



**Universidade Federal do Amazonas**  
**Faculdade de Tecnologia**  

---

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia de**  
**Produção - PPGE**



**WADNA KIMBERLLY DA SILVA ALVES**

**PROPOSTA DE MODELO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS PRÁTICAS**  
**DE LOGÍSTICA VERDE EM INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO**

MANAUS

2025

**WADNA KIMBERLLY DA SILVA ALVES**

**PROPOSTA DE MODELO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS PRÁTICAS  
DE LOGÍSTICA VERDE EM INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO**

Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM.

**Área de Concentração:** Gestão da Produção e Operações.

**Linha de Pesquisa:** Gestão de Operações e Processos da Produção e Serviços.

**Orientador:** Marcelo Albuquerque de Oliveira, Ph.D.

MANAUS- AM

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

---

A474p      Alves, Wadna Kimberlly da Silva  
Proposta de modelo para avaliação de desempenho das práticas de Logística Verde em indústrias de transformação / Wadna Kimberlly da Silva Alves. - 2025.  
102 f. : il., color. ; 31 cm.

Orientador(a): Marcelo Albuquerque de Oliveira .  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Manaus , 2025.

1. Logística Verde. 2. Avaliação de desempenho. 3. Indicadores de desempenho . 4. Mensuração de práticas de Logística Verde. 5. Polo Industrial de Manaus . I. Oliveira, Marcelo Albuquerque de. II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Título

---

**WADNA KIMBERLLY DA SILVA ALVES**

**PROPOSTA DE MODELO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS PRÁTICAS  
DE LOGÍSTICA VERDE EM INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO**

Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção  
apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto  
Sensu*, em Engenharia de Produção da Universidade  
Federal do Amazonas como pré-requisito para obtenção  
do título de Mestre em Engenharia de Produção pela  
Universidade Federal do Amazonas – UFAM.

**Área de Concentração:** Gestão da Produção e  
Operações.

**Linha de Pesquisa:** Gestão de Operações e Processos da  
Produção e Serviços.

**Orientador:** Marcelo Albuquerque de Oliveira, Ph.D.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Marcelo Albuquerque de Oliveira  
Universidade Federal do Amazonas  
Orientador e Presidente

Profa. Dra. Gabriele de Mattos Veroneze  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
Membro PPGE

Profa. Dra. Sara Raquel Gomes de Sousa  
Creativa Tecnologia Ltda  
Membro Externo

Manaus, 29 de agosto de 2025

## DEDICATÓRIA

A minha razão de viver: Billy.

Meu menino, meu salsichinha danado, meu amor incondicional. Você sempre foi a luz que iluminou meus dias, a força que me fez seguir em frente quando tudo parecia difícil. Cada página desta dissertação carrega um pedaço seu, porque tudo o que faço, faço por você.

Sei também que, não importa onde eu vá, no meu coração você sempre estará, pois enquanto eu respirar, vou me lembrar de você.

Essa conquista é sua, Billy. Porque sem você, nada disso faria sentido. Meu eterno Biralata.



## RESUMO

A crescente pressão por sustentabilidade exige que as indústrias de transformação adotem práticas ambientalmente responsáveis. Nesse contexto, a Logística Verde (LV) assume papel estratégico, mas sua avaliação de desempenho ainda enfrenta uma lacuna relevante: a ausência de modelos integrados que contemplem, de forma simultânea, as logísticas de suprimentos, produção, distribuição e reversa, dificultando uma análise sistêmica. Essa carência teórica foi empiricamente validada nesta pesquisa por meio de um diagnóstico que, focado em 76 empresas do setor eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus (PIM), revelou que a maioria (73,7%) não possui um sistema de medição consolidado. Diante dessa problemática, o objetivo deste estudo foi desenvolver um modelo de avaliação para mensurar o desempenho das práticas de LV nesse contexto. Para isso, adotou-se uma metodologia de natureza aplicada com abordagem mista, organizada em cinco fases: revisão de literatura, aplicação de questionários, entrevistas com especialistas e um estudo de caso em duas indústrias do PIM para teste e validação da proposta. Como principal resultado, o estudo apresenta um modelo de avaliação composto por 31 indicadores de desempenho, segmentados pelas quatro áreas logísticas, e uma escala de maturidade em cinco níveis (Incipiente, Em Desenvolvimento, Estruturado, Otimizado e Estratégico). A validação técnica com especialistas evidenciou a robustez do modelo, enquanto sua aplicação diagnóstica no estudo de caso revelou maior maturidade na logística de produção em comparação com os desafios encontrados nos elos de suprimentos e logística reversa, reforçando sua utilidade para identificação de fragilidades e pontos fortes. Conclui-se que os objetivos foram plenamente alcançados e a questão norteadora foi respondida. A pesquisa entrega uma ferramenta metodológica com validade teórica e aplicabilidade prática, cuja principal contribuição está no preenchimento da lacuna identificada. O modelo proposto oferece às organizações um instrumento integrado para diagnóstico, monitoramento e tomada de decisão, com múltiplos impactos: acadêmicos, ao oferecer um modelo validado e replicável; econômicos, ao viabilizar a otimização de recursos e a redução de custos operacionais; e socioambientais, ao promover operações mais seguras e fomentar avanços rumo a uma economia circular, ganhando relevância ampliada por seu potencial de aplicação no sensível contexto industrial da Amazônia.

**Palavras-chave:** Logística Verde; Avaliação de desempenho; Indicadores de desempenho; Indústria de transformação; Mensuração de práticas de LV; Polo Industrial de Manaus.

## ABSTRACT

The growing pressure for sustainability requires manufacturing industries to adopt environmentally responsible practices. In this context, Green Logistics (GL) plays a strategic role, yet its performance assessment still faces a significant gap: the absence of integrated models that simultaneously address supply, production, distribution, and reverse logistics, thus hindering a systemic analysis. This theoretical shortcoming was empirically validated in this research through a diagnostic survey focused on 76 companies in the electronics sector of the Manaus Industrial Hub (PIM), which revealed that the majority (73.7%) lack a consolidated measurement system. Given this problem, the objective of this study was to develop an evaluation model to measure the performance of GL practices in this context. To this end, an applied, mixed-methods approach was adopted, organized into five phases: a literature review, the administration of questionnaires, interviews with experts, and a case study in two PIM industries to test and validate the proposal. As its main result, the study presents an evaluation model composed of 31 performance indicators, segmented by the four logistics areas, and a five-level maturity scale (Incipient, Under Development, Structured, Optimized, and Strategic). Technical validation with experts demonstrated the model's robustness, while its diagnostic application in the case study revealed greater maturity in production logistics compared to the challenges found in the supply and reverse logistics links, reinforcing its utility for identifying weaknesses and strengths. It is concluded that the objectives were fully achieved and the research question was answered. The research provides a methodological tool with theoretical validity and practical applicability, whose main contribution lies in filling the identified gap. The proposed model offers organizations an integrated instrument for diagnosis, monitoring, and decision-making, with multiple impacts: academic, by offering a validated and replicable model; economic, by enabling resource optimization and the reduction of operational costs; and socio-environmental, by promoting safer operations and fostering advances toward a circular economy, gaining amplified relevance due to its potential for application in the sensitive industrial context of the Amazon.

**Keywords:** Green Logistics; Performance evaluation; Performance indicators; Manufacturing industry; Manaus Industrial Hub

## **Lista de Figuras**

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| Figura 1 — Fluxo Logístico. ....                   | 20 |
| Figura 2 — Esquematização da Logística Verde. .... | 23 |
| Figura 3 — Síntese dos aspectos metodológicos..... | 34 |
| Figura 4 — Etapas da pesquisa.....                 | 37 |
| Figura 5 — Plano de ação para etapa 1. ....        | 39 |
| Figura 6 — Plano de ação para etapa 2. ....        | 42 |
| Figura 7 — Plano de ação para etapa 3. ....        | 44 |
| Figura 8 — Plano de ação para etapa 4. ....        | 47 |
| Figura 9 — Plano de ação para etapa 5. ....        | 49 |

## **Lista de Quadros**

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 — Síntese de indicadores de Logística Verde identificados na literatura. ....  | 29 |
| Quadro 2 — Modelos e frameworks para avaliação do desempenho logístico sustentável..... | 32 |
| Quadro 3 — Critérios técnicos para seleção dos indicadores. ....                        | 60 |
| Quadro 4 — Quadro de conversão. ....                                                    | 78 |
| Quadro 5 — Classificação de nível de maturidade. ....                                   | 78 |
| Quadro 6 — Diagnóstico comparativo da maturidade em logística de suprimentos. ....      | 80 |
| Quadro 7 — Diagnóstico comparativo da maturidade em logística de produção. ....         | 82 |
| Quadro 8 — Diagnóstico comparativo da maturidade em logística de distribuição. ....     | 83 |
| Quadro 9 — Diagnóstico comparativo da maturidade em logística reversa. ....             | 84 |
| Quadro 10 — Painel de maturidade comparativo – Empresa Alfa vs. Empresa Beta. ....      | 85 |

—

## **Lista de Gráficos**

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 — Porte da empresa. ....                                                     | 50 |
| Gráfico 2 — Tempo de atuação no Polo Industrial de Manaus.....                         | 51 |
| Gráfico 3 — Setor dedicado à sustentabilidade e gestão ambiental.....                  | 52 |
| Gráfico 4 — Política clara de logística verde na empresa.....                          | 53 |
| Gráfico 5 — Práticas sustentáveis em toda cadeia logística. ....                       | 54 |
| Gráfico 6 — Gestão do desempenho da logística verde com base em indicadores. ....      | 55 |
| Gráfico 7 — Influência dos indicadores nas decisões e estratégias logísticas. ....     | 56 |
| Gráfico 8 — Alinhamento dos indicadores com as metas de sustentabilidade. ....         | 56 |
| Gráfico 9 — Nota média da avaliação dos indicadores da logística de suprimento. ....   | 69 |
| Gráfico 10 — Nota média da avaliação dos indicadores da logística de produção. ....    | 71 |
| Gráfico 11 — Nota média da avaliação dos indicadores da logística de distribuição..... | 72 |
| Gráfico 12 — Nota média da avaliação dos indicadores da logística reversa.....         | 74 |
| Gráfico 13 — Média dos critérios técnicos por tipo de logística. ....                  | 75 |

## **Lista de Siglas e Abreviaturas**

|                 |                                                                      |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------|
| ADA             | Avaliação de Desempenho Ambiental                                    |
| ACV             | Avaliação de Ciclo de Vida                                           |
| BSC-S           | Balanced Scorecard Sustentável                                       |
| CO <sub>2</sub> | Dióxido de Carbono                                                   |
| DFE             | Design for the Environment                                           |
| DFS             | Design for Sustainability                                            |
| FSC             | Fatores Críticos de Sucesso                                          |
| GEE             | Gases do Efeito Estufa                                               |
| IBGE            | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                      |
| LAP             | Avaliação de Desempenho Ambiental da Logística                       |
| LV              | Logística Verde                                                      |
| ODS             | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável                             |
| PIM             | Polo Industrial de Manaus                                            |
| RLSA            | Reverse Logistics Sustainability Assessment                          |
| PNRS            | Política Nacional de Resíduos Sólidos                                |
| SCMEP           | Modelo de Desempenho Ambiental da Cadeia de Suprimentos              |
| SLP             | Avaliação de Desempenho de Logística Sustentável                     |
| SSCPM           | Modelo de Medição de Desempenho da Cadeia de Suprimentos sustentável |
| SUFRAMA         | Superintendência da Zona Franca de Manaus                            |
| RLSA            | Modelo de Avaliação de Sustentabilidade na Logística Reversa         |

