>R4: Necessidade de regulamentação e normativas específicas para destinação ou reaproveitamento de resíduos.</p>	<p>R1': Promover capacitações sobre competências dos órgãos ambientais;</p> <p>R2': Simplificar processos de licenciamento para parcerias empresariais;</p> <p>R3': Criar incentivos para adoção de práticas como "aterro zero" e "selo verde";</p> <p>R4': Desenvolver regulamentações claras para reaproveitamento de resíduos.</p>
Tecnológicas	<p>T1: Falta de infraestrutura adequada (como sistemas de descarte de efluentes e canalização de água);</p> <p>T2: Falta de capacidade tecnológica para processar todos os resíduos;</p> <p>T3: Ausência ou limitação de tecnologias avançadas para o reaproveitamento de resíduos;</p> <p>T4: Dificuldade de adaptação tecnológica para processos de tratamento de resíduos visando circularidade.</p>	<p>T1': Investir em infraestrutura básica para efluentes e canalização de água;</p> <p>T2': Ampliar a capacidade tecnológica com novos equipamentos;</p> <p>T3': Desenvolver e adotar tecnologias avançadas de reaproveitamento;</p> <p>T4': Implementar soluções tecnológicas adaptadas para circularidade.</p>
Institucionais	<p>I1: Falta de apoio contínuo dos órgãos ambientais, evidenciando a sua atuação reativa com fiscalizações;</p> <p>I2: Dificuldade de coordenação e comunicação entre órgãos ambientais;</p> <p>I3: Dependência de níveis hierárquicos mais altos para decisões;</p> <p>I4: Falta de programas estruturados e unificados;</p> <p>I5: Falta de engajamento em iniciativas colaborativas;</p> <p>I6: Falta de ação governamental para resolver os problemas de infraestrutura;</p> <p>I7: Falta de incentivos fiscais e a centralização de transações internas; I8: Ausência de mecanismos para controlar e otimizar a relação oferta-demanda;</p> <p>I9: Falta de governança clara para implementar estratégias de circularidade;</p> <p>I10: Necessidade de políticas públicas mais robustas para incentivar práticas sustentáveis, como o reúso de água e o reaproveitamento de gases e resíduos sólidos.</p>	<p>I1': Estabelecer interações contínuas entre empresas e órgãos ambientais;</p> <p>I2': Criar canais diretos de comunicação entre órgãos ambientais;</p> <p>I3': Descentralizar decisões para aumentar a eficiência local.</p> <p>I4': Desenvolver programas estruturados e integrados entre órgãos e empresas;</p> <p>I5': Promover iniciativas colaborativas com metas e benefícios claros;</p> <p>I6': Priorizar investimentos públicos para resolver gargalos de infraestrutura;</p> <p>I7': Criar incentivos fiscais e descentralizar transações internas;</p> <p>I8': Implementar sistemas de controle para alinhar oferta e demanda de resíduos;</p> <p>I9': Definir governança clara para coordenação de estratégias de circularidade;</p> <p>I10': Desenvolver políticas públicas focadas no reúso de água e reaproveitamento de resíduos.</p>

Com base no exposto, urge-se propor um modelo de transição de parques industriais com foco na economia circular. Cada pilar identificado neste estudo está detalhado em dois momentos, o estado inicial (parque industrial convencional) e o estado de transformação (ecoparque industrial), sendo interligados por estratégias que indicam os caminhos necessários para essa evolução. Dessa forma, propõem-se na Figura 18, um modelo de transição de parques industriais em direção à economia circular com base nos achados deste estudo.

Figura 19 - Modelo de transição de parques industriais em direção à economia circular



A Figura 18 representa a transição de um modelo tradicional de parque industrial para um ecoparque industrial baseado na lógica da economia circular. O modelo tradicional é caracterizado por dificuldades relacionadas ao poder público, baixa capacidade organizacional para práticas circulares, infraestrutura circular inadequada, dinâmica econômica e tecnológica deficitária, além de possibilidades pouco exploradas de troca de materiais. Esses aspectos entram em acordo com as barreiras identificadas nos estudos de Ceglia, Abreu e Silva Filho (2017), sendo elas classificadas como sociais, tecnológicas, regulatórias, financeiras e institucionais.

Kaplan (2023) assevera que a transformação dos parques industriais para eco-parques é vista como um exemplo prático da institucionalização da economia circular. Contudo, as limitações do mercado, como o foco em ganhos de curto prazo e a dependência de estruturas existentes, dificultam essa transição sem suporte externo (sem o Estado). Dessa forma, o Estado, com sua capacidade institucional e recursos regulatórios, financeiros e tecnológicos, é um agente catalisador dessa transição e não pode ser negligenciado. Ainda sobre Kaplan (2023), o Estado deve atuar de maneira empreendedora, criando infraestruturas apropriadas, promovendo sinergias entre empresas e oferecendo suporte regulatório e financeiro. Kaplan (2023) contribui com os achados deste trabalho na medida em que apresenta que o stakeholder Estado, de forma a propor estratégias, permite superar barreiras estruturais e facilita a criação de redes sociais e econômicas que suportam ações circulares. Com isso, a colaboração entre o Estado e o complexo industrial é um catalisador para essa transformação.

Para Nimesh (2022) a principal ideia de transição para eco-parques industriais é impulsionada por uma abordagem sistemática, que integra um tripé composto por política pública, práticas de simbiose industrial e desenvolvimento sustentável. O autor destacou estratégias como: (a) métodos centralizados no Estado, com planos para definição de metas claras para a economia circular, incluindo indicadores de sustentabilidade como eficiência energética e uso de recursos; (b) redes de troca de resíduos e recursos entre empresas dentro dos parques para promover a reutilização e reciclagem, reduzindo emissões e otimizando custos; (c) implementação de centros de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para servirem como bases experimentais para inovações tecnológicas e organizacionais, com suporte financeiro e regulatório do governo e; (d) destacar a legitimidade de promoção de benefícios ambientais (como redução de resíduos e uso de energia renovável) e sociais (aumento de capital social e atitudes sustentáveis), para aumentar os lucros financeiros.

A transição para a economia circular é simbolizada como um processo que conecta o modelo tradicional ao ecoparque, sendo viabilizada por atores internos e externos, como o Estado, centros de pesquisa e desenvolvimento (P&D), centros de investimento, e empresas membros. Timm et al. (2023) destacam o papel de múltiplos stakeholders, incluindo órgãos regulatórios, instituições de pesquisa, e organizações internacionais na implementação de estratégias de economia circular e transição para parques industriais. Com isso, este estudo contribui ao mencionar a relevância da colaboração interorganizacional e o suporte governamental como facilitadores essenciais para a transição circular. Somado a isso, a percepção de valor, especialmente em empresas (pois visam o lucro) demonstra como práticas circulares reduzem custos, melhoram a eficiência e criam oportunidades de negócios.

A necessidade do ator interno é destacada também por Yu, Jong e Dijkema (2014) que informam que esses atores são empresas e organizações participantes do parque industrial, que entendem a percepção de valor sobre a transição para economia circular, somado a isso, Chertow (1998) informa que deve sempre existir uma empresa âncora que sirva como ponto de partida para que outras empresas entrem no parque industrial. Jean-Pierre et al. (2019) informam que esses atores internos devem identificar sinergias entre si. Nas palavras de Schultz e Reinhardt (2023), Son et al. (2023) e Bruel e Godina (2023) a importância dos atores internos é destacada como fundamental para que haja trocas de materiais entre as empresas dentro de um complexo industrial. Sobre a questão de agregar valor aos resíduos, a inovação em processos produtivos é fundamental para aumentar a qualidade dos materiais reciclados e viabilizar a economia circular (Schultz; Reinhardt, 2023). Outro ponto é a inserção de contratos inteligentes, para que possam utilizar tecnologias de ponta como Blockchain e Inteligência Artificial para rastrear os contratos e gerar um balanço da questão da oferta e a procura de cada empresa (Bruel; Godina, 2023).

Nas palavras de Kowalski et al., (2023) para que haja uma transformação efetiva de parques industriais na lógica de economia circular, urge-se que a transformação ocorra pela integração de fluxos de materiais, energia e resíduos entre empresas interdependentes, criando um subsistema de ciclo fechado. Dessa forma, o desenvolvimento de redes que aproveitam subprodutos e resíduos como insumos para outras empresas, promovem economia de recursos e redução de resíduos (Huong, 2023). Para os autores, esse modelo abrange desde a produção agrícola até o reaproveitamento de resíduos para bioenergia e fertilizantes, reduzindo custos operacionais. Além disso,

Timm et al. (2023), Kowalski et al., (2023) e (Schützenhofer et al., 2022) destacam que a cooperação interorganizacional e a proximidade geográfica das empresas, bem como elencam que a metodologia apropriada para destacar as trocas materiais é a Avaliação de Ciclo de Vida, maximizam as sinergias e diminuem barreiras, como falta de conhecimento técnico, financiamento limitado e desafios. Com isso, há a menção da importância de um subsistema que possibilite as interações entre empresas membro, conforme apresentado na figura 18, neste caso, tendo a relação das empresas com localidade geográfica próxima, somado a fornecedores e companhias de reciclagem e reúso para efetivar as trocas materiais.