## Sumário

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                          | 13 |
| 1.1. Contextualização .....                                                                 | 13 |
| 1.2. Problemática .....                                                                     | 15 |
| 1.3. Objetivos.....                                                                         | 16 |
| 1.3.1. Objetivo Geral .....                                                                 | 16 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos .....                                                          | 16 |
| 1.4. Justificativa.....                                                                     | 17 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO.....                                                                 | 19 |
| 2.1. Logística .....                                                                        | 19 |
| 2.2. Logística Verde.....                                                                   | 21 |
| 2.3. Mensuração no Contexto da Logística Sustentável .....                                  | 24 |
| 2.4. Indicadores Ambientais Aplicáveis à Logística Verde: .....                             | 26 |
| 2.5. Modelos e Frameworks para Avaliação do Desempenho Sustentável .....                    | 30 |
| 3. METODOLOGIA.....                                                                         | 34 |
| 3.1. Classificação Quanto a Lógica, Natureza, Horizonte de Tempo e Abordagem de Método..... | 34 |
| 3.2. Classificação Quanto aos Objetivos .....                                               | 35 |
| 3.3. Classificação Quanto a Abordagem .....                                                 | 35 |
| 3.4. Classificação Quanto a Estratégia .....                                                | 35 |
| 3.5. Classificação Quanto as Técnicas de Análises .....                                     | 36 |
| 3.6. Etapas da Pesquisa.....                                                                | 37 |
| 3.6.1. Etapa 1: Levantamento teórico .....                                                  | 37 |
| 3.6.2. Etapa 2: Coleta de informações .....                                                 | 40 |
| 3.6.3. Etapa 3: Desenvolvimento da proposta .....                                           | 43 |
| 3.6.4. Etapa 4: Teste e validação da estrutura proposta.....                                | 45 |
| 3.6.5. Etapa 5: Análise dos dados e consolidação dos resultados .....                       | 48 |
| 4. RESULTADOS - DIAGNÓSTICO DAS PRÁTICAS DE LOGÍSTICA VERDE .....                           | 50 |

|        |                                                                                                                                |    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.   | Caracterização Da Amostra .....                                                                                                | 50 |
| 4.2.   | Diagnóstico das Práticas de Logística Verde e do Uso de Indicadores de Desempenho nas Indústrias de Transformação do PIM ..... | 54 |
| 4.3.   | Concepção dos Indicadores de Logística Verde.....                                                                              | 58 |
| 4.3.1. | Critérios técnicos para estruturação e seleção dos indicadores .....                                                           | 58 |
| 4.4.   | Indicadores de Desempenho por Tipo de Logística .....                                                                          | 60 |
| 5.     | APLICAÇÃO DO MODELO – ESTUDO DE CASO.....                                                                                      | 69 |
| 5.1.   | Análise Consolidada por Critérios Técnicos .....                                                                               | 75 |
| 5.2.   | Proposta de Escala de Avaliação de Maturidade da Logística Verde .....                                                         | 76 |
| 5.3.   | Diagnóstico de Maturidade: Estudo de Caso.....                                                                                 | 79 |
| 5.3.1. | Logística de Suprimentos .....                                                                                                 | 79 |
| 5.3.2. | Logística de Produção .....                                                                                                    | 80 |
| 5.3.3. | Logística de Distribuição.....                                                                                                 | 82 |
| 5.3.4. | Logística Reversa .....                                                                                                        | 83 |
| 5.3.5. | Consolidação do diagnóstico de maturidade .....                                                                                | 84 |
| 6.     | ANÁLISE INTEGRADO DOS RESULTADOS.....                                                                                          | 86 |
| 7.     | IMPACTOS DA PESQUISA .....                                                                                                     | 90 |
| 7.1.   | Impactos Acadêmicos.....                                                                                                       | 90 |
| 7.2.   | Impactos Econômicos.....                                                                                                       | 91 |
| 7.3.   | Impactos Sociais .....                                                                                                         | 92 |
| 7.4.   | Impactos Ambientais .....                                                                                                      | 93 |
| 8.     | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                                                                                     | 95 |
|        | REFERÊNCIAS .....                                                                                                              | 97 |

## 1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a contextualização do tema, a descrição do problema a ser estudado, o objetivo geral e os objetivos específicos, a justificativa para esta pesquisa, com a relevância teórica e aplicabilidade, bem como a relevância social. No capítulo também mostra a forma de estruturação deste projeto.

### 1.1. Contextualização

Nas últimas décadas, as questões ambientais assumiram posição central nos debates internacionais, especialmente a partir de marcos como a Conferência de Estocolmo (1972), a Eco-92 no Rio de Janeiro e a Rio+20 (2012). Esses encontros, ao mobilizarem líderes globais em torno de modelos de desenvolvimento menos agressivos ao meio ambiente (Santos; Medeiros, 2020), impulsionaram a adoção de práticas empresariais mais responsáveis e sustentáveis.

No Brasil, o setor de transportes responde por cerca de 11% das emissões nacionais de gases de efeito estufa, segundo estimativas da Coalizão para a Descarbonização dos Transportes e do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2024). O transporte rodoviário, por sua vez, foi responsável por aproximadamente 13% das emissões de CO<sub>2</sub>e do país em 2016, conforme o Inventário Nacional de Emissões (MCTI, 2024). Em polos produtivos isolados como o Polo Industrial de Manaus (PIM), essa proporção tende a ser ainda mais acentuada, devido à elevada intensidade logística e à dependência de longas cadeias de transporte terrestre e fluvial.

A crescente pressão por sustentabilidade transformou a logística em vetor estratégico para o alcance de resultados operacionais mais limpos e eficientes (McKinnon, 2015). Tradicionalmente percebida como uma atividade operacional voltada à movimentação e armazenagem, a logística passou a ser reconhecida como fator crítico de competitividade, responsável pela integração de fluxos de materiais, informações e recursos ao longo de toda a cadeia de suprimentos (Nguyen, 2020; Albekov; Parkhomenko; Polubotko, 2017).

Diante dos desafios ambientais contemporâneos, a reestruturação dos processos logísticos sob uma ótica sustentável tornou-se imperativa (Pillay; Mbhele, 2015). Nesse cenário, surge o conceito de Logística Verde (LV), que busca minimizar impactos ambientais ao longo das operações, estimulando a logística reversa, a redução de consumo de recursos e emissões, e a mitigação de impactos socioambientais (Rogers; Tibben-Lembke, 1999; Wang et al., 2017; Sajid et al., 2020).

O avanço da engenharia verde também fortalece essa transição. Os princípios propostos por Anastas e Zimmerman (2006) orientam o redesenho de processos logísticos com foco na inovação, eficiência energética e segurança ambiental. Abordagens correlatas, como o Design for the Environment (DFE) e o Design for Sustainability (DFS), ampliam essa visão ao considerar o ciclo de vida completo dos produtos, desde a extração de matérias-primas até o fim de vida útil (Spangenberg; Fuad-Luke; Blincoe, 2010; Buhl et al., 2019; Arnette; Brewer; Choal, 2014; Rocha; Antunes; Partidário, 2019).

Estudos recentes reforçam que alcançar o desenvolvimento sustentável requer mudanças estruturais no planejamento e operação de produtos, processos e resíduos (Guzman-Urbina et al., 2022; David et al., 2021). Assim, a logística verde torna-se instrumento essencial para promover operações industriais ambientalmente responsáveis e alinhadas à economia circular.

No contexto produtivo, a avaliação do desempenho ambiental logístico por meio de indicadores estruturados constitui uma necessidade estratégica. Esses indicadores permitem decisões mais sustentáveis, apoiadas em dados concretos e integradas aos compromissos ambientais corporativos. A mensuração do desempenho é, portanto, condição para a melhoria contínua, possibilitando identificar fragilidades, avanços e oportunidades de inovação nas cadeias produtivas (Garza-Reyes et al., 2018; Bourahli, 2019; Domínguez et al., 2019).

Nas últimas décadas, as questões ambientais assumiram posição central nos debates internacionais, especialmente a partir de marcos como a Conferência de Estocolmo (1972), a Eco-92 no Rio de Janeiro e a Rio+20 (2012). Esses encontros, ao mobilizarem líderes globais em torno de modelos de desenvolvimento menos agressivos ao meio ambiente (Santos; Medeiros, 2020), impulsionaram a adoção de práticas empresariais mais responsáveis e sustentáveis.

Esse movimento global ressoou fortemente no contexto amazônico, onde o Polo Industrial de Manaus (PIM) representa um dos maiores desafios de conciliação entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental. A crescente pressão por sustentabilidade transformou a logística em vetor estratégico para o alcance de resultados operacionais mais limpos e eficientes (McKinnon, 2015).

Tradicionalmente percebida como uma atividade operacional voltada à movimentação e armazenagem, a logística passou a ser reconhecida como fator crítico de competitividade, responsável pela integração de fluxos de materiais, informações e recursos ao longo de toda a cadeia de suprimentos (Nguyen, 2020; Albekov; Parkhomenko; Polubotko, 2017).

Diante dos desafios ambientais contemporâneos, a reestruturação dos processos logísticos sob uma ótica sustentável tornou-se imperativa (Pillay; Mbhele, 2015). Nesse cenário surge o conceito de Logística Verde (LV), que busca minimizar impactos ambientais ao longo das operações, estimulando a logística reversa, a redução de consumo de recursos e emissões, e a mitigação de impactos socioambientais (Rogers; Tibben-Lembke, 1999; Wang et al., 2017; Sajid et al., 2020).

O avanço da engenharia verde também fortalece essa transição. Os princípios propostos por Anastas e Zimmerman (2006) orientam o redesenho de processos logísticos com foco na inovação, eficiência energética e segurança ambiental. Abordagens correlatas, como o Design for the Environment (DFE) e o Design for Sustainability (DFS), ampliam essa visão ao considerar o ciclo de vida completo dos produtos, desde a extração de matérias-primas até o fim de vida útil (Spangenberg; Fuad-Luke; Blincoe, 2010; Buhl et al., 2019; Arnette; Brewer; Choal, 2014; Rocha; Antunes; Partidário, 2019).

Estudos recentes reforçam que alcançar o desenvolvimento sustentável requer mudanças estruturais no planejamento e operação de produtos, processos e resíduos (Guzman-Urbina et al., 2022; David et al., 2021). Assim, a logística verde torna-se instrumento essencial para promover operações industriais ambientalmente responsáveis e alinhadas à economia circular.

No contexto produtivo, a avaliação do desempenho ambiental logístico por meio de indicadores estruturados constitui uma necessidade estratégica. Esses indicadores permitem decisões mais sustentáveis, apoiadas em dados concretos e integradas aos compromissos ambientais corporativos. A mensuração do desempenho é, portanto, condição para a melhoria contínua, possibilitando identificar fragilidades, avanços e oportunidades de inovação nas cadeias produtivas (Garza-Reyes et al., 2018; Bourahli, 2019; Domínguez et al., 2019).

## **1.2. Problemática**

Apesar dos avanços na literatura sobre avaliação do desempenho logístico sob a ótica da sustentabilidade (Falatoonitoosi; Leman; Sorooshian, 2013; He et al., 2017; Alonso et al., 2017; Zaman; Shamsud, 2017; Xiao et al., 2015; Al-E-Hashem; Rekik, 2014), ainda persiste uma lacuna metodológica relevante: a inexistência de um modelo integrado que avalie de forma simultânea as quatro dimensões da logística (suprimentos, produção, distribuição e logística reversa) sob o enfoque da logística verde. Essa fragmentação limita a análise sistêmica do desempenho ambiental e dificulta a comparação entre elos da cadeia, reduzindo a efetividade das estratégias sustentáveis em ambientes industriais complexos.

No contexto do Polo Industrial de Manaus (PIM), essa lacuna manifesta-se empiricamente. Um diagnóstico conduzido com 76 empresas do setor eletroeletrônico revelou que 73,7% não possuem sistemas de medição consolidados para práticas de logística verde, e que, mesmo nas organizações que os utilizam, os resultados raramente influenciam as decisões estratégicas. Essa constatação evidencia uma baixa maturidade na gestão ambiental logística, com consequências diretas sobre a capacidade das indústrias de planejar, monitorar e aprimorar suas ações sustentáveis.

Com base nesse cenário, o presente estudo propõe-se a preencher essa lacuna, desenvolvendo um conjunto estruturado de indicadores de desempenho da Logística Verde, aplicáveis aos diferentes estágios do processo logístico e ajustados às especificidades do PIM, um dos mais expressivos conglomerados industriais da Amazônia, que reúne mais de 500 indústrias de transformação (SUFRAMA, 2022).

Assim, esta pesquisa parte do seguinte problema científico:

Como avaliar o desempenho da Logística Verde em indústrias de transformação, de forma integrada e aplicável ao contexto do Polo Industrial de Manaus?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo Geral**

Desenvolver um conjunto estruturado de indicadores de desempenho, associado a uma escala de maturidade, para avaliação das práticas de Logística Verde nas indústrias de transformação do Polo Industrial de Manaus (PIM), visando apoiar o diagnóstico, o monitoramento e a melhoria contínua das operações sob a ótica da sustentabilidade.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- (i) Diagnosticar o cenário da Logística Verde no PIM, por meio da identificação das principais práticas adotadas, seus níveis de aplicação e os desafios enfrentados pelas indústrias de transformação;
- (ii) Estruturar um modelo de avaliação de desempenho composto por indicadores segmentados pelas quatro etapas logísticas (suprimentos, produção, distribuição e logística reversa) e por uma escala de maturidade para classificação das práticas;

- (iii) Validar tecnicamente o modelo proposto com especialistas da área, assegurando sua consistência teórica e aplicabilidade prática;
- (iv) Demonstrar, por meio da aplicação do modelo em um estudo de caso, sua utilidade como ferramenta para diagnóstico de maturidade, identificação de fragilidades operacionais e direcionamento de estratégias de melhoria.

#### **1.4. Justificativa**

A área de Logística tem atraído crescente atenção de pesquisadores interessados em suas múltiplas dimensões. Entretanto, apesar de sua importância estratégica, a Logística Verde (LV) ainda representa um campo em desenvolvimento, cuja discussão só ganhou relevância acadêmica a partir da década de 1990 (Srivastava, 2007). Por estar fortemente vinculada à sustentabilidade na produção e distribuição de bens, a LV apresenta lacunas teóricas significativas, especialmente no que se refere à mensuração de desempenho e à consolidação de métricas aplicáveis às práticas empresariais.

Estudos nacionais e internacionais exploram aspectos específicos da Logística Verde, mas de modo fragmentado. Li, Chen e Wang (2020) analisaram fatores de adoção na indústria de carvão chinesa; Al-Minhas, Ndubini e Barrane (2020) propuseram integração entre gestão de pessoas e logística verde; Martínez e Fransoo (2017) abordaram localização sustentável de instalações; e Sajid, Ali e Gonzalez (2022) estudaram emissões de CO<sub>2</sub> no transporte de vacinas. Embora representem avanços pontuais, esses trabalhos não oferecem uma abordagem integrada que contemple todas as etapas logísticas (suprimentos, produção, distribuição e reversa). Assim, o presente estudo contribui para o avanço teórico da área, ao propor um modelo que sistematiza essas dimensões de forma unificada e verificável.

No Brasil, o Polo Industrial de Manaus (PIM) se apresenta como ambiente estratégico para avaliar a logística verde, dada sua importância econômica e a sensibilidade ambiental da região amazônica. Estudos como o de Souza e Santos (2022) evidenciam que, apesar dos avanços tecnológicos, ainda persistem barreiras estruturais e operacionais que dificultam a transição para práticas sustentáveis no PIM. Soma-se a isso a ausência de ferramentas consolidadas e de indicadores específicos para o contexto amazônico (Gozacan; Lafci, 2020; Gong et al., 2019; Kumar et al., 2023), o que compromete o diagnóstico e a gestão das práticas verdes.

Neste cenário, o modelo proposto busca oferecer apoio metodológico às indústrias de transformação do PIM, permitindo identificar fragilidades operacionais, monitorar a

maturidade ambiental e direcionar estratégias de melhoria, contribuindo para o aumento da competitividade sustentável e para a eficiência de suas cadeias logísticas.

As operações logísticas possuem alto potencial de impacto ambiental, especialmente em setores industriais intensivos em energia e materiais. Gomes et al. (2018) destacam que a adoção de práticas logísticas sustentáveis agrega valor à empresa e à sociedade, enquanto Zhu, Sarkis e Lai (2008) reforçam a necessidade de monitorar rigorosamente as práticas verdes ao longo da cadeia de suprimentos. No contexto amazônico, esses impactos ganham dimensão social ampliada, uma vez que o descarte inadequado de resíduos industriais compromete ecossistemas, saúde pública e qualidade de vida (Dias, 2017).

Além disso, a pesquisa se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, em especial o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e o ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), ao propor uma ferramenta que incentiva o uso eficiente de recursos, a redução de emissões e a mitigação de impactos ambientais.

Diante dessas lacunas teóricas e práticas, esta pesquisa se justifica por desenvolver um modelo estruturado de indicadores e escala de maturidade, validado por especialistas e aplicado ao contexto das indústrias de transformação do Polo Industrial de Manaus (PIM). A proposta contribui simultaneamente para o avanço científico da logística verde e para a tomada de decisão empresarial ambientalmente responsável, estabelecendo um elo direto com os procedimentos metodológicos que sustentam a investigação.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

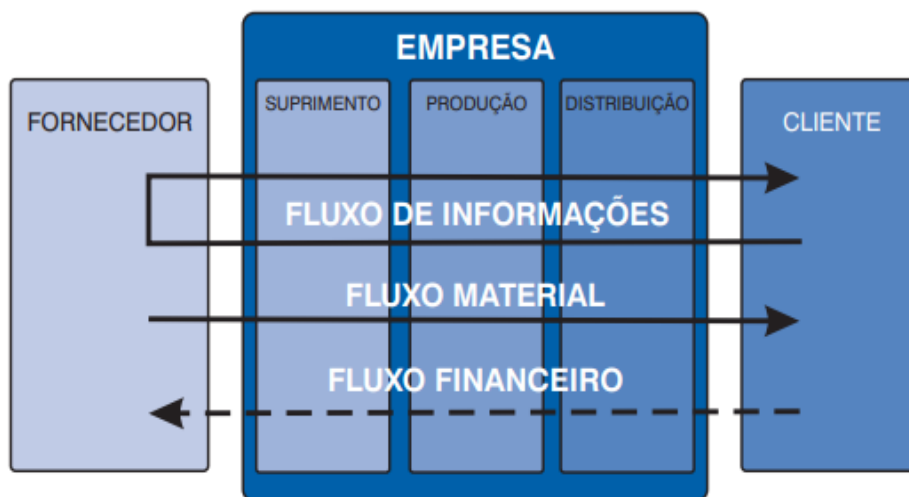
### **2.1. Logística**

Historicamente, a logística teve seu desenvolvimento impulsionado por demandas militares. Durante a Segunda Guerra Mundial, as forças armadas reconheceram a importância de coordenar, de forma eficiente, o movimento de suprimentos, tropas e equipamentos em larga escala. Esse conhecimento estratégico foi posteriormente incorporado ao ambiente empresarial, consolidando a logística como disciplina fundamental à competitividade organizacional (Christopher, 2016).

A concepção moderna da logística baseia-se na integração das atividades relacionadas ao fluxo de bens, informações e serviços em um sistema único de gestão (Segreti; Mondini; Farber, 2004). Essa abordagem evoluiu de funções operacionais fragmentadas como transporte, armazenagem e processamento de pedidos para uma estrutura sistêmica orientada ao desempenho global das cadeias de suprimentos. Segundo Ballou (2006), Novaes (2001) e Rad e Gülmez (2017), os processos logísticos envolvem o fornecimento de produtos na quantidade, local e tempo certos, com custos otimizados e elevado nível de confiabilidade.

Ballou (2006) identifica quatro atividades principais, serviço ao cliente, transportes, administração de estoques e processamento de pedidos e seis de apoio, como armazenagem, manuseio de materiais, compras e embalagem. Essa distinção evidencia a complexidade da logística como área estratégica. Stock e Lambert (2001) ampliam essa visão ao incluir o controle de inventários e a disposição de resíduos, enquanto Tang e Veelenturf (2019) reforçam seu papel como conector entre oferta e demanda, assegurando que o produto certo chegue ao cliente certo no momento adequado.

Essa lógica de integração pode ser visualizada na Figura 1, que representa os principais fluxos logísticos, de informações, materiais e financeiros que percorrem toda a cadeia de suprimentos, desde o fornecedor até o cliente.

**Figura 1** — Fluxo Logístico.

Fonte: Novaes (2001).

O avanço tecnológico e a digitalização transformaram o modo como essas atividades são conduzidas. Ferramentas de rastreamento em tempo real, automação de armazéns, integração digital de fornecedores e práticas colaborativas remodelam o conceito de eficiência (Mangan; Lalwani; Butcher, 2016; Matusiewicz; Ksiazkiewicz, 2023). A logística compartilhada, por exemplo, permite o uso conjunto de ativos e rotas entre empresas, reduzindo custos e impactos ambientais, tendência especialmente relevante em polos produtivos geograficamente isolados, como o Polo Industrial de Manaus (PIM), onde a dependência de longas cadeias de suprimento e o custo elevado de transporte tornam a cooperação logística uma vantagem estratégica (ILOS, 2014; Santos, 2025; Picanço, 2024).

Outro componente essencial é a logística reversa, compreendida como o fluxo de retorno de materiais, produtos e resíduos ao ciclo produtivo. Essa prática forma sistemas de suprimento de ciclo fechado voltados à remanufatura e ao descarte ambientalmente adequado (Cricelli; Greco; Grimaldi, 2021), sendo considerada fundamental para otimizar o uso de recursos e reduzir impactos ambientais (Prajapati; Kant; Shankar, 2019).

De modo geral, a logística pode ser classificada em quatro etapas principais:

Logística de suprimentos (inbound): responsável pelo transporte e gestão dos insumos até a empresa;

Logística de produção: garante o abastecimento e fluxo interno nas linhas produtivas;

Logística de distribuição (outbound): direciona produtos acabados aos canais de venda e consumo;

Logística reversa: assegura o retorno de materiais e resíduos ao sistema produtivo.

Essa estrutura permite identificar de forma clara os pontos em que práticas sustentáveis podem ser incorporadas. No caso do PIM, a complexidade logística se acentua pela distância dos principais centros consumidores, pela dependência do transporte fluvial e rodoviário e pelos custos associados à infraestrutura de escoamento (Santos, 2025; Picanço, 2024; SUFRAMA, 2024). Tais desafios reforçam a necessidade de soluções logísticas inovadoras, colaborativas e ambientalmente responsáveis.

Dessa forma, observa-se que a logística contemporânea deixou de ser uma atividade meramente operacional para assumir papel estratégico nas organizações, incorporando dimensões de sustentabilidade, cooperação e inovação. Essa evolução conceitual e prática culmina na emergência de uma nova perspectiva: a Logística Verde, apresentada na subseção seguinte.

## **2.2. Logística Verde**

A Logística Verde (LV) representa a integração de princípios ambientais às atividades logísticas tradicionais, com o objetivo de minimizar os impactos negativos das operações sobre o meio ambiente. Seu escopo abrange o planejamento, a implementação e o controle de fluxos de materiais, informações e resíduos de maneira que favoreça a sustentabilidade ambiental, econômica e social. Trata-se de uma vertente da logística empresarial voltada à redução do consumo de recursos, da emissão de poluentes e da geração de resíduos ao longo da cadeia de suprimentos (Donato, 2008; Vo; Nguyen, 2023; Silva et al., 2022).