Como atores externos, são mencionados por Yu, Jong e Dijkema (2014), como o Comitê Administrativo e o Centro de Planejamento Ambiental (EPB), além de órgãos responsáveis pelo licenciamento ambiental. Complementando, Tseng et al. (2021) apontam que o quadro político e regulatório promove a colaboração entre empresas durante a transição para ecoparques industriais, indicando a influência do Estado. Ainda sobre Yu, Jong e Dijkema (2014), os institutos de pesquisa e especialistas são destacados como provedores de conhecimento técnico, essenciais para o desenvolvimento e evolução de sistemas de economia circular. Negesa et al. (2022) informa que a importância dos centros de P&D está na sua contribuição para a conformidade com padrões internacionais de sustentabilidade. Dessa forma, entende-se que a construção de parques industriais promove inovação e melhora a eficiência de produtiva por meio de aglomeração industrial (empresas colocalizadas) e desenvolvimento de novas tecnologias (Wen et al., 2024) que podem ser facilitadas pela atuação de atores como centros de P&D e o Estado. Bilyaminu et al. (2024) sugerem que para a formação de parques industriais com lógica de Economia Circular, urge-se que haja a criação de centros de pesquisa e desenvolvimento, uma vez que esses atores têm a missão para explorar sinergias e oportunidades de simbiose industrial.

Yu, Jong e Dijkema (2014) destaca a necessidade de um centro de investimentos destacado como um ator responsável pela gestão de lucros e investimentos no ecossistema do parque industrial. Complementando, Perrucci et al. (2022) ressaltam que o suporte financeiro e os incentivos fiscais oferecidos por atores externos, auxiliam a implementação de práticas circulares em parques industriais. Somado a isso, Bilyaminu et al. (2024) destaca que a transformação de parques industriais na lógica de Economia Circular requer investimentos direcionados e políticas de apoio, incluindo o papel de atores externos, como governos e centros de investimento, para

viabilizar essa transição, eles identificaram problemas referentes a falta de infraestrutura adequada e o baixo desempenho ambiental nos parques atuais que podem ser superadas com investimentos específicos, além de destacar que centros de investimento são recomendados como agentes fundamentais para financiar infraestrutura circular e integração de energias renováveis para a viabilização de estratégias sustentáveis nos parques em transição.

A "percepção de valor", representa a mudança cultural e comportamental necessária para impulsionar a adoção de práticas circulares. Essa percepção engaja as empresas e outros atores envolvidos. Bertassini et al. (2021) e Tronvoll et al. (2020) destacam a necessidade de uma mudança cultural e comportamental dentro das organizações para implementar a Economia Circular (EC), por meio da criação de uma visão alinhada com a circularidade, juntamente com o engajamento dos funcionários e a comunicação de valores centrais, além da adesão às práticas circulares. Outro quesito importante é o aumento de valor para gestores públicos e empresas do complexo, dessa forma, políticas de inovação tecnológica e aglomeração industrial aumentam a percepção de valor econômico e ambiental dos parques industriais (Wen et al., 2024).

Somado a isso, Kumar et al. (2019) ressaltam que a conscientização e o engajamento dos funcionários e partes interessadas são essenciais para disseminar o conhecimento e fortalecer a adoção da EC, indicando que a percepção de valor influencia diretamente o comportamento organizacional. A "percepção de valor" incentiva a colaboração e a adoção de práticas circulares, pois leva as empresas a enxergarem os resíduos como recursos valiosos e os fluxos materiais como oportunidades econômicas e ambientais. Oughton et al. (2022) ressaltam que a quebra de barreiras de confiança e a promoção da governança colaborativa são necessárias para impulsionar a troca de materiais e garantir o sucesso das iniciativas de simbiose industrial.

Em síntese, este estudo apresentou cinco pilares para a transição de um parque industrial para a lógica da economia circular que são interdependentes e requerem uma abordagem integrada para sua implementação. O primeiro pilar, Poder Público, destaca o papel das instituições governamentais na criação de políticas públicas e regulamentos que incentivem práticas circulares. Isso inclui a definição de normas claras, a oferta de incentivos fiscais e o planejamento estratégico para a integração de empresas no ecossistema circular. Além disso, é necessário mitigar barreiras como a burocracia e a complexidade no processo de licenciamento ambiental, promovendo uma governança eficiente que facilite a transição.

O segundo pilar, Capacidade Organizacional, enfoca o fortalecimento das competências internas das organizações. Lideranças devem ser capacitadas para adotar a economia circular como estratégia competitiva, promovendo inovações nos processos produtivos. A qualificação da mão de obra também é essencial, com treinamentos e capacitações técnicas para práticas circulares. O engajamento dos colaboradores e a colaboração entre empresas são igualmente importantes para fomentar a troca de conhecimento e a adesão a iniciativas colaborativas.

A Infraestrutura Circular constitui o terceiro pilar e aborda a necessidade de investimentos em sistemas logísticos, plantas de tratamento de resíduos e tecnologias para reaproveitamento de recursos. Proximidade geográfica entre empresas é um fator crítico para facilitar a troca de materiais e reduzir custos logísticos. Além disso, a integração de fontes de energia renovável e sistemas eficientes de gestão de água e resíduos são fundamentais para garantir a sustentabilidade das operações industriais.

O quarto pilar, Dinâmica Econômica e Tecnológica, destaca a relevância da inovação tecnológica e da análise econômica na viabilização de práticas circulares. Modelos de negócios que utilizem resíduos como insumos econômicos têm potencial para gerar novas receitas, enquanto a implementação de tecnologias avançadas pode otimizar o reaproveitamento de materiais e reduzir impactos ambientais. A aplicação de indicadores de circularidade, como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), é crucial para medir o desempenho sustentável e orientar as decisões estratégicas.

Por fim, o quinto pilar, Troca de Materiais, é a base da simbiose industrial e promove o uso eficiente de recursos. A colaboração entre empresas dentro dos parques industriais deve ser incentivada por meio de redes de comunicação e governança claras, possibilitando a troca contínua de subprodutos. Regulamentações específicas e certificações ajudam a garantir a qualidade e a segurança dos materiais reaproveitados, enquanto o aproveitamento de resíduos como insumos reduz a dependência de matérias-primas virgens e minimiza impactos ambientais. Esses pilares, atuando em sinergia, são fundamentais para superar barreiras sociais, econômicas, tecnológicas, regulatórias e institucionais, assegurando o sucesso da transição para a economia circular.

O modelo proposto para a transição de parques industriais para a lógica da economia circular apresenta avanços importantes na estruturação de sistemas mais sustentáveis, mas também enfrenta diversas limitações que precisam ser consideradas para sua implementação efetiva. Entre as principais barreiras associadas ao pilar do Poder Público, destacam-se a complexidade regulatória e a fragmentação das políticas

ambientais. A sobreposição de competências entre diferentes níveis de governo pode resultar em burocracia excessiva e incertezas jurídicas, dificultando o planejamento e a execução de iniciativas circulares. Além disso, a falta de incentivos consistentes, decorrente da instabilidade política e econômica, pode levar à descontinuidade de programas de apoio, comprometendo o engajamento de empresas no longo prazo.

No âmbito da Capacidade Organizacional, a baixa qualificação da mão de obra é um dos principais desafios. Muitas empresas não possuem equipes técnicas ou lideranças capacitadas para operar sistemas circulares, o que limita a adoção de práticas inovadoras. Aliado a isso, barreiras culturais e organizacionais, como o foco em resultados financeiros de curto prazo, podem desestimular investimentos em circularidade, mesmo quando os benefícios de longo prazo são evidentes. A resistência cultural, portanto, torna-se um obstáculo significativo para a transformação.

A Infraestrutura Circular enfrenta limitações críticas, como deficiências estruturais em sistemas de coleta, reciclagem e logística compartilhada, especialmente em economias emergentes. Essas lacunas comprometem o reaproveitamento de recursos e dificultam a implementação de redes de simbiose industrial. Além disso, os altos custos de implantação ou adaptação de infraestrutura circular representam um desafio considerável, particularmente para empresas de pequeno e médio porte, que muitas vezes não possuem recursos financeiros para investir em tecnologias e instalações avançadas.

Na esfera da Dinâmica Econômica e Tecnológica, os desafios tecnológicos são evidentes, com a falta de acesso a tecnologias acessíveis e adaptadas às realidades locais. Isso limita o reaproveitamento de resíduos e a otimização de processos industriais. Ademais, a dependência de tecnologias avançadas pode inviabilizar o modelo em regiões com baixo desenvolvimento tecnológico. Do ponto de vista econômico, a assimetria entre a oferta e a demanda de resíduos entre empresas dentro de um parque industrial pode gerar gargalos logísticos e custos elevados, reduzindo a atratividade financeira das práticas circulares.

Por fim, a Troca de Materiais, que é essencial para a simbiose industrial, enfrenta desafios relacionados à complexidade das redes de troca. Estabelecer relações simbióticas entre empresas requer altos níveis de coordenação e comunicação, que podem ser difíceis de alcançar em complexos industriais grandes e heterogêneos. Além disso, a inconsistência na qualidade e na quantidade dos resíduos disponíveis para troca pode limitar a eficácia do modelo, tornando-o economicamente arriscado para algumas empresas.