Segundo Blanco e Sheffi (2017), a logística verde envolve a mensuração, análise e mitigação dos impactos ambientais gerados pelas operações logísticas, sendo considerada uma ferramenta essencial para empresas que buscam alinhar sua performance operacional às exigências ambientais globais. Al-Minhas, Ndubini e Barrane (2020) complementam que a logística verde tem por finalidade tornar os processos mais limpos e menos agressivos, englobando práticas como o uso de embalagens ecológicas, o reaproveitamento de materiais, o uso de energia renovável e a logística reversa. Santos (2015) e Oliveira, Farias e Mendes (2021) reforçam que tais práticas não apenas reduzem impactos ambientais, mas também agregam valor à marca e ampliam a competitividade no mercado.

De modo geral, os autores convergem ao reconhecer que a logística verde amplia a visão tradicional da logística ao incorporar uma lógica preventiva e sistêmica. Enquanto a logística convencional busca eficiência e redução de custos, a logística verde equilibra objetivos econômicos, ambientais e sociais, orientando-se pelo conceito de desenvolvimento sustentável (Engelage; Borgert; Souza, 2016; Centobelli et al., 2020). Essa diferenciação se traduz na adoção de práticas como transporte sustentável, seleção de fornecedores ambientalmente responsáveis, monitoramento de emissões de carbono, gestão de resíduos e retorno de produtos (Rad; Gülmez, 2017; Picelli; Georges, 2011).

Autores como Maji, Saudi e Yusuf (2023) ressaltam que a logística verde compõe a estrutura da chamada cadeia de suprimentos verde, atuando como elo operacional que conecta o fornecimento sustentável à distribuição responsável. Cricelli, Greco e Grimaldi (2021) reforçam seu papel na criação de sistemas de ciclo fechado, em que materiais e produtos retornam para reciclagem, remanufatura ou descarte adequado, consolidando cadeias mais circulares e resilientes.

No contexto amazônico, essa abordagem assume relevância ainda maior. O Polo Industrial de Manaus (PIM) apresenta desafios logísticos singulares, marcados pelo isolamento geográfico, pela forte dependência de transporte fluvial e rodoviário e pela necessidade de integração de cadeias longas de suprimento. Essas condições elevam custos e emissões, tornando o aprimoramento ambiental da logística um vetor estratégico de competitividade e sustentabilidade regional (Souza; Santos, 2022).

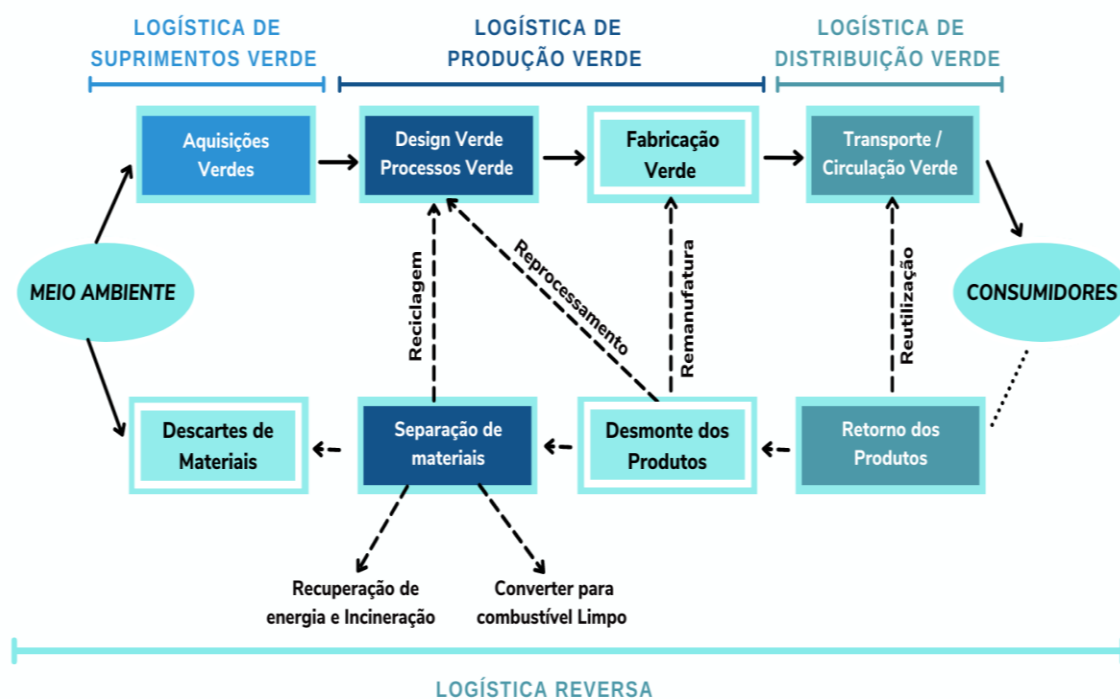
A literatura apresenta diferentes interpretações operacionais da logística verde, que podem ser sintetizadas em três dimensões principais: (i) práticas de eficiência de recursos (energia, matérias-primas, embalagens); (ii) controle e mitigação de impactos (emissões, resíduos, ruído, consumo de combustíveis fósseis); e (iii) integração de fluxos reversos (reutilização, reciclagem e remanufatura). Essa síntese teórica evidencia que a logística verde é simultaneamente uma prática operacional, uma diretriz estratégica e um campo de inovação tecnológica (Zaman; Shamsuddin, 2017; Oliveira; Mendes; Farias, 2022).

A logística verde tem como objetivo principal minimizar os impactos ambientais das operações logísticas, promovendo o uso racional de recursos, a eficiência energética e a redução de emissões e resíduos ao longo da cadeia de suprimentos. Trata-se de uma abordagem estratégica que busca equilibrar desempenho econômico e responsabilidade ecológica, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das organizações (Centobelli et al., 2020; Zaman; Shamsuddin, 2017; Donato, 2008).

De forma integrada, a logística verde abrange todas as etapas da cadeia de suprimentos (suprimentos, produção, distribuição e logística reversa), nas quais se adotam ações específicas voltadas à redução da pegada ambiental das atividades logísticas. Entre os principais objetivos estão: a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, o uso racional de energia e materiais, a reutilização de recursos, a gestão adequada de resíduos e o estímulo à circularidade (Vo; Nguyen, 2023; Al-Minhas; Ndubini; Barrane, 2020; Santos, 2015).

A Figura 2 apresenta uma representação esquemática das principais atividades envolvidas na logística verde, evidenciando como essas práticas se interligam ao longo das etapas de suprimentos, produção, distribuição e logística reversa.

**Figura 2** — Esquematização da Logística Verde.



Fonte: Adaptado de Xiu e Chen (2012).

Conforme se observa, a lógica que rege a logística verde ultrapassa os limites da operação tradicional e impõe uma abordagem sistêmica e preventiva. A separação e o desmonte de produtos, o reprocessamento de materiais e a conversão de resíduos em energia ou combustíveis limpos exemplificam essa nova configuração operacional, cuja premissa está na redução do impacto ambiental e na valorização dos recursos ao longo de seu ciclo de vida (Engelage; Borgert; Souza, 2016; Picelli; Georges, 2011).

Essa estrutura operacional amplia o campo de ação da logística, exigindo maior articulação entre áreas técnicas, ambientais e estratégicas da organização, e reforça a importância de se desenvolver indicadores que mensurem o desempenho dessas atividades de forma comparável ao longo do tempo, especialmente em regiões complexas como a Amazônia, onde o equilíbrio entre eficiência e conservação ambiental é desafiador.

Apesar dos avanços conceituais, a implementação da logística verde enfrenta barreiras significativas, sobretudo em contextos industriais periféricos. Os principais entraves incluem:

Econômicos: altos custos iniciais de tecnologias limpas e de frotas eficientes, além da dificuldade de acesso a incentivos e financiamentos (Fulfillment Hub USA, 2023; Oliveira; Mendes; Farias, 2022);

Tecnológicos: escassez de soluções voltadas ao monitoramento de emissões, rastreabilidade ambiental e integração de dados logísticos (Maji; Saudi; Yusuf, 2023; Gong et al., 2019);

Culturais e organizacionais: resistência à mudança e falta de capacitação técnica voltada à sustentabilidade (Vo; Nguyen, 2023; Donato, 2008);

Regulatórios: ausência de normas específicas e de padronização metodológica, dificultando comparações e avaliações de desempenho (Gong et al., 2019; Kumar et al., 2023).

No caso do PIM, essas barreiras são intensificadas por fatores estruturais, como as grandes distâncias entre fornecedores e clientes, a dependência de modais de maior emissão e a escassez de infraestrutura logística sustentável. Tais desafios reforçam a importância de instrumentos de avaliação adaptados à realidade regional, capazes de apoiar gestores na transição para cadeias produtivas mais verdes.

Assim, compreender a logística verde não apenas como um conjunto de práticas, mas como um sistema integrado de gestão ambiental e operacional, é essencial para o desenvolvimento de metodologias de mensuração e melhoria contínua. Essa visão estabelece a ponte com o próximo tópico, que trata da necessidade de mensuração e da criação de indicadores adequados para avaliar o desempenho da logística sustentável no contexto industrial amazônico.

### **2.3. Mensuração no Contexto da Logística Sustentável**

A transição para uma logística sustentável transcende o discurso e as intenções corporativas, demandando evidências quantificáveis que comprovem o progresso e justifiquem os investimentos. Diante da crescente pressão de stakeholders para que as empresas mitiguem os impactos adversos de suas operações (Agyabeng-Mensah; Afum; Henkorah, 2020), a

mensuração do desempenho consolida-se como o eixo estruturante da gestão logística comprometida com a responsabilidade socioambiental. É por meio da medição sistemática que uma organização pode diagnosticar suas ineficiências, monitorar a eficácia de suas estratégias verdes e comunicar seus resultados de forma transparente.

Na literatura gerencial, indicadores de desempenho são definidos como um conjunto de métricas utilizadas para quantificar a eficiência e a eficácia das ações de uma organização. Conforme Parmenter (2010), eles são ferramentas vitais que permitem acompanhar o progresso em relação aos objetivos estratégicos, fornecendo um feedback essencial para o aprendizado e a melhoria contínua. De forma complementar, Vieira (2020) os define como “um conjunto de medidas que permite medir, acompanhar e avaliar o desempenho dos processos, dando aos gestores informações importantes de como a empresa se encontra”. Essa função instrumental é corroborada por Neely, Gregory e Platts (2005), que posicionam a medição de desempenho como um processo central para traduzir a estratégia em ação. Assim, ao utilizar métricas de forma sistemática, os gestores podem avaliar o cenário organizacional, identificar tendências e fundamentar decisões táticas e estratégicas em dados concretos (Silva, 2019).

No contexto da sustentabilidade, é fundamental distinguir os indicadores de desempenho tradicionais dos que são especificamente desenhados para este fim. Os Key Performance Indicators (KPIs) clássicos da logística focam, predominantemente, na performance operacional e financeira, como custo por entrega, tempo de ciclo e acuracidade do inventário. Em contrapartida, os Sustainability Performance Indicators (SPIs) ampliam esse escopo para incorporar as dimensões ambiental e social (Singh; Udoncy, 2013). Essa expansão é fundamental, pois, conforme a Global Reporting Initiative (GRI, 2021), a performance de uma organização no século XXI deve ser avaliada por sua contribuição para o desenvolvimento sustentável, e não apenas por seus resultados financeiros.

A abordagem mais consagrada para estruturar os SPIs é o modelo dos três pilares, ou Triple Bottom Line (Elkington, 1997), que preconiza um equilíbrio entre o desempenho econômico, ambiental e social. No entanto, a aplicação prática deste modelo revela um desafio persistente: a tendência das organizações em supervalorizar indicadores econômicos em detrimento dos ambientais e, sobretudo, dos sociais (Geng; Mansouri; Aktas, 2017). Essa assimetria ocorre, em grande parte, pela dificuldade de mensurar e monetizar impactos não financeiros e intangíveis, como o bem-estar dos colaboradores ou a degradação de um ecossistema (Beske; Seuring, 2014). Para Singh e Udoncy (2013), medir o desempenho sustentável de forma integrada ainda é um desafio para os profissionais, exigindo novas competências e modelos de gestão.

No caso brasileiro, esse desafio se intensifica em polos industriais de alta complexidade logística, como o Polo Industrial de Manaus (PIM). A ausência de indicadores adaptados à realidade amazônica compromete a capacidade das empresas de mensurar seus impactos e de alinhar suas estratégias logísticas às regulamentações ambientais e às demandas de competitividade internacional. Estudos apontam que entraves de infraestrutura, dispersão geográfica e dependência de modais rodoviários e fluviais elevam significativamente os custos logísticos e a emissão de gases de efeito estufa na região (Souza; Santos, 2022; Picanço, 2023). Além disso, relatórios recentes da Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA, 2024; 2025) reforçam a necessidade de políticas e instrumentos de avaliação que considerem o desempenho ambiental como elemento estratégico da competitividade industrial local.

Como destacam Geng, Mansouri e Aktas (2017), a evolução das métricas sustentáveis requer uma abordagem segmentada, que considere as particularidades de cada subsistema logístico. Essa necessidade é ainda mais evidente no contexto industrial amazônico, onde os fluxos de suprimentos, produção, distribuição e logística reversa possuem dinâmicas distintas, demandando indicadores específicos para capturar adequadamente seus impactos ambientais e operacionais.

Dessa forma, a presente pesquisa avança na literatura ao propor um conjunto estruturado de indicadores de desempenho da logística verde, segmentados pelas etapas do processo logístico e validados por especialistas do setor. Tal abordagem busca preencher a lacuna identificada na literatura e na prática empresarial, fornecendo às organizações um instrumento de avaliação que integra a sustentabilidade à gestão logística de forma mensurável, aplicável e adaptada ao contexto do Polo Industrial de Manaus.

#### **2.4. Indicadores Ambientais Aplicáveis à Logística Verde:**

Mesmo diante das limitações para integrar plenamente os pilares da sustentabilidade, a literatura avançou na consolidação de indicadores ambientais aplicáveis à logística verde. Dentre eles, a quantificação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), especialmente o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), figura como a métrica central para avaliar a pegada de carbono da logística. Indicadores como emissões por tonelada-quilômetro (tkm) tornaram-se padrão para monitorar o impacto climático das operações, sendo um elemento-chave nas estratégias de descarbonização do setor (Noh; Kim, 2019; McKinnon, 2018). Intimamente atrelado às emissões está o consumo de energia, outro indicador fundamental que mensura o uso de combustíveis no transporte e eletricidade na armazenagem. A busca por eficiência, medida pelo

consumo por quilômetro percorrido ou unidade movimentada, não só reduz custos, mas também contribui diretamente para a diminuição da pegada de carbono, evidenciando uma sinergia entre metas econômicas e ambientais (Seuring; Müller, 2008).

Para além dos impactos atmosféricos, a logística verde debruça-se sobre a gestão dos recursos físicos ao longo da cadeia de suprimentos. Nesse sentido, os indicadores de gestão de resíduos ganham proeminência, avaliando desde a quantidade total de resíduos gerados até as taxas de reciclagem e reaproveitamento (McKinnon et al., 2015). A implementação de práticas de logística reversa, por exemplo, é uma estratégia que impacta diretamente a redução do desperdício de materiais, alinhando as operações aos princípios da economia circular, um paradigma que busca eliminar o conceito de lixo e manter os materiais em ciclos de uso contínuo (Sarkis et al., 2019; Geissdoerfer et al., 2017).

Essa racionalização de recursos também se reflete nos indicadores de desempenho do transporte, sobretudo na eficiência operacional. A otimização de rotas e a consolidação de cargas, por exemplo, visam maximizar a taxa de ocupação dos veículos e reduzir quilômetros percorridos em vazio. Tais práticas, conforme demonstrado por Govindan et al. (2014), resultam em uma maior eficiência no transporte, representando um ponto de convergência claro em que a redução de custos operacionais e a diminuição do impacto ambiental ocorrem simultaneamente.

No contexto amazônico, a aplicabilidade desses indicadores ganha contornos próprios. No subsistema de suprimentos, o monitoramento de emissões e consumo energético é crítico, dada a dependência de longas rotas fluviais e rodoviárias até Manaus, que elevam o custo e o impacto ambiental do transporte de insumos. Na produção, os indicadores de consumo de energia e geração de resíduos industriais são prioritários, especialmente pela diversidade de processos produtivos do Polo Industrial de Manaus (PIM) e pela ausência de medição padronizada de efluentes e emissões fabris. Já na distribuição, as emissões logísticas por tonelada-quilômetro e o uso de combustíveis alternativos tornam-se essenciais para avaliar a sustentabilidade das entregas, enquanto na logística reversa, os indicadores de retorno de embalagens e reaproveitamento de materiais são os mais desafiadores, pois exigem rastreabilidade e infraestrutura adequada para o reuso e a reciclagem.

A mensuração é condição *sine qua non* para a gestão eficaz da logística sustentável. Embora um conjunto robusto de indicadores ambientais já esteja consolidado na literatura, persiste o desafio de integrar, de forma equilibrada, as dimensões ambiental, econômica e social em um sistema de medição que reflita as especificidades de cada etapa logística. Nesse

contexto, torna-se necessário estruturar um conjunto de indicadores aplicáveis à realidade operacional das organizações, capazes de orientar a tomada de decisão e fomentar a melhoria contínua fundamentadas em princípios de sustentabilidade e alinhadas aos objetivos operacionais das organizações.

Entre os principais desafios de coleta de dados, destacam-se:

- (i) a falta de sensores e sistemas de monitoramento contínuo nas etapas de transporte e armazenagem;
- (ii) a ausência de integração entre dados ambientais e indicadores operacionais;
- (iii) a limitação na rastreabilidade de resíduos; e
- (iv) a escassez de bases consolidadas no PIM, dificultando comparações interempresariais e análises de desempenho longitudinal.

**Quadro 1** — Síntese de indicadores de Logística Verde identificados na literatura.

Fonte: O Autor (2024).

| Indicador de Desempenho                | Descrição / Estudo                                                                                                                                       | Autor(es)                 | Aplicabilidade ao PIM                                                                                                                             |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Consumo de energia                     | Adoção de tecnologias energeticamente eficientes e otimização de rotas reduzem o consumo, medido por tonelada transportada ou por quilômetro percorrido. | Seuring e Müller (2008)   | Alta relevância no subsistema de produção e armazenagem; o consumo energético industrial é uma das principais fontes de impacto ambiental do PIM. |
| Desperdício de materiais               | Práticas de logística reversa e reciclagem reduzem significativamente os resíduos gerados nas operações logísticas.                                      | Sarkis et al. (2019)      | Crítico na produção e reversa; elevado volume de resíduos plásticos e metálicos nas indústrias de transformação locais.                           |
| Eficiência no transporte               | Consolidação de cargas e otimização de rotas aumentam a eficiência, reduzindo o número de viagens e as emissões associadas.                              | Govindan et al. (2014)    | Fundamental para o subsistema de distribuição, devido à distância entre Manaus e os principais centros consumidores.                              |
| Emissões de gases de efeito estufa     | A redução de GEE (como CO <sub>2</sub> ) é um indicador-chave da logística verde, associado ao uso de combustíveis alternativos e gestão de transportes. | Noh e Kim (2019)          | Prioritário em suprimentos e distribuição; transporte fluvial e rodoviário de longa distância é o principal gerador de emissões.                  |
| Resíduos gerados e reciclados          | Percentual de resíduos reaproveitados em relação ao total gerado é utilizado para mensurar o desempenho ambiental da cadeia.                             | McKinnon et al. (2015)    | Aplicável à produção e reversa; falta padronização na medição e destino de resíduos no PIM.                                                       |
| Uso de embalagens sustentáveis         | Percentual de embalagens recicláveis ou biodegradáveis utilizadas nas operações logísticas.                                                              | Sarkis et al. (2019)      | Relevante em produção e distribuição; desafios de fornecimento local e custo de materiais sustentáveis.                                           |
| Uso de combustíveis alternativos       | Avaliação da substituição de combustíveis fósseis por fontes menos poluentes no transporte logístico.                                                    | Maji; Saudi; Yusuf (2023) | Alta relevância no transporte de suprimentos; dependência quase exclusiva de diesel eleva impacto ambiental regional                              |
| Índice de logística reversa            | Proporção de produtos e embalagens que retornam para reuso, reciclagem ou descarte adequado.                                                             | Vo e Nguyen (2023)        | Crítico para o PIM; falta infraestrutura consolidada para retorno de materiais a fabricantes.                                                     |
| Condições de trabalho logístico        | Indicadores de segurança, ergonomia e bem-estar no trabalho, associados à sustentabilidade social na logística.                                          | Beamon (1999)             | Relevante em todos os subsistemas; necessidade de programas de capacitação e ergonomia nas operações manuais.                                     |
| Capacitação ambiental de colaboradores | Grau de treinamento e engajamento ambiental da equipe logística, promovendo cultura sustentável interna.                                                 | Singh e Udoncy (2013)     | Essencial à efetividade dos demais indicadores; baixa oferta de treinamentos ambientais específicos no PIM.                                       |

## 2.5. Modelos e Frameworks para Avaliação do Desempenho Sustentável

Evoluir de um conjunto isolado de indicadores para um sistema de gestão integrado demanda a adoção de modelos e frameworks estruturados. A literatura acadêmica e as normas técnicas oferecem um diversificado arsenal de abordagens para mensurar a performance sustentável na logística, que podem ser compreendidas através de suas diferentes funções: alinhamento estratégico, avaliação de impacto, padronização, operacionalização e apoio à decisão.

No plano estratégico, o Balanced Scorecard Sustentável (BSC-S), uma evolução do modelo seminal de Kaplan e Norton (1992), destaca-se como principal ferramenta para integrar a sustentabilidade à estratégia corporativa. Ao adicionar uma ou mais perspectivas (ambiental, social) às quatro originais, o BSC-S permite que as organizações traduzam metas de sustentabilidade de alto nível em objetivos e indicadores operacionais monitoráveis (Figge *et al.*, 2002). A sua força reside na capacidade de criar uma relação de causa e efeito entre as ações de logística verde e os resultados estratégicos globais, evitando que a sustentabilidade seja tratada como uma iniciativa isolada (Möller & Schaltegger, 2005).

Se o BSC-S oferece o direcionamento "top-down", a quantificação rigorosa dos impactos ambientais ao longo da cadeia de valor exige uma abordagem "bottom-up", mais técnica e granular. Para este fim, a Análise do Ciclo de Vida (ACV), normatizada pela ISO 14040, é a ferramenta por excelência. A ACV avalia os impactos ambientais potenciais de um produto ou serviço "do berço ao túmulo", permitindo uma comparação detalhada entre diferentes alternativas logísticas, como modais de transporte ou tipos de embalagem (Guinée *et al.*, 2011). Contudo, sua aplicação em cadeias de suprimentos complexas enfrenta desafios significativos, como a alta demanda por dados e a dificuldade em definir as fronteiras do sistema, o que pode limitar sua viabilidade prática em algumas situações (Zamagni *et al.*, 2012).