De forma geral, a implementação do modelo também enfrenta barreiras amplas, como a falta de engajamento dos stakeholders, a insuficiência de dados e informações para planejar práticas circulares e a resistência de mercados e consumidores a produtos reciclados ou reutilizados. Além disso, a questão da escalabilidade é um desafio: práticas bem-sucedidas em um contexto local ou regional podem não ser facilmente replicadas em larga escala, exigindo adaptações. Essas limitações ressaltam a necessidade de abordar o modelo com flexibilidade, permitindo ajustes às condições locais e regionais, além de implementar estratégias de mitigação, como programas de capacitação, incentivos econômicos robustos e fortalecimento de parcerias público-privadas, para superar os desafios e viabilizar a transição efetiva para a economia circular em parques industriais.

Dessa forma, este capítulo apresenta uma análise abrangente sobre a transição de parques industriais para a lógica da economia circular, evidenciando que a transformação requer um esforço coordenado entre empresas, governo e outros atores externos, apoiado por políticas públicas robustas, infraestrutura adequada, inovação tecnológica e colaboração interorganizacional. Embora o modelo proposto ofereça uma estrutura promissora para impulsionar práticas circulares, são reconhecidas barreiras significativas, como deficiências em qualificação, custos elevados, complexidade regulatória e resistências culturais. Dessa forma, a superação dessas limitações depende de uma combinação de estratégias integradas, como incentivos fiscais, investimentos em infraestrutura, programas de capacitação e governança eficaz, garantindo que a economia circular seja viável tanto no nível local quanto no global.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo propor oportunidades de transição à sustentabilidade com lógica de economia circular para um complexo industrial e portuário, com base em uma análise detalhada de processos fabris, produtos, resíduos e problemas organizacionais identificados por meio de entrevistas realizadas com gestores das empresas presentes no complexo em estudo. A pesquisa revelou que a transição para a economia circular é um processo multifacetado, que exige a interação sistêmica de aspectos relacionados ao: Poder Público, Capacidade Organizacional, Infraestrutura Circular, Dinâmica Econômica e Tecnológica e Troca de Materiais. O objetivo foi atingido ao integrar os achados de mapeamento por meio da revisão de escopo com os EIA/RIMA das empresas, barreiras identificadas por meio das entrevistas e análise de conteúdo e pilares estruturantes (união dos resultados e realização da discussão), culminando em uma proposta prática e detalhada para a transição sustentável de complexo industrial e portuário.

O primeiro objetivo específico almejou mapear os processos fabris, os produtos e os resíduos das empresas do complexo industrial e portuário. Ele foi atingido por meio da proposição da união entre a revisão de escopo e análise de documentos de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dos anos de 2001 a 2019. Esses dados foram utilizados para categorizar os processos fabris, os produtos gerados e os resíduos produzidos pelas empresas no complexo. Ao final, houve a realização de um relatório qualitativo de oportunidades de circularidade por trocas de materiais.

Para o segundo objetivo específico que era eferente a identificação de barreiras enfrentadas por um complexo industrial e portuário para sua transição à sustentabilidade com lógica de economia circular, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com gestores e representantes das empresas do complexo industrial. Os dados obtidos foram analisados por meio da análise de conteúdo que permitiu identificar barreiras em quatro pilares principais: (a) controle institucional - Burocracia no licenciamento ambiental e falta de governança clara; (b) capacidade organizacional – principalmente a escassez de lideranças focadas em circularidade e mão de obra qualificada; (c) infraestrutura circular – principalmente a questão das dificuldades logísticas e ausência de infraestrutura adequada para trocas de resíduos e; (d) dinâmica

econômica e tecnológica - desequilíbrios na oferta e demanda de resíduos e falta de tecnologias avançadas.

O terceiro objetivo específico era referente ao apontamento dos pilares para a transição de um complexo industrial e portuário para uma lógica de economia circular, nele, houve a proposição e união dos resultados referentes ao primeiro objetivo específico (revisão de escopo com o EIA/RIMA) e o segundo objetivo específico (entrevista com os gestores e a análise de conteúdo). Essa unificação permitiu a realização da discussão dos resultados, bem como a realização do atingimento do objetivo geral do estudo.

A transição para a economia circular em complexos industriais exige uma abordagem integrada, envolvendo o Estado, as empresas e a sociedade. O Estado estabelece diretrizes claras, promove incentivos fiscais e financeiros e reduz a burocracia, que atualmente representa um entrave para as operações. A descentralização decisória e uma maior articulação entre os órgãos ambientais federais e estaduais são possíveis soluções para simplificar o licenciamento ambiental e melhorar a eficiência regulatória. As empresas, por sua vez, devem fortalecer suas capacidades organizacionais, com lideranças comprometidas, qualificação de mão de obra e adoção de práticas sustentáveis como estratégia organizacional. Investimentos em inovação tecnológica são indispensáveis para viabilizar o reaproveitamento de resíduos, agregar valor econômico e reduzir impactos ambientais. Além disso, a ampliação de programas de educação ambiental internos e externos pode fomentar uma cultura de sustentabilidade que abranja tanto funcionários quanto comunidades locais.

Melhorias na logística, redes de tratamento de efluentes e sistemas de gestão de resíduos são necessárias para viabilizar a troca eficiente de materiais entre empresas. A falta de equilíbrio entre a oferta e a demanda de resíduos, assim como os altos custos de transporte, deve ser superada, uma possível solução é a majoração da coordenação entre as partes interessadas e políticas públicas específicas que incentivem o reuso e a circularidade de materiais que antes seriam descartados. Soluções como construção de uma cultura de cooperação interempresarial e a participação ativa em fóruns de sustentabilidade são essenciais para fomentar parcerias estratégicas e consolidar a economia circular como um modelo competitivo. Somente com esforços conjuntos e bem coordenados será possível transformar os complexos industriais em ecoparques eficientes, alinhados aos princípios da economia circular, garantindo desenvolvimento econômico sustentável e menor impacto ambiental.

A troca de materiais também é um pilar para a transição de parques industriais para ecoparques industriais, pois promove a circularidade ao transformar resíduos em insumos produtivos. Contudo, sua efetiva implementação depende de ações integradas para superar desafios em diversas dimensões. Engajar gestores em práticas de reaproveitamento, criar incentivos financeiros que viabilizem investimentos, estabelecer regulamentações específicas que assegurem segurança e eficiência, promover avanços tecnológicos que facilitem o tratamento de resíduos e consolidar uma governança clara respaldada por políticas públicas robustas são possíveis soluções apontadas por este estudo.

A contribuição deste trabalho é tríplice. Do ponto de vista teórico, este estudo avança ao integrar diferentes perspectivas sobre economia circular, simbiose industrial e institucionalização de resíduos, propondo um modelo sistêmico que abrange dimensões institucionais, organizacionais, infraestruturais e econômico-tecnológicas. Este modelo pode ser utilizado como referência para estudos futuros na área. Em termos empíricos, a pesquisa fornece uma análise das principais barreiras de um complexo industrial e portuário brasileiro, bem como propõe mecanismos que mitigam essa problemática, contribuindo com dados reais e insights sobre os desafios e oportunidades da transição para a economia circular em contextos locais. Socialmente, o trabalho destaca a importância de integração entre empresas, governo e sociedade, além de propor soluções que podem beneficiar tanto o meio ambiente quanto as comunidades que dependem direta ou indiretamente das atividades industriais

Como limitações, destaca-se a especificidade do contexto analisado, que pode dificultar a generalização dos resultados para outros complexos industriais e portuários. Além disso, o estudo foi conduzido predominantemente com base em dados qualitativos, o que sugere a necessidade de estudos futuros que incluam abordagens quantitativas para complementar os achados. Para pesquisas futuras, sugere-se explorar o impacto da implementação de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial, na gestão de resíduos e na otimização de processos industriais. Ademais, investigar modelos de governança colaborativa e sistemas de incentivos financeiros pode contribuir para superar barreiras institucionais e econômicas, acelerando a transição para uma economia circular efetiva. Assim, esta dissertação reforça a importância de uma abordagem integrada e sistêmica para promover a sustentabilidade em complexos industriais e portuários, contribuindo para o desenvolvimento de um modelo econômico mais eficiente e ambientalmente responsável. Somente com a integração desses pilares será possível

viabilizar a transformação de ecoparques industriais como protagonistas na economia circular.

Como sugestão de pesquisas futuras, este trabalho propõe a realização de revisão bibliométrica para entender o estado da arte da pesquisa científica sobre a economia circular em parques industriais e portuários, bem como a investigação do impacto da implementação de tecnologias emergentes na gestão de resíduos e na otimização de processos industriais em complexos industriais. Outro ponto a ser estudado é o exame da relação de estruturas de governança colaborativa com a coordenação entre empresas, órgãos reguladores e outros stakeholders, com foco na redução de barreiras institucionais e econômicas. O desenvolvimento e validação de indicadores específicos para medir o sucesso da economia circular em complexos industriais, incluindo métricas para monitorar fluxos de resíduos e eficiência das trocas de materiais também é uma opção.