Visando padronizar a avaliação de desempenho e facilitar a comunicação dos resultados, as organizações podem se apoiar em normas internacionais. A ISO 14031 oferece diretrizes para a Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA), fornecendo uma estrutura para selecionar e utilizar indicadores operacionais e de gestão. Essa norma funciona de forma sinérgica com sistemas de gestão ambiental, como a ISO 14001, atuando como o "motor" de medição que alimenta o ciclo de melhoria contínua (PDCA - *Plan-Do-Check-Act*) e viabiliza o monitoramento sistemático da performance ambiental das atividades logísticas (ISO, 2013; Hertin *et al.*, 2008).

Paralelamente a essas ferramentas e normas de aplicação geral, a pesquisa acadêmica tem gerado uma gama de modelos focados em nichos específicos. Essa intensa mobilização da comunidade científica em busca de modelos aplicáveis à realidade organizacional é ilustrada por iniciativas com o SCMEP (*Supply Chain Management Environmental Performance*), que foca na integração de práticas ambientais na cadeia de suprimentos (Zhu & Sarkis, 2007); o RLSA (*Reverse Logistics Sustainability Assessment*), desenhado para as complexidades da logística reversa (Zhu, Sarkis & Lai, 2008); e o SSCPM (*Sustainable Supply Chain Performance Measurement*), que se propõe a integrar de forma equilibrada as métricas dos três pilares da sustentabilidade (Singh & Udoney, 2013). Essa proliferação de modelos, embora valiosa, evidencia a ausência de um framework universalmente aceito, destacando a necessidade de abordagens adaptáveis ao contexto setorial e organizacional (Ahi & Searcy, 2013).

A aplicação desses diversos indicadores e modelos frequentemente revela a existência de *trade-offs* entre objetivos conflitantes, como a minimização de custos e a redução de emissões. Para lidar com essa complexidade, os métodos de Análise Multicritério de Apoio à Decisão (MCDM) surgem como uma solução robusta. Ferramentas como AHP, TOPSIS e PROMETHEE permitem aos gestores ponderar diferentes critérios, tanto quantitativos quanto qualitativos, e classificar alternativas logísticas para escolher a que oferece o melhor balanço de desempenho sustentável (Hassini, Surti & Searcy, 2012). Um exemplo prático é a sua aplicação na seleção de fornecedores, onde critérios de custo e qualidade são avaliados juntamente com o desempenho ambiental e as condições de trabalho do fornecedor, levando a uma decisão mais holística e estratégica (Govindan *et al.*, 2015).

O panorama de modelos para avaliação do desempenho sustentável na logística é vasto e multifacetado. A jornada da gestão perpassa o alinhamento estratégico com o BSC-S, a medição de impacto com a ACV, a padronização com a ISO 14031, a aplicação de modelos acadêmicos específicos e, finalmente, o suporte à decisão com os métodos MCDM. Não existe uma solução única; o desafio para as organizações é, portanto, orquestrar essas ferramentas de forma coerente, construindo um sistema de medição que seja ao mesmo tempo robusto metodologicamente e pragmático em sua aplicação.

A diversidade de modelos disponíveis na literatura especializada evidencia a complexidade envolvida na avaliação do desempenho logístico sustentável. Compreender as especificidades, vantagens e limitações de cada abordagem é fundamental para orientar sua aplicação conforme os objetivos organizacionais e as particularidades do contexto. O quadro 2

apresenta uma síntese comparativa dos principais modelos e frameworks mencionados na literatura, categorizando-os de acordo com sua função predominante.

Essa sistematização contribui para a análise crítica das ferramentas existentes, ao evidenciar tanto sua complementaridade quanto os desafios associados à sua aplicação prática. Observa-se, ainda, que a integração entre abordagens estratégicas, operacionais e multicritério pode ampliar a robustez metodológica dos sistemas de mensuração voltados à sustentabilidade na logística.

**Quadro 2** — Modelos e frameworks para avaliação do desempenho logístico sustentável.

| <b>Modelo</b>                                             | <b>Descrição</b>                                                                                             | <b>Autor(es)</b>                            |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Balanced Scorecard Ambiental (BSC Ambiental)              | Adaptação do BSC tradicional com inclusão de métricas ambientais e sociais integradas às metas estratégicas. | Kaplan e Norton (1992); Figge et al. (2002) |
| Análise do Ciclo de Vida (ACV)                            | Avalia impactos ambientais desde a extração de matéria-prima até o descarte final; base na ISO 14040.        | ISO (2006); Guinée et al. (2011)            |
| SCMEP (Supply Chain Management Environmental Performance) | Integra indicadores ambientais nas práticas logísticas da cadeia de suprimentos.                             | Zhu e Sarkis (2007)                         |
| LAP (Logistics Assessment Performance)                    | Framework que considera GEE, consumo de energia e gestão de resíduos.                                        | Asif et al. (2020)                          |
| SSCPM (Sustainable Supply Chain Performance Measurement)  | Modelo que integra métricas de desempenho econômico, ambiental e social.                                     | Singh e Udoncy (2013)                       |
| RLSA (Reverse Logistics Sustainability Assessment)        | Avalia a sustentabilidade da logística reversa, considerando as três dimensões da sustentabilidade.          | Zhu, Sarkis e Lai (2008)                    |
| SLP (Sustainable Logistics Performance)                   | Integra métricas ambientais e sociais; foca em emissões, uso de energia e saúde ocupacional.                 | Lee et al. (2012)                           |
| Norma ISO 14031                                           | Diretrizes para monitorar e relatar o desempenho ambiental das organizações.                                 | ISO (2013)                                  |
| Modelos MCDM (AHP, PROMETHEE, TOPSIS)                     | Métodos multicritério que ponderam fatores conflitantes para avaliar sustentabilidade logística.             | Hassini, Surti e Searcy (2012)              |
| Indicadores Setoriais (GRI, DJSI, ISE)                    | Conjuntos de indicadores usados para mensurar a sustentabilidade organizacional e setorial.                  | Orefice e Iizuka (2017)                     |

Fonte: O Autor (2024).

A análise dos frameworks demonstra que, embora cada abordagem apresente contribuições relevantes, nenhuma atende integralmente à necessidade de mensurar a sustentabilidade logística de forma integrada e adaptada ao contexto amazônico.

O BSC-S traduz a sustentabilidade em objetivos estratégicos, mas carece de granularidade operacional.

A ACV é tecnicamente precisa, porém inviável em ambientes industriais com limitações de dados e múltiplas rotas logísticas.

A ISO 14031 fornece estrutura metodológica, mas não contempla indicadores específicos para a logística verde.

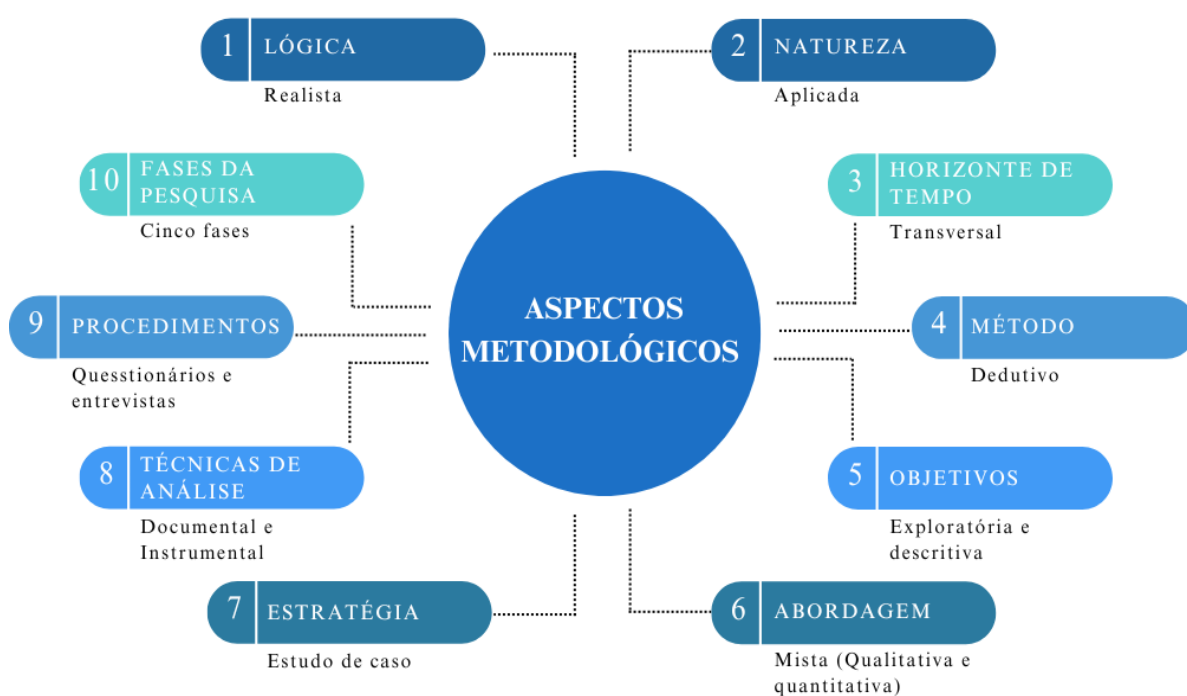
Os métodos MCDM são eficazes para decisões multicritério, mas demandam alto grau de especialização e critérios subjetivos.

Assim, as lacunas observadas nesses modelos fundamentam a proposta desta pesquisa, que busca construir um sistema de mensuração integrado, aplicável e contextualizado à realidade do Polo Industrial de Manaus. O conjunto estruturado de indicadores e a escala de maturidade apresentados na sequência emergem como resposta prática a essas limitações, consolidando o elo entre teoria e aplicação no âmbito da logística verde.

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo, são apresentados aspectos metodológicos da pesquisa, incluindo as abordagens, procedimentos e técnicas que serão utilizadas para o alcance dos objetivos. O capítulo é subdividido em tópicos, baseado na taxonomia proposta por Saunders, Lewis e Thirnhill (2019), e Gil (2019). A figura 3 apresenta uma síntese dos aspectos metodológicos da pesquisa.

**Figura 3** — Síntese dos aspectos metodológicos



Fonte: O Autor (2024).

#### 3.1. Classificação Quanto a Lógica, Natureza, Horizonte de Tempo e Abordagem de Método

Para a investigação do tema em questão, a presente pesquisa seguiu uma postura realista. Conforme Saunders, Lewis e Thirnhill (2019) as pesquisas que seguem a lógica realista, propõem a compreensão de novos assuntos e aplicação prática para solução de um problema em determinada realidade. Essa lógica se alinha à presente dissertação, que parte de um problema prático (a dificuldade de mensuração da logística verde) para desenvolver uma solução aplicável (um conjunto de indicadores segmentado) à realidade industrial. Para Gil (2019), a pesquisa pode ser classificada, segundo sua natureza, como aplicada. A fase exploratória se deu pelo aprofundamento em uma lacuna pouco explorada, a segmentação de indicadores por subsistema logístico, enquanto a fase descritiva se concentrou em caracterizar

detalhadamente as práticas e percepções dos gestores, culminando na proposição do conjunto de indicadores. Quanto ao horizonte de tempo, o trabalho foi um estudo transversal utilizando o método dedutivo.

### **3.2. Classificação Quanto aos Objetivos**

A pesquisa pode ser classificada de acordo com Gil (2019) como exploratória e descritiva, pois tem como alvo o desenvolvimento e apresentação de uma proposta de indicadores para avaliação de desempenho das práticas de logística verde, lacuna de pesquisa pouco explorada.

Pesquisas que seguem estas duas classificações, visam, além de gerar uma maior familiaridade do pesquisador acerca do assunto, descrever determinado fenômeno, reunindo informações sobre o objeto investigado com o intuito de descrevê-lo com precisão, sendo base para posteriores estudos.

### **3.3. Classificação Quanto a Abordagem**

Para responder à questão de pesquisa, o estudo utilizou um método misto. O trabalho combina, assim, abordagens qualitativas e quantitativas para permitir um estudo completo e diferencial do fenômeno em estudo. A pesquisa quantitativa, conforme definida por Gil (2019), envolve a coleta e análise de dados numéricos para revelar padrões estatísticos, tendências e relacionamentos. Essa abordagem coleta informações de um grande número de participantes usando ferramentas estruturadas de coleta de dados, como questionários ou experimentos.

Por outro lado, a pesquisa qualitativa se concentra na compreensão da experiência subjetiva, do significado e do contexto social associado a um determinado fenômeno (Gil, 2019). Essa abordagem envolve a coleta de dados não quantitativos, como entrevistas e observações.

E A adoção do método misto fundamentou-se na busca por complementariedade entre abordagens, permitindo que os dados quantitativos oferecessem uma visão ampliada do fenômeno, enquanto os dados qualitativos contribuíssem com aprofundamento interpretativo e contextual. As abordagens quantitativas e qualitativas foram adotadas em diferentes etapas do processo de pesquisa. O tempo exato e a sequência desses métodos estão determinados no detalhamento das etapas.

### **3.4. Classificação Quanto a Estratégia**

A presente pesquisa adotou o estudo de caso como estratégia metodológica, dada sua capacidade de explorar fenômenos em profundidade e em seu contexto real. Conforme

argumenta Yin (2017), essa abordagem é especialmente eficaz para investigar fenômenos contemporâneos cujas fronteiras com o contexto não são claramente delimitadas, permitindo uma análise holística das interações entre as práticas de logística verde e os sistemas de mensuração organizacionais. Trata-se de uma abordagem adequada para capturar dimensões que não seriam plenamente compreendidas por métodos exclusivamente quantitativos.

O estudo foi conduzido em duas indústrias de transformação do setor eletroeletrônico, situadas no Polo Industrial de Manaus (PIM), um importante centro industrial da economia brasileira. A seleção das unidades de análise seguiu uma amostragem não probabilística do tipo intencional, orientada por critérios previamente definidos que buscavam assegurar a relevância teórica e a profundidade dos dados. Os critérios de inclusão adotados foram: a representatividade da organização no setor eletroeletrônico; a abrangência e a complexidade de suas operações logísticas, contemplando as etapas de suprimentos, produção, distribuição e logística reversa; e o consentimento formal da alta gestão para participação no estudo, o que garantiu acesso autorizado aos profissionais e às informações necessárias.

Para fins analíticos, as unidades participantes são referenciadas nesta dissertação por meio de codinomes, sendo identificadas como Empresa Alfa e Empresa Beta. Essa escolha visa preservar a confidencialidade das organizações e assegurar a comparabilidade das análises realizadas ao longo do trabalho.

### **3.5. Classificação Quanto as Técnicas de Análises**

Na pesquisa, foram utilizadas duas técnicas de análise: análise documental, por meio da revisão de literatura, e análise instrumental, por meio de questionários e entrevistas (Gil, 2019).

A análise documental envolveu uma extensa pesquisa e avaliação da literatura existente, incluindo artigos acadêmicos, relatórios da indústria e publicações relacionadas às práticas de logística. Já a análise instrumental consistiu no uso de questionários e entrevistas para a coleta de dados primários diretamente de empresas do setor em estudo e especialistas.

Com os questionários, buscou-se identificar e analisar as práticas de logística verde adotadas pelas indústrias do setor de eletroeletrônicos do Polo Industrial de Manaus, especialmente no que se refere à medição de desempenho dessas práticas. Os questionários foram enviados às empresas do setor, com direcionamento aos gestores das áreas de logística. O instrumento foi composto por uma série de perguntas pré-definidas que abrangeram diversos aspectos da logística verde. O objetivo foi coletar dados quantitativos que pudessem ser analisados estatisticamente, fornecendo subsídios para a compreensão da adoção e da eficácia das práticas de logística verde nas indústrias de transformação do Polo Industrial de Manaus

(PIM). Para esse fim, utilizou-se a escala Likert de 5 pontos, que permitiu determinar o nível de concordância ou discordância com base em uma escala numérica.

O segundo instrumento empregado no estudo foi uma entrevista semiestruturada, realizada com um grupo selecionado de especialistas em logística. Essa etapa teve como objetivo reunir percepções e conhecimentos que contribuíssem para o desenvolvimento da estrutura de medição das práticas verdes em atividades logísticas. A seleção dos profissionais baseou-se em seu conhecimento, experiência e expertise em logística e práticas sustentáveis. Esses profissionais incluíram acadêmicos, consultores e gestores envolvidos diretamente com iniciativas de logística mais sustentável.

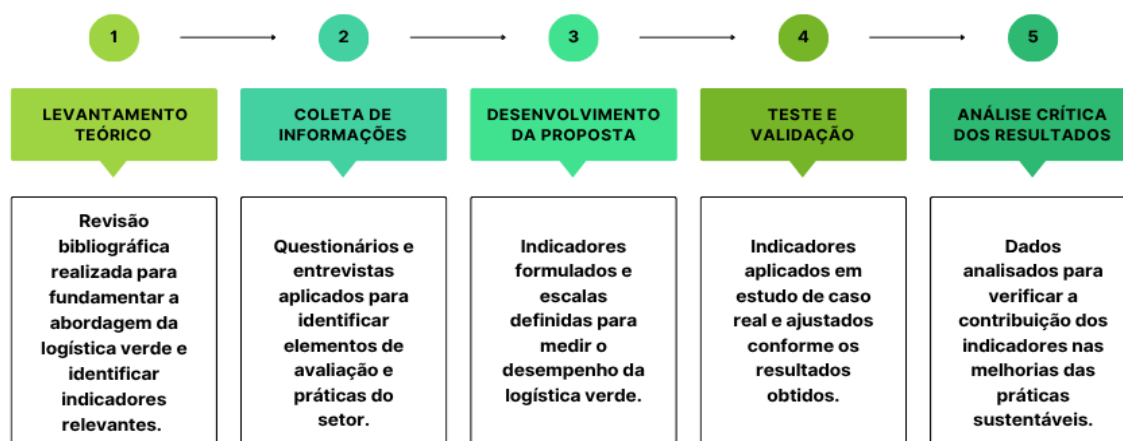
A combinação das técnicas permitiu uma exploração abrangente do tema, integrando o conhecimento existente com os dados primários fornecidos pelas empresas participantes.

### 3.6. Etapas da Pesquisa

A pesquisa foi organizada em cinco fases distintas, cada uma desenhada para alcançar um dos objetivos específicos, garantindo a construção sequencial e lógica dos resultados.

A Figura 4 apresenta um resumo das etapas da pesquisa, delineando as etapas-chave que foram realizadas ao longo do trabalho. Cada etapa desempenhou um papel fundamental na construção do conhecimento e na validação da estrutura de avaliação que foi proposta.

**Figura 4** — Etapas da pesquisa



Fonte: O Autor (2024).

#### 3.6.1. Etapa 1: Levantamento teórico

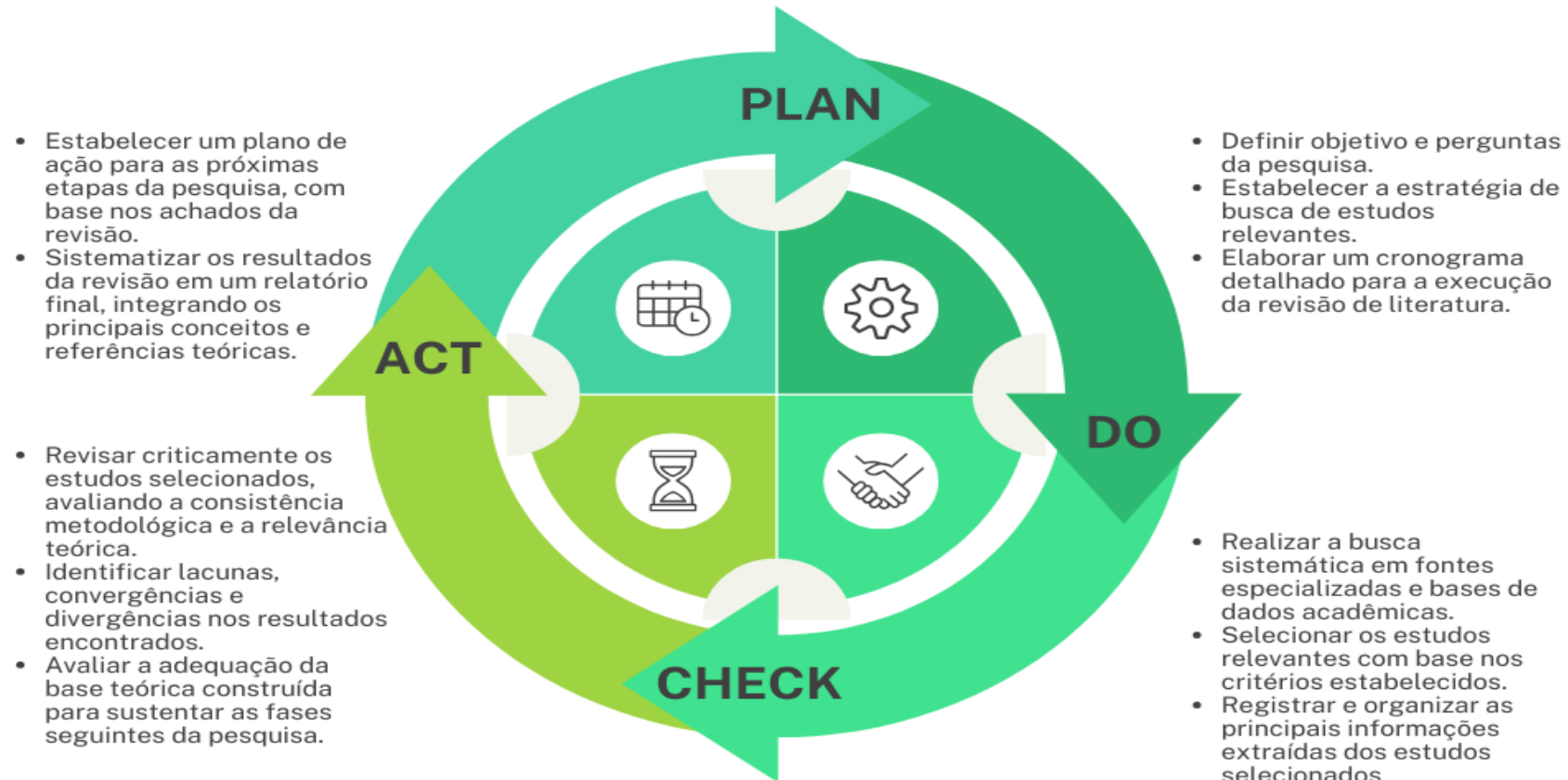
A primeira etapa desta pesquisa consistiu na realização de uma revisão da literatura científica, com o objetivo de construir um referencial teórico sólido e abrangente sobre o tema em estudo. O foco desta fase foi aprofundar os fundamentos conceituais relacionados à

logística, à logística verde, aos indicadores de desempenho e aos principais modelos de mensuração aplicáveis ao contexto da sustentabilidade.

Para assegurar a amplitude e o rigor do levantamento, a busca por artigos, dissertações e teses foi conduzida em bases de dados de reconhecida relevância científica, tais como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO e Google Scholar. Foram utilizados descritores em português e inglês, combinando termos como “logística verde” (green logistics), “logística sustentável” (sustainable logistics), “indicadores de desempenho” (performance indicators), “medição de desempenho logístico” (logistics performance measurement) e “gestão da cadeia de suprimentos sustentável” (sustainable supply chain management). O processo de seleção seguiu critérios de inclusão que priorizaram publicações em periódicos revisados por pares, aderência temática e alinhamento com a problemática de pesquisa.