## REFERÊNCIAS

ABEBE, Girum; BUEHREN, Niklas; GOLDSTEIN, Markus. Do Factory Jobs Improve Welfare? Experimental Evidence from Ethiopia. **The World Bank Economic Review**, [S.L.], v. 1, n. 7, p. 15, 2024.

ABREU, Mônica Cavalcanti Sá de et al. Does self-organizing policy network provide effective waste services? An empirical evaluation of institutional collective action and transaction cost dilemmas. **Public Administration and Development**, [S.L.], v. 1, n. 44, p. 157-169, 2024.

ABREU, Mônica Cavalcanti Sá de; MOTA, Renata Castro; PAULA, Eugênia Vale de. Identificação de barreiras e proposição de caminhos para implantação de projetos de simbiose industrial. **Revista de Administração da Ufsm**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 517-534, 29 jul. 2020.

ABREU, Mônica Cavalcanti Sá de; MOTA, Renata Costa; PAULA, Eugênia Vale de. Identifying barriers and proposing a roadmap to develop industrial symbiosis projects. **Brazilian Journal of Management**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 517-534, 2020.

ABU-QDAIS, Hani; KURBATOVA, Anna. The Role of Eco-Industrial Parks in Promoting Circular Economy in Russia: A Life Cycle Approach. **Sustainability**, [S.L.], v. 14, n. 7, p. 3893, 2022.

ADAMS, Katherine Tebbatt *et al.* **Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers**. In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Waste and Resource Management. Thomas Telford Ltd, 2017. p. 15-24.

AFSHARI, Hamid; FAREL, Romain; PENG, Qingjin. Challenges of value creation in Eco-Industrial Parks (EIPs): A stakeholder perspective for optimizing energy exchanges. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 139, p. 315-325, 2018.

AHMAD-NIELSEN, Emil B. et al. Hb Kalundborg [ $\beta$ 79 (EF3) Asp $\rightarrow$  Glu; HBB: c. 240C $>$  a], a possible low-affinity hemoglobin variant detected during Hb A1c measurement. **Hemoglobin**, [S.L.], v. 46, n. 2, p. 124-128, 2022.

AHUJA, Jaya et al. Do human critical success factors matter in adoption of sustainable manufacturing practices? An influential mapping analysis of multi-company perspective. **Journal of Cleaner Production**, [S.L.], v. 239, n. 1, p. 117981, 2019.

ALBIZZATI, Paola Federica; TONINI, Davide; ASTRUP, Thomas F. A quantitative sustainability assessment of food waste management in the European Union. **Environmental Science & Technology**, v. 55, n. 23, p. 16099-16109, 2021.

ALEISA, Esra; ALSULAILI, Abdalrahman; ALMUZAINI, Yasmeen. Recirculating treated sewage sludge for agricultural use: Life cycle assessment for a circular economy. **Waste Management**, v. 135, p. 79-89, 2021.

ANDREASEN, Mads Findal. Stenkister på Kattrupvej: Fotodokumentering, historik og opmåling. **Vejhistorie**, [S./l.], v. 1, n. 35, p. 38-40, 2019.

ANTTIROIKO, Ari-Veikko. Smart circular cities: governing the relationality, spatiality, and digitality in the promotion of circular economy in an urban region. **Sustainability**, [S./l.], v. 15, n. 17, p. 12680, 2023.

ANTONETTI, Elena et al. Waste-to-chemicals for a circular economy: the case of urea production (waste-to-urea). **ChemSusChem**, v. 10, n. 5, p. 912-920, 2017.

ATANASOVSKA, Iлина et al. Research gaps and future directions on social value stemming from circular economy practices in agri-food industrial parks: Insights from a systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, [S./l.], v. 354, n. 1, p. 131753, 2022.

ASIF, Zunaira et al. Update on air pollution control strategies for coal-fired power plants. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 24, n. 8, p. 2329-2347, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14044 – Gestão Ambiental – **Avaliação do ciclo de vida**: requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.

ATALANIO, Manuella; IBIAPINA, Helaine; MACHADO, Thales. A economia circular como modelo de desenvolvimento sustentável. **Revista de Direito, Economia e Desenvolvimento Sustentável**, [S./l.], v. 8, n. 1, p. 1 – 15, 2022.

ATES, Aylin; BITITCI, Umit. Change process: a key enabler for building resilient SMEs. **International journal of production research**, [S./l.], v. 49, n. 18, p. 5601-5618, 2011.

ATILHAN, Selma *et al.* Green hydrogen as an alternative fuel for the shipping industry. **Current Opinion in Chemical Engineering**, [S./l.], v. 31, n. 1, p. 100668, 2021.

BAHERS, Jean-Baptiste et al. The place of space in urban metabolism research: Towards a spatial turn? A review and future agenda. **Landscape and Urban Planning**, [S./l.], v. 221, n. 1, p. 104376, 2022.

BARBOSA, Márcio Zago et al. Life cycle approach applied to the production of ceramic materials incorporated with ornamental stone wastes. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-14, 2022.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BARRACCO, Francesco et al. Life cycle assessment for the production of MSWI fly-ash based porous glass-ceramics: Scenarios based on the contribution of silica sources, methane aided, and energy recoveries. **Waste Management**, v. 157, p. 301-311, 2023.

BARROS, Aidil; LEHFELD, Neide. **Projeto de pesquisa: propostas metodológicas**. 4. ed. Petrópolis: Vozes, 2021. 128 p.

BARROSO, Ana Paula; CALMON, João Luiz. Avaliação do ciclo de vida de fundações de torres eólicas: Estudo Comparativo. **E&S Engineering and Science**, [S./l.], v. 12, n. 2, p. 1-22, 2023.

BATUECAS, Esperanza et al. Recycling CO<sub>2</sub> from flue gas for CaCO<sub>3</sub> nanoparticles production as cement filler: A Life Cycle Assessment. **Journal of CO<sub>2</sub> Utilization**, v. 45, p. 101446 - 101260, 2021.

BELAUD, Jean-Pierre *et al.* A circular economy and industrial ecology toolbox for developing an eco-industrial park: perspectives from French policy. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [S./l.], v. 21, n. 1, p. 967-985, 2019.

BERTASSINI, Ana Carolina; OMETTO, Aldo Roberto; SEVERRENGIZ, Semih; GEROLAMO, Mateus Cecilio. Circular economy and sustainability: The role of organizational behaviour in the transition journey. **Business Strategy and the Environment**, [S./l.], v. 30, n. 7, p. 3160-3193, 2021.

BERTASSINI, Ana Carolina. **Proposta de um roadmap para mudança cultural rumo à economia circular**: aplicação de um modelo de negócio de produto-como-um-serviço. 2023. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

BIANCHI, Iacopo et al. Life cycle assessment of carbon ceramic matrix composite brake discs containing reclaimed prepreg scraps. **Journal of Cleaner Production**, v. 413, p. 137537, 2023.

BILYAMINU, Abubakar M. et al. Industrial symbiosis and eco-industrial transformation opportunities for environmental protection in Nigeria. **Sustainable Production and Consumption**, [S.L.], v. 49, n. 1, p. 219-235, 2024.

BLUNDO, Davide et al. Sustainability as source of competitive advantages in mature sectors: The case of Ceramic District of Sassuolo (Italy). **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 8, n. 1, p. 53-79, 2019.

BRUEL, Aurélien; GODINA, Radu. A smart contract architecture framework for successful industrial symbiosis applications using blockchain technology. **Sustainability**, [S.L.], v. 15, n. 7, p. 5884, 2023.

BOGDAN, Robert C.; BIKLEN, Sari K. **Investigação qualitativa em educação**. Porto: Porto Editora, 1994.

BOHÓRQUEZ, Javier Enrique; NIETO, Eduardo. Apropiación subjetiva del espacio: significaciones espaciales, territoriales y de lugar en el Ecoparque Cerro de la Bandera, Santiago de Cali, Colombia. **Documents d'anàlisi geogràfica**, v. 69, n. 1, p. 0185-211, 2023.

BRANNSTROM, Christian; GORAYEB, Adryane. Geographical Implications of Brazil's Emerging Green Hydrogen Sector. **Journal of Latin American Geography**, [S./l.], v. 21, n. 1, p. 185-194, 2022.

BRASIL. *Projeto de Lei da Política Nacional de Economia Circular*. Projeto de Lei nº 1874, de 2022. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9180856&ts=1724150468084&disposition=inline>. Acesso em: 26 set. 2024.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Seção 1. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/cif/186-acesso-a-informacao/institucional/1306-sobreoibama>. Acesso em: 28 de set. 2024.

BRASIL. Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989. Cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 23 fev. 1989. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/cif/186-acesso-a-informacao/institucional/1306-sobreoibama>. Acesso em: 28 de set. 2024.

BROADBENT, Clare. Steel's recyclability: demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, p. 1658-1665, 2016.

BRONES, Fabien; ZANCUL, Eduardo; CARVALHO, Marly M. Insider action research towards companywide sustainable product innovation: ecodesign transition framework. **International Journal of Managing Projects in Business**, [S./l.], v. 14, n. 1, p. 150-178, 2021.

BUENO, Cristiane; ROSSIGNOLO, João Adriano. A avaliação de ciclo de vida (ACV) de sistemas construtivos. **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: materiais e sustentabilidade**. Tradução. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC, 2016.

BURRIT, Roger L.; SAKA, Chica. **Environmental management accounting applications and eco-efficiency: case studies from Japan**. *Journal of Cleaner Production*, 14, p. 1262- 1275, 2006.

BUTTURI, M. A. et al. Renewable energy in eco-industrial parks and urban-industrial symbiosis: A literature review and a conceptual synthesis. **Applied Energy**, v. 255, p. 113825, 2019.

CAGNO, Eduard et al. One framework to rule them all: An integrated, multi-level and scalable performance measurement framework of sustainability, circular economy and industrial symbiosis. **Sustainable Production and Consumption**, [S./l.], v. 35, n. 1, p. 55-71, 2023.

CAMPOS, Ines et al. Life-cycle assessment of animal feed ingredients: Poultry fat, poultry by-product meal and hydrolyzed feather meal. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, p. 119845, 2020.

CANGUSSU, Nara; VASCONCELOS, Luana; MAIA, Lino. Environmental benefits of using sewage sludge in the production of ceramic bricks. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 10, p. 25344-25355, 2023.

CÁRCAMO, Efrain A. Boom; PEÑABAENA-NIEBLES, Rita. Opportunities and challenges for the waste management in emerging and frontier countries through industrial symbiosis. **Journal of Cleaner Production**, [S./l.], v. 363, n.1, p. 132607, 2022.

CARRIELLO, Giovanni Miraveti et al. Lixo eletrônico: uma revisão de artigos disponíveis na plataforma Oasisbr. **Revista Perspectiva**, [S./l.], v. 46, n. 174, p. 31-42, 2022.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - SRH. **Plano de Ações Estratégicas de Recursos Hídricos do Ceará**. Patu. 169 p. Fortaleza – CE, 2018.

CEARÁ. Lei nº 15.773, de 10 de março de 2015. Extingue o Conselho de Políticas e Gestão do Meio Ambiente - CONPAM, cria a Secretaria do Meio Ambiente - SEMA, e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, CE, 10 mar. 2015. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/competencias-da-sema/>. Acessado em: 28 de set. de 2024.

CEGLIA, Domenico; ABREU, Mônica Cavalcanti Sá; SILVA FILHO, José Carlos Lázaro. Critical elements for eco-retrofitting a conventional industrial park: Social barriers to be overcome. **Journal of environmental management**, [S./L.], v. 187, p. 375-383, 2017.

CHEN, Xinyi et al. Comprehensive evaluation of environmental and economic benefits of industrial symbiosis in industrial parks. **Journal of Cleaner Production**, [S./l.], v. 354, n. 1, p. 131635, 2022.

CHEN, Haoyang et al. Life Cycle Assessment of Carbon Capture by an Intelligent Vertical Plant Factory within an Industrial Park. **Sustainability**, [S./l.], v. 16, n. 2, p. 697, 2024.

CHENG, Qi; YANG, Jun. Is green place-based policy effective in mitigating pollution? Firm-level evidence from China. **Economic Analysis and Policy**, [S.L.], v. 83, n. 1, p. 530-547, 2024.

CHERTOW, Marian R. The eco-industrial park model reconsidered. **Journal of Industrial Ecology**, [S./l.], v. 2, n. 3, p. 8-10, 1998.

CHIN, Min Yee; LEE, Chew Tin; WOON, Kok Sin. Developing circular waste management strategies based on a waste eco-park concept: a multiobjective optimization with environmental, economic, and social trade-offs. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, [S./l.], v. 62, n. 41, p. 16827-16840, 2023.

CHIOATTO, Elisa; SOSPIRO, Paolo. Transition from waste management to circular economy: the European Union roadmap. **Environment, Development and Sustainability**, [S./l.], v. 25, n. 1, p. 249-276, 2023.

CHIZZOTTI, Antônio. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. 8. ed. São Paulo: Cortez, 2006.

COBO, Selene et al. Economics of enhancing nutrient circularity in an organic waste valorization system. **Environmental science & technology**, v. 53, n. 11, p. 6123-6132, 2019.

COLLEY, Tracey Anne et al. Addressing nutrient depletion in Tanzanian sisal fiber production using life cycle assessment and circular economy principles, with bioenergy co-production. **Sustainability**, v. 13, n. 16, p. 8881, 2021.

CRUZ, Henrique Lisbôa; CHRISTIANETTI, Filipe Machado; MORAES, Carlos Alberto Mendes. Contribuições da simbiose industrial na gestão de recursos materiais, água e energia em um parque industrial e logístico. **Revista Jatobá**, [S./l.] v. 5, n. 1, 2023.

CZEKAŁA, Wojciech; DROZDOWSKI, Jędrzej; ŁABIAK, Piotr. Modern technologies for waste management: a review. **Applied Sciences**, [S./l.], v. 13, n. 15, p. 8847, 2023.

D'ADAMO, Idiano et al. Assessing the relation between waste management policies and circular economy goals. **Waste Management**, [S./l.], v. 154, p. 27-35, 2022.

DAMIANI, Mattia et al. Critical review of methods and models for biodiversity impact assessment and their applicability in the LCA context. **Environmental Impact Assessment Review**, [S./l.], v. 101, n. 1, p. 107134, 2023.

DENZIN, Norman K. **Sociological methods: A sourcebook**. New York: McGraw-Hill, 1978.

DINO, Giovanna Antonella et al. Towards sustainable mining: Exploiting raw materials from extractive waste facilities. **Sustainability**, v. 12, n. 6, p. 2383, 2020.

DONG, Liang et al. Towards preventative eco-industrial development: an industrial and urban symbiosis case in one typical industrial city in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 387-400, 2016.

DWIVEDI, Ashish; AGRAWAL, Dindyal; MADAN, Jitender. Identification and prioritization of issues to implementation of information-facilitated product recovery system for a circular economy. **Modern Supply Chain Research and Applications**, [S./l.], v. 2, n. 4, p. 247-280, 2020.

EISENHARDT, Kathleen M. Building theories from case study research. *Academy of Management Review*, **Briarcliff Manor**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

FARIA, Emilia; BARRETO, Cristiane; CALDEIRA-PIRES, Armando; STREIT, Jorge; GUARNIERI, Patrícia. Brazilian Circular Economy Pilot Project: Integrating Local Stakeholders' Perception and Social Context in Industrial Symbiosis Analyses. *Sustainability*, [S./l.] v. 15, n. 4, p. 3395, 2023.

FLICK, E. Uwe. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2008. FRACCASCIA, Luca; CECCARELLI, Gaia; DANGELICO, Rosa Maria. Green products from industrial symbiosis: Are consumers ready for them?. *Technological Forecasting and Social Change*, [S./l.], v. 189, n.1, p. 122395, 2023.

FREITAS, Helena Maria R.; CUNHA, Maria Verônica M. Jr.; MOSCAROLA, Jean. Aplicação de sistemas de software para auxílio na análise de conteúdo. *Revista de Administração da USP*, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 97-109, 1997.

GAIBOR, Norma et al. Sustainability assessment of half-sandwich panels based on alkali-activated ceramic/slag wastes cement versus conventional building solutions. *Journal of Cleaner Production*, v. 389, p. 136108, 2023.

GASKELL, George; BAUER, Martin Wayne. Para uma prestação de contas pública: além da amostra, da fidedignidade e da validade. In: BAUER, Martin W.; GASKELL, George (Eds.). **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático**. 4. ed. Petrópolis: Vozes, 2005.

GEISSDOERFER, Martin et al. The Circular Economy – A new sustainability paradigm?. *Journal of cleaner production*, [S./l.], v. 143, n. 1, p. 757-768, 2017.

GENC, Olcay et al. A socio-ecological approach to improve industrial zones towards eco-industrial parks. *Journal of environmental management*, [S./l.], v. 250, p. 109507, 2019.

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner production*, [S./l.], v. 114, n. 1, p. 11-32, 2016.

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner production*, v. 114, p. 11-32, 2016.

GHOSH, Tapajyoti et al. The Circular Economy Life Cycle Assessment and Visualization Framework: A Multistate Case Study of Wind Blade Circularity in United States. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 185, p. 1 - 10, 2022.

GIL, Antônio Carlos. Como classificar as pesquisas. **Como elaborar projetos de pesquisa**, v. 4, n. 1, p. 44-45, 2002.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

GODOY, Arilda Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. *Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, v. 35, p. 57-63, 1995.

GUO, Yang; TIAN, Jinping; CHEN, Lyujun. Managing energy infrastructure to decarbonize industrial parks in China. **Nature communications**, v. 11, n. 1, p. 981, 2020.

HANSEN, Rasmus Nøddegaard et al. A systematic review of consequential LCA on buildings: the perspectives and challenges of applications and inventory modelling. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S./l.], v. 28, n. 2, p. 131-145, 2023.

HARIYANI, Dharmendra; MISHRA, Sanjeev. Organizational enablers for sustainable manufacturing and industrial ecology. **Cleaner Engineering and Technology**, [S./l.], v. 6, n. 1, p. 100375, 2022.

HASKINS, Cecilia. A systems engineering framework for Eco-industrial park formation. **Systems Engineering**, [S./l.], v. 10, n. 1, p. 83-97, 2007.

HECK, Janine; UTIKAL, Hannes; LEKER, Jens. Industrial symbiosis as enabler and barrier for defossilization: The case of Höchst Industrial Park. **Environmental Technology & Innovation**, [S.L.], v. 36, n. 1, p. 103850, 2024.

HEMEIII, 3. Implementation of the circular economic model in the Chinese practice. **Acta Academiae Beregsasiensis**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 70-79, 2022.

HENRIQUES, Juan et al. Industrial symbiosis: A sectoral analysis on enablers and barriers. **Sustainability**, [S./l.], v. 13, n. 4, p. 1723, 2021.

HOSSAIN, Rumana et al. Plastic waste management in India: Challenges, opportunities, and roadmap for circular economy. **Sustainability**, [S./l.], v. 14, n. 8, p. 4425, 2022.

HUMPHREYS, John; LAN, Rong; TAO, Shanwen. Development and recent progress on ammonia synthesis catalysts for Haber-Bosch process. **Advanced Energy and Sustainability Research**, v. 2, n. 1, p. 2000043, 2021.

HUONG, Ta Thi. Assessment of eco-industrial park (EIP) performance at the preliminary step in Vietnam. **Current Applied Science And Technology**, [S.L.], v. 23, n. 6, p. 10.55003, 2023.

ILIĆ, Marina; NIKOLIĆ, Magdalena. Drivers for development of circular economy—A case study of Serbia. **Habitat International**, [S./l.], v. 56, n. 1, p. 191-200, 2016.

JABBOUR, Ana Beatriz et al. Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. **Annals of Operations Research**, [S./l.], v. 270, n. 2, p. 273-286, 2018.

JABBOUR, Ana Beatriz et al. When titans meet—Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. **Technological Forecasting and Social Change**, [S./l.], v. 132, p. 18-25, 2018.

- JAGGER, Anna. A circular economy: combined food and power projects. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, [S./l.], v. 10, n. 3, p. 202-203, 2016.
- JAGTAP, Sandeep et al. Codesign of food system and circular economy approaches for the development of livestock feeds from insect larvae. **Foods**, v. 10, n. 8, p. 1701, 2021.
- JIA, Yanshuang et al. Optimization of micro-energy network system based on environment, economy, and carbon emissions. **Clean Technologies and Environmental Policy**, p. 1-13, 2024.
- JIANG, Peng et al. Blockchain technology applications in waste management: Overview, challenges and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, [S./l.], v. 421, n. 1, p. 138466, 2023.
- KAPLAN, Yılmaz. Analysing the Role of the State in the Transformation of Industrial Parks to Eco-industrial Parks. **Kent Akademisi**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 1781-1795, 2023.
- KENNEDY, Christopher; CUDDIHY, John; ENGEL-YAN, Joshua. The Changing Metabolism of Cities. **Journal Of Industrial Ecology**, [S./l.], v. 11, n. 2, p. 43-59, 2007.
- KENNEDY, Steve; LINNENLUECKE, Martina K. Circular economy and resilience: A research agenda. **Business Strategy and the Environment**, [S./l.], v. 31, n. 6, p. 2754-2765, 2022.
- KETPRAPAKORN, Nuttasorn; KANTABUTRA, Sooksan. Culture development for sustainable SMEs: Toward a behavioral theory. **Sustainability**, [S./l.], v. 11, n. 9, p. 2629, 2019.
- KHAN, Shahbaz et al. Analyzing critical success factors for a successful transition towards circular economy through DANP approach. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, [S./l.], v. 31, n. 3, p. 505-529, 2020.
- KHAN, Syed Abdul Rehman et al. Technological revolution and circular economy practices: a mechanism of green economy. **Sustainability**, [S./l.], v. 14, n. 8, p. 4524, 2022.
- KIRCHHERR, Julian; VAN SANTEN, Ralf. Research on the circular economy: A critique of the field. Resources, **Conservation & Recycling**, [S./l.], v. 151, n. 2, p. 12-28, 2019.
- KOWALSKI, Zygmunt et al. Industrial Symbiosis for Sustainable Management of Meat Waste: The Case of Śmiłowo Eco-Industrial Park, Poland. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S./l.], v. 20, n. 6, p. 5162, 2023.
- KUMAR, Vikas et al. Circular economy in the manufacturing sector: benefits, opportunities and barriers. **Management decision**, [S./l.], v. 57, n. 4, p. 1067-1086, 2019.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2010.

LASO, Jara. et al. Combined application of Life Cycle Assessment and linear programming to evaluate food waste-to-food strategies: Seeking for answers in the nexus approach. **Waste Management**, v. 80, p. 186-197, 2018.

LATILLA, Vito Manfredi et al. Organisational change and business model innovation: an exploratory study of an energy utility. **International Journal of Innovation Management**, [S./l.], v. 24, n. 4, p. 2050036, 2020.

LI, Chi Ho; LEE, Tsz Ting; LAU, Stephen Siu Yu. Enhancement of Municipal Solid Waste Management in Hong Kong through Innovative Solutions: A Review. **Sustainability**, [S./l.], v. 15, n. 4, p. 3310, 2023.

LI, Dong-Ying et al. Recovery of phosphate and ammonia from wastewater via struvite precipitation using spent refractory brick gravel from steel industry. **Journal of Environmental Management**, v. 302, p. 114110 - 114117, 2022.

LI, Jacqueline et al. Building green supply chains in eco-industrial parks towards a green economy: Barriers and strategies. **Journal of environmental management**, [S./l.], v. 162, p. 158-170, 2015.

LIU, Jiejie et al. Multi-Objective Optimization Based on Life Cycle Assessment for Hybrid Solar and Biomass Combined Cooling, Heating and Power System. **Journal of Thermal Science**, p. 1-20, 2024.

LIBERATI, Alessandro *et al.* The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. **Journal of clinical epidemiology**, v. 62, n. 10, p. 1-34, 2009.

LO, Shih-Fang et al. An efficiency-driven approach for global ecological industrial parks. **Journal of Cleaner Production**, [S./l.], v. 424, n. 1, p. 138837, 2023.

LONG, Thomas B.; LOOIJEN, Arnold; BLOK, Vincent. Critical success factors for the transition to business models for sustainability in the food and beverage industry in the Netherlands. **Journal of cleaner production**, [S./l.], v. 175, n. 1, p. 82-95, 2018.

LÓPEZ-GARCÍA, Ana B. et al. Application of life cycle assessment in the environmental study of sustainable ceramic bricks made with ‘alperujo’(olive pomace). **Applied Sciences**, v. 11, n. 5, p. 2278, 2021.

MAINA, Sofia; KACHRIMANIDOU, Vasiliki; KOUTINAS, Apostolis. A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, [S./l.], v. 8, n. 2, p. 18-23, 2017.

MANNINA, Giorgio; GULHAN, Hazal; NI, Bing-Jie. Water reuse from wastewater treatment: The transition towards circular economy in the water sector. **Bioresource Technology**, [S./l.], v. 3, n. 2, p. 127951, 2022.

MARCONI, Marina de Andrade.; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Atlas, 2007.

METZ, Daniel; ILIEȘ, Liviu; NISTOR, Răzvan Liviu. The impact of organizational culture on customer service effectiveness from a sustainability perspective. **Sustainability**, [S./I.], v. 12, n. 15, p. 6240, 2020.

MILES, Matthew B.; HUBERMAN, A. Michael. **Qualitative data analysis: An expanded sourcebook**. 2. ed. Thousand Oaks: Sage, 1994.

MILLAR, Neal; MCLAUGHLIN, Eoin; BÖRGER, Tobias. The Circular Economy: Swings and Roundabouts? **Ecological Economics**, [S./I.], v. 158, n. 2, p. 11-19, 2019.

MINUNNO, Roberto et al. Exploring environmental benefits of reuse and recycle practices: A circular economy case study of a modular building. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 160, p. 104855 - 104869, 2020.

MIYAMOTO, Sara Midori; COSTA, Rosangela Calado da; CANDIANI, Giovano. Redes de simbiose industrial: possibilidades entre empresas do município de Diadema, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 701-713, 2022.

MIN, Hao et al. Benefits and risks of China's copper waste and scrap trade during 2000-2015. **Resources Science**, v. 42, n. 8, p. 1515-1526, 2020.

MOHAMMED, Feisal et al. Sustainability assessment of symbiotic processes for the reuse of phosphogypsum. **Journal of Cleaner Production**, v. 188, p. 497-507, 2018.

MØLLER, Hanne et al. Circularity indicators and added value to traditional LCA impact categories: example of pig production. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 1-13, 2023.

MORENO-JUEZ, Jaime et al. Treatment of end-of-life concrete in an innovative heating-air classification system for circular cement-based products. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, p. 121515 - 121530, 2020.

MORESI, Eduardo et al. **Metodologia da pesquisa**. Brasília: Universidade Católica de Brasília, v. 108, n. 24, p. 5, 2003.

MOURA, Italo Emmanoel Mesquita Oliveira; MOITA NETO, José Machado; SILVA, Elaine Aparecida. Residential swimming pools maintenance under an environmental perspective. **Science of The Total Environment**, [S./I.], v. 903, n. 1, p. 166612, 2023.

MOZZATO, Anelise R.; GRZYBOVSKI, Denize. Análise de conteúdo como técnica de análise de dados qualitativos no campo da administração: potencial e desafios. **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 15, p. 731-747, 2011.

MUNN, Zachary et al. Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. **BMC medical research methodology**, v. 18, p. 1-7, 2018.

NEVES, Angela et al. The potential of industrial symbiosis: Case analysis and main drivers and barriers to its implementation. **Sustainability**, v. 11, n. 24, p. 7095, 2019.

NOBRE, Marcos; AMAZONAS, Maurício de Carvalho. Desenvolvimento Sustentável: A institucionalização de um conceito. In: AMAZONAS, Maurício de Carvalho. **O desenvolvimento sustentável e a perspectiva das teorias econômicas “institucionais”**. Brasília: Edições IBAMA, 2002.

NORTHCUTT, Norvell; McCOY, Danny. **Análise qualitativa interativa: um método sistêmico para pesquisa qualitativa**. Sábio, 2004.

OBAL, Michael; MORGAN, Todd; JOSEPH, George. Integrating sustainability into new product development: The role of organizational leadership and culture. **Journal of Small Business Strategy**, [S./l.], v. 30, n. 1, p. 43-57, 2020.

OJHA, Shikha; BUßLER, Sara; SCHLÜTER, Oliver K. Food waste valorisation and circular economy concepts in insect production and processing. **Waste Management**, v. 118, p. 600-609, 2020.

OLDFIELD, Thomas L. et al. A life cycle assessment of biosolarization as a valorization pathway for tomato pomace utilization in California. **Journal of cleaner production**, v. 141, p. 146-156, 2017.

OLIVEIRA, Hamilton Afonso; PALMERSTON, Sheila Cristina Endres; TEJERINA-GARRO, Francisco Leonardo. O Licenciamento Ambiental de Empreendimentos Turísticos Utilizadores de Águas Termais em Caldas Novas (GO): Mecanismo ou Entrave para a Sustentabilidade?. **Veredas do Direito – Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v. 19, n. 44, p. 371 – 407, 2022.

OUGHTON, Christopher et al. Industrial Symbiosis to Circular Economy: What Does the Literature Reveal for a Successful Complex Industrial Area?. **Circular Economy and Sustainability**, [S./l.], v. 2, n. 4, p. 1317-1344, 2022.

OWSIANIAK, Mikołaj et al. Performance of second-generation microbial protein used as aquaculture feed in relation to planetary boundaries. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 180, p. 106158, 2022.

PAGLIARO, Mario et al. Amino Acids in New Organic Fertilizer AnchoisFert. **ChemistrySelect**, v. 7, n. 47, p. e202203665, 2022.

PAIVA, Fernando Gomes Jr.; SOUZA LEÃO, André Luiz Marques; MELLO, Sérgio Cavalcante Braga de. Validade e confiabilidade na pesquisa qualitativa em administração. **Revista de Ciências da Administração**, Florianópolis, v. 13, n. 31, p. 190-209, 2011.

PAJURA, Rebeka; MASŁOŃ, Adam; CZARNOTA, Joanna. The Use of Waste to Produce Liquid Fertilizers in Terms of Sustainable Development and Energy Consumption in the Fertilizer Industry—A Case Study from Poland. **Energies**, v. 16, n. 4, p. 1747, 2023.

PERATHONER, Siglinda et al. Reuse of CO<sub>2</sub> in energy intensive process industries. **Chemical Communications**, v. 57, n. 84, p. 10967-10982, 2021.

PEREIRA, Lyne Sussuarana; GOMES, Thiago Santiago; PACHECO, Elen Beatriz Acordi Vasques. Métodos de alocação de impactos ambientais para avaliação do ciclo de vida na reciclagem de resíduos plásticos. **Peer Review**, [S./l.], v. 5, n. 19, p. 303-324, 2023.

PEREIRA, Marlene; SOUZA, Kayque Silva. Política nacional de resíduos sólidos (PNRS): avanços ambientais e viés social nos municípios de pequeno porte. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, [S./l.], v. 17, n. 32, p. 189-210, 2017.

PERRUCCI, Daniel V. et al. A review of international eco-industrial parks for implementation success in the United States. **City and Environment Interactions**, [S./l.], v. 16, p. 100086, 2022.

PETIT, Gaëlle et al. Environmental evaluation of new brewer's spent grain preservation pathways for further valorization in human nutrition. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 27, n. 14, p. 1-25, 2023.

PHAM, Mai T. et al. A scoping review of scoping reviews: advancing the approach and enhancing the consistency. **Research synthesis methods**, v. 5, n. 4, p. 371-385, 2014.

PINTO, Julian TM; DIEMER, Arnaud. Supply chain integration strategies and circularity in the European steel industry. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 153, p. 104517 - 104533, 2020.

PRENDEVILLE, Sharon; CHERIM, Emma; BOCKEN, Nancy. Circular Cities: mapping six cities in transition. **Environmental Innovation And Societal Transitions**, [S./l.], v. 26, n. 1, p. 171-194, 2018.

PROMENTILLA, Michael AB et al. Problematique approach to analyse barriers in implementing industrial ecology in Philippine industrial parks. **Chemical Engineering Transactions**, v. 52, p. 811-816, 2016.

RATHORE, Pradeep; SARMAH, Sarada Prasad. Economic, environmental, and social optimization of solid waste management in the context of circular economy. **Computers & Industrial Engineering**, v. 145, p. 106510 - 106510, 2020.

REN, Changzai et al. Comparative life cycle assessment of sulfoaluminate clinker production derived from industrial solid wastes and conventional raw materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1314-1324, 2017.

RODRÍGUEZ-OTERO, Alba et al. Antibacterial effect of metal-enzyme hybrid nanomaterials. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S./l.], v. 11, n. 5, p. 110499, 2023.

ROSADO, Leonardo; NIZA, Samuel; FERRÃO, Paulo. A Material Flow Accounting Case Study of the Lisbon Metropolitan Area using the Urban Metabolism Analyst Model. **Journal Of Industrial Ecology**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 84-101, 2014.

ROSSI, Efigenia et al. Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. **Journal of Cleaner Production**, [S.L.], v. 247, n.1, p. 119137, 2020.

RUFÍ-SALÍS, Martí et al. Can wastewater feed cities? Determining the feasibility and environmental burdens of struvite recovery and reuse for urban regions. **Science of the Total Environment**, v. 737, p. 139783, 2020.

RUIZ-PASTOR, Laura; CHULVI, Vicente; MULET, Elena; ROYO, Marta. A metric for evaluating novelty and circularity as a whole in conceptual design proposals. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 337, p. 130495, 2022.

SAN MARTIN, David et al. Multi-criteria assessment of the viability of valorising vegetable by-products from the distribution as secondary raw material for animal feed. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 13, p. 15716-15730, 2021.

SANTOS-PENATE, Dolores R.; SUÁREZ-VEGA, Rafael R.; NUEZ, Carmen Florido. A Location-allocation Model for Bio-waste Management in the Hospitality Sector. **Networks and Spatial Economics**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 1-29, 2023.

SCHULTZ, Felix Carl; REINHARDT, Robert Jaroslav. Technological challenges and opportunities to plastics valorization in the context of a circular economy in Europe. **Sustainability**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 3741, 2023.

SCHÜTZENHOFER, Stefan et al. Improvement of environmental sustainability and circular economy through construction waste management for material reuse. **Sustainability**, [S.L.], v. 14, n. 17, p. 11087, 2022.

SEN, Amrita; BAKSHI, Bhavik R. Techno-economic and life cycle analysis of circular phosphorus systems in agriculture. **Science of The Total Environment**, v. 872, p. 162016, 2023.

SEVERINO, Antônio. **Metodologia do Trabalho Científico**. 22. ed. São Paulo: Cortez, 2002. 335 p.

SHAO, Yu et al. Applicability of the International Framework for Eco-Industrial Park in China—Survey and Analysis Based on 17 Case Parks in Jiangxi Province. **Sustainability**, [S.L.], v. 16, n. 11, p. 4635, 2024.

SILVA, Christian Luiz; BIERNASKI, Izabel. Planejamento e gestão de resíduos sólidos urbanos: um estudo de caso na região metropolitana de Belo Horizonte à luz da PNRS. **Gestão & Regionalidade**, [S.L.], v. 34, n. 101, p. 1 – 16, 2018.

SILVA, Elaine Aparecida da; MOURA, Italo Emmanoel Mesquita Oliveira de; MOITA NETO, José Machado. Cleaning products regulation in three world markets: the brazilian case effectiveness. **Veredas do Direito**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. e202543, 2023.

SILVA, Flavia Cristina et al. Circular economy: analysis of the implementation of practices in the Brazilian network. **Revista de Gestão**, [S./l.], v. 26, n. 1, p. 39-60, 2019.

SILVESTRI, Luca et al. Circular economy strategy of reusing olive mill wastewater in the ceramic industry: How the plant location can benefit environmental and economic performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 326, p. 129388, 2021.

SIMÃO, Francisco Veiga et al. Mine waste as a sustainable resource for facing bricks. **Journal of Cleaner Production**, v. 368, p. 133118, 2022.

SON, Cheol Hee; OH, Dream; BAN, Yong Un. Eco-industrial development strategies and characteristics according to the performance evaluation of eco-industrial park projects in Korea. **Journal of Cleaner Production**, [S.L.], v. 416, n. 1, p. 137971, 2023.

SOUSA, Cynthia Alves Félix; CAMPOS, Juliana Cláudia Bezerra; OLIVEIRA, Bárbara Meira. Panorama do gerenciamento dos Resíduos Sólidos no Brasil e no Nordeste após a implementação do PNRS. **Revista Científica ANAP Brasil**, [S./l.], v. 9, n. 15, p. 1 – 16, 2016.

STRAUSS, Anselm; CORBIN, Juliet. **Pesquisa qualitativa: técnicas e procedimentos para o desenvolvimento de teoria fundamentada**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

SUCKLING, James et al. Supply chain optimization and analysis of *Hermetia illucens* (black soldier fly) bioconversion of surplus foodstuffs. **Journal of Cleaner Production**, v. 321, p. 128711, 2021.

TAIFOURIS, Manuel R.; MARTIN, Mariano. Multiscale scheme for the optimal use of residues for the production of biogas across Castile and Leon. **Journal of cleaner production**, v. 185, p. 239-251, 2018.

TAN, Adeline Shu Ting et al. Shapley-Shubik agents within superstructure-based recycling model: circular economy approaches for fish waste eco-industrial park. **Process Integration and Optimization for Sustainability**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1-15, 2024.

TIMM, Janaine Fernanda Gaelzer; MACIEL, Vinícius Gonçalves; PASSUELLO, Ana. Towards Sustainable Construction: A Systematic Review of Circular Economy Strategies and Ecodesign in the Built Environment. **Buildings**, [S.L.], v. 13, n. 8, p. 2059, 2023.

TAROCO, Lara Santos; COLARES, Ana Cecília. The un framework convention on climate change and the Paris agreement: Challenges of the conference of the parties. **Prolegómenos**, [S./l.], v. 22, n. 43, p. 125-135, 2019.

TEDESCO, Mariana et al. Assessment of the circular economy in the Brazilian planted tree sector using the ReSOLVE framework. **Sustainable Production and Consumption**, v. 31, p. 397-406, 2022.

TEIGISEROVA, Dominika Alexa et al. Circular bioeconomy: Life cycle assessment of scaled-up cascading production from orange peel waste under current and future electricity mixes. **Science of the Total Environment**, v. 812, p. 152574, 2022.

TELLIER, Mathilde Le; BERRAH, Lamia; STUTZ, Benoit; AUDY, Jean-François; BARNABÉ, Simon. Towards sustainable business parks: a literature review and a systemic model. **Journal Of Cleaner Production**, [S./l.], v. 216, n. 1, p. 129-138, 2019.

TINOCO, João E. Prudêncio; KRAEMER, Maria Elisabeth Pereira. **Contabilidade e gestão ambiental**. 2 ed. Atlas: São Paulo, 2008.

TOBAL-CUPUL, Jessica Guadalupe et al. An Assessment of the Financial Feasibility of an OTEC Ecopark: a case study at cozumel island. **Sustainability**, [S./l.], v. 14, n. 8, p. 4654, 2022.

TRICCO, Andrea C. et al. A scoping review on the conduct and reporting of scoping reviews. **BMC medical research methodology**, v. 16, p. 1-10, 2016.

TRONVOLL, Bård et al. Transformational shifts through digital servitization. **Industrial Marketing Management**, [S./l.], v. 89, n. 1, p. 293-305, 2020.

TSENG, Ming-Lang et al. A causal eco-industrial park hierarchical transition model with qualitative information: Policy and regulatory framework leads to collaboration among firms. **Journal of Environmental Management**, [S./l.], v. 292, n. 1, p. 112735, 2021.

UDDIN, Azfar et al. Circular economy and its implementation in cement industry: A case point in Pakistan. **Science of The Total Environment**, v. 898, p. 165605 - 165617, 2023.

VIANA, Luciano et al. Life Cycle Assessment of Oat Flake Production with Two End-of-Life Options for Agro-Industrial Residue Management. **Sustainability**, v. 15, n. 6, p. 5124, 2023.

WANG, Qian et al. Environmental and economic impact assessment of synergistic organic-waste treatment strategies in eco-industrial parks: A pilot-scale case study in Shenzhen, China. **Environmental Impact Assessment Review**, [S.L.], v. 103, n. 1, p. 107250, 2023.

WEBSTER, Ken. A circular economy is about the economy. **Circular Economy and Sustainability**, [S./l.], v. 1, n. 1, p. 115-126, 2021.

WEN, Huwei; WANG, Runnan; LIU, Yuhan. Towards Carbon Neutrality in Agglomeration: Impact of Eco-Industry Development on Urban Carbon Emission Efficiency. **Sustainability**, [S.L.], v. 16, n. 8, p. 3159, 2024.

XUE, Xiaoxin et al. An integrated framework for industrial symbiosis performance evaluation in an energy-intensive industrial park in China. **Environmental Science and Pollution Research**, [S./l.], v. 30, n. 14, p. 42056-42074, 2023.

YU, Chang; JONG, Martin; DIJKEMA, Gerard. Process analysis of eco-industrial park development—the case of Tianjin, China. **Journal of Cleaner Production**, [S./l.], v. 64, n. 1, p. 464-477, 2014.

YU, Hao et al. Industrial symbiosis promoting material exchanges in Ulan Buh Demonstration Eco-industrial Park: A multi-objective MILP model. **Journal of Cleaner Production**, [S./l.], v. 414, n. 1, p. 137578, 2023.

YU, Yong et al. Cleaner production of the precast concrete industry: comparative life cycle analysis of concrete using recycled aggregates from crushed precast rejects. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 8, n. 47, p. 17335-17344, 2020.

ZENGFENG, Z. H. A. O. et al. Use of recycled concrete aggregates from precast block for the production of new building blocks: An industrial scale study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 157, p. 104786 - 104799, 2020.

ZHANG, Chunbo et al. Life cycle assessment of material footprint in recycling: A case of concrete recycling. **Waste Management**, v. 155, p. 311-319, 2023.

ZYGMUNTOWICZ, Justyna et al. Environmental footprint as a criterion in the ZTA composites forming process via centrifugal slip casting. **Ceramics International**, v. 47, n. 13, p. 18053-18064, 2021.

## Apêndice I - Questionário

Quadro 10 – Questionário semiestruturado

<b>Bloco de pergunta</b>	<b>Perguntas</b>
<b>Políticas e práticas de gestão de resíduos</b>	Quais são as políticas da sua empresa para a gestão de resíduos? Como elas evoluíram ao longo do tempo?
	Quais os principais resíduos e quais os procedimentos para manejá-los?
	Quais os principais desafios no manejo destes resíduos?
	Qual a destinação destes resíduos?
	Quais os principais indicadores relacionados ao gerenciamento dos resíduos citados?
	Como estes indicadores são acompanhados de modo a garantir a conformidade com as regulamentações?
<b>Educação e Treinamento</b>	Sua empresa promove o treinamento dos funcionários em relação à gestão de resíduos? a. Se sim, de que forma? b. Se não, por quê?
<b>Práticas de Economia Circular</b>	Quais os procedimentos realizados para reduzir a geração dos resíduos? E quais são as barreiras que impedem a redução da geração de resíduos?
	Existem procedimentos ou políticas que promovam o reuso de resíduos por sua empresa ou por outras instituições? a. Se sim, quais? b. Se não, por quê?
	Existem procedimentos ou políticas que promovam a reciclagem de resíduos por sua empresa ou por outras instituições? a. Se sim, quais? b. Se não, por quê?
	Existem procedimentos ou políticas que promovam o remanufatura de resíduos por sua empresa ou por outras instituições? a. Se sim, quais? b. Se não, por quê?
	Existem outros atores envolvidos neste processo, como outras empresas localizadas no complexo, empresas fora do complexo, atores governamentais, associações empresariais, instituições de ensino e pesquisa e/ou cooperativas?
<b>Investimento econômico</b>	Como o retorno sobre o investimento é avaliado em relação às iniciativas de: a. Redução da geração de resíduos; b. Reutilização de resíduos; c. Remanufatura de materiais; d. Reciclagem de materiais.
<b>Percepções sobre Economia Circular</b>	Qual é a sua visão sobre a importância da Economia Circular para as indústrias no Ceará?
	Como você acredita que a economia circular pode evoluir no complexo nos próximos 5 anos?
	Qual é a sua visão sobre a importância da economia circular para as indústrias no Ceará?
	Como você acredita que a economia circular pode evoluir no complexo nos próximos 5 anos?
	Você acredita que a Economia Circular poderia atrair investimentos externos ou novas empresas para o complexo? E a Economia Circular?
	Como você acha que o <i>hub</i> de Hidrogênio Verde pode influenciar nas práticas de economia circular no complexo?
	Qual instituição é a responsável por promover um ecossistema de economia circular no complexo? Por quê?

Fonte: Próprio (2024)