Como resultado, obteve-se a consolidação de uma base teórica robusta, apresentada no Capítulo 2 desta dissertação. Os referenciais identificados e os conceitos sistematizados forneceram o embasamento necessário para as etapas seguintes da investigação, orientando a delimitação precisa da lacuna de pesquisa e a construção dos instrumentos de coleta de dados utilizados nas fases empíricas do estudo.

**Figura 5** — Plano de ação para etapa 1.



### 3.6.2. Etapa 2: Coleta de informações

A segunda etapa da pesquisa concentrou-se na identificação dos elementos essenciais para a avaliação da logística verde. Para esse fim, foi adotado um método misto sequencial, combinando um levantamento quantitativo por meio de questionário com uma prospecção qualitativa baseada em entrevistas com especialistas, a fim de alcançar tanto amplitude quanto profundidade na coleta de dados.

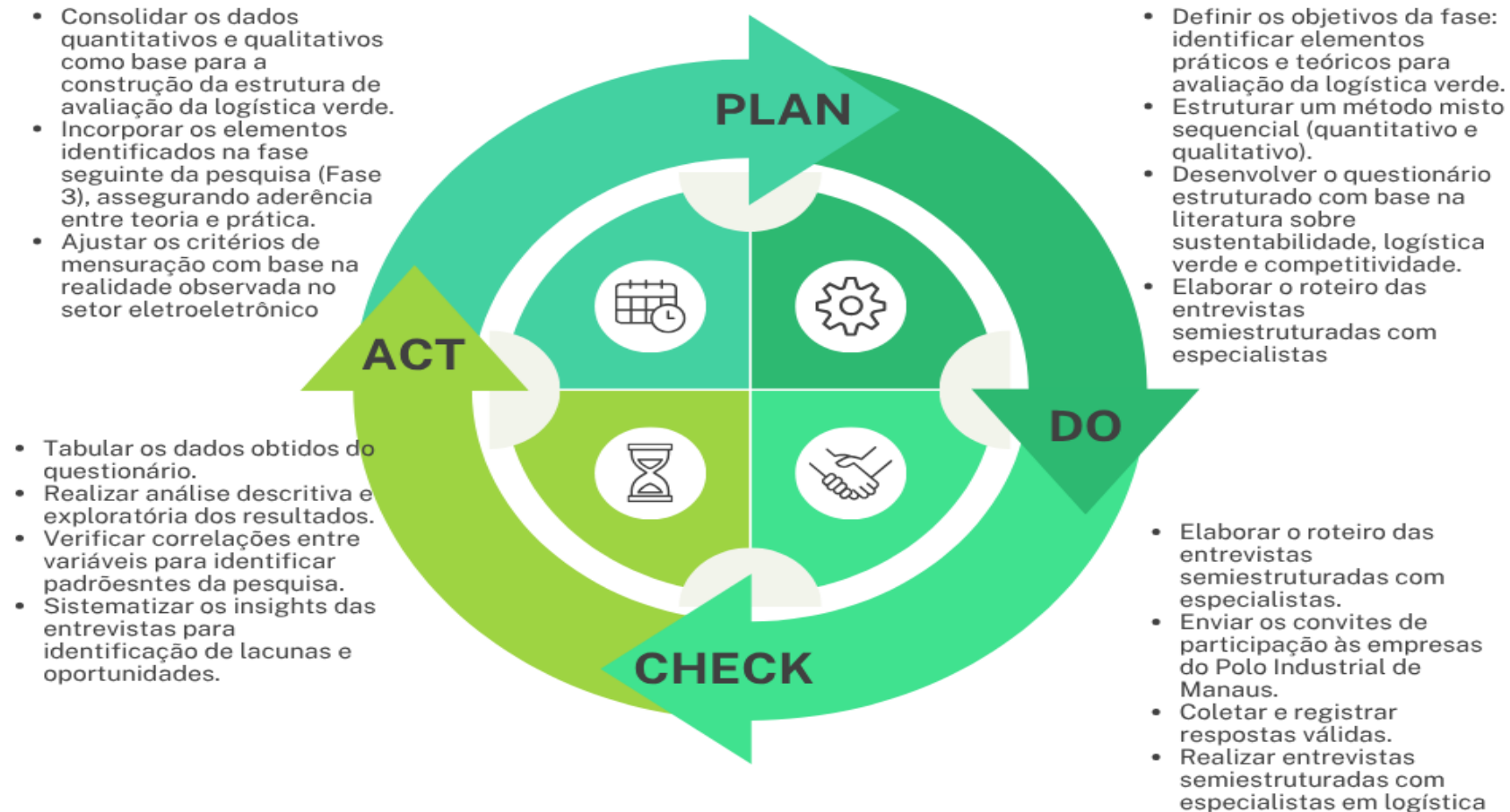
O procedimento quantitativo foi operacionalizado por meio de um questionário estruturado, desenvolvido com base em estudos consolidados sobre sustentabilidade, logística verde e competitividade. O instrumento foi organizado em blocos temáticos com o objetivo de capturar uma visão multidimensional do fenômeno. Inicialmente, foram coletadas informações demográficas das empresas respondentes, como porte e setor de atuação, com o intuito de contextualizar os resultados. Em seguida, investigou-se a percepção institucional sobre sustentabilidade e seu grau de integração às decisões estratégicas. Por fim, o questionário abordou a aplicação efetiva da logística verde, incluindo a existência de políticas formais e as práticas específicas adotadas em cada subsistema logístico, como suprimentos, produção, distribuição e logística reversa. Também foi apurado se as empresas utilizavam indicadores de desempenho para monitorar essas práticas.

A coleta de dados com esse instrumento foi realizada entre os meses de fevereiro e junho de 2024, utilizando a plataforma online Google Forms. O convite para participação foi enviado por e-mail aos responsáveis pelas áreas de logística e sustentabilidade das empresas do Polo Industrial de Manaus, com garantia de anonimato e voluntariedade. Ao todo, foram obtidas 135 respostas válidas, das quais 76 correspondem a empresas do setor eletroeletrônico, foco principal deste estudo. Os dados coletados foram tabulados e submetidos a uma análise de estatística descritiva, conduzida com o auxílio do software Microsoft Excel para a construção de gráficos e tabelas que facilitassem a interpretação dos resultados.

Com base no diagnóstico quantitativo, foi realizada a etapa qualitativa, composta por entrevistas semiestruturadas com um grupo selecionado de especialistas em logística. A escolha dos participantes fundamentou-se em seu notório conhecimento técnico e prático sobre o tema. Essa etapa teve como objetivo aprofundar a compreensão sobre os desafios enfrentados no setor e reunir subsídios para o desenvolvimento da proposta de indicadores. O roteiro das entrevistas, elaborado com base na literatura metodológica (Marconi; Lakatos, 2017), foi estruturado para permitir flexibilidade na condução das conversas, assegurando que os dados coletados refletissem tanto os referenciais teóricos quanto as realidades operacionais da área.

Em conjunto, os dados quantitativos obtidos por meio do questionário, que forneceram um panorama geral das práticas empresariais, e as percepções resultantes das entrevistas, que agregaram profundidade analítica e validação especializada, constituíram os insumos fundamentais para a construção da estrutura de avaliação apresentada na fase seguinte da pesquisa.

**Figura 6** — Plano de ação para etapa 2.



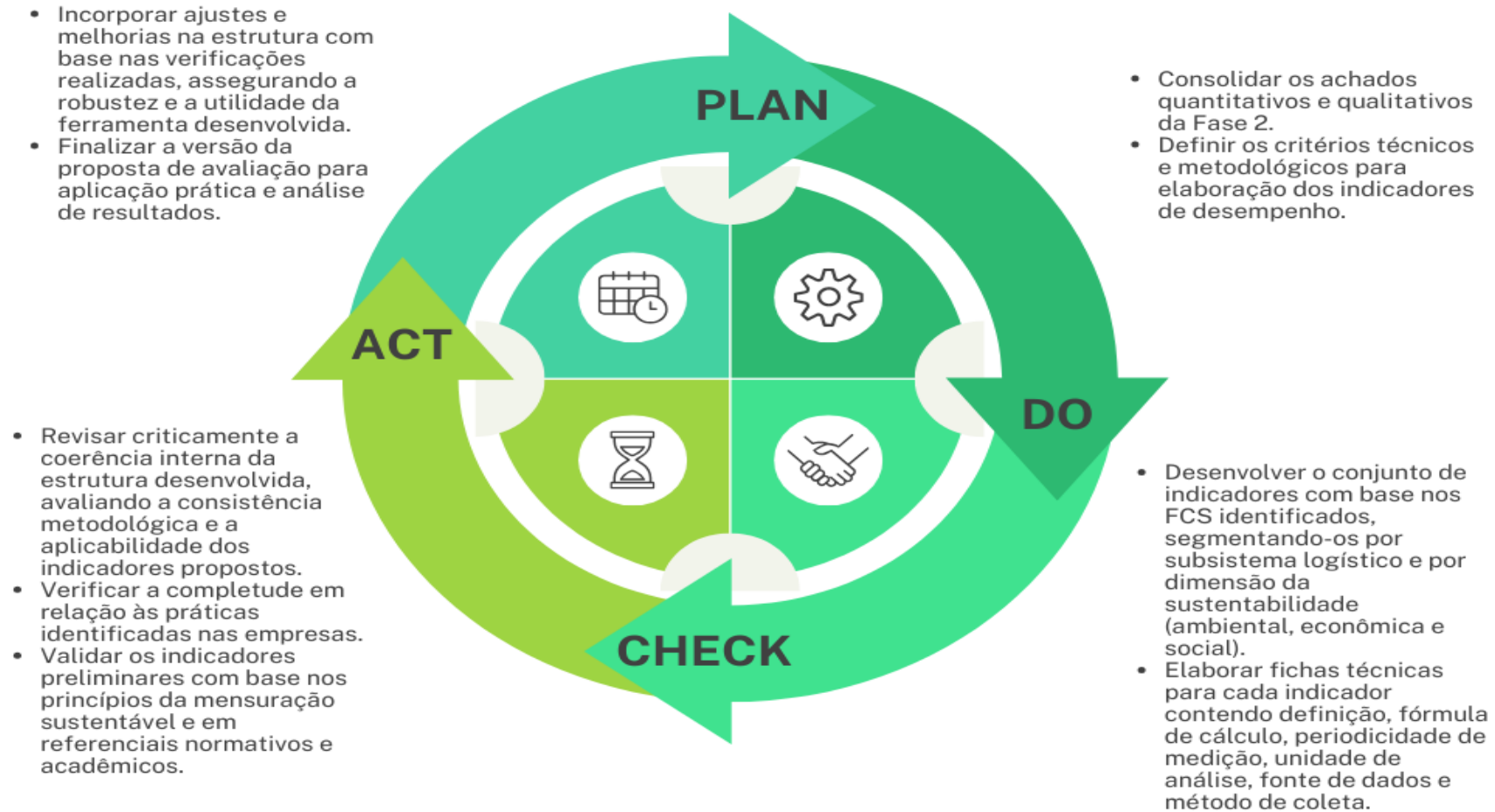
### 3.6.3. Etapa 3: Desenvolvimento da proposta

A terceira etapa da pesquisa foi dedicada ao desenvolvimento da estrutura de avaliação de desempenho da logística verde. O objetivo central foi ampliar o conjunto de métricas já utilizadas pelas indústrias e, sobretudo, desenvolver uma ferramenta capaz de traduzir, de forma prática e representativa, os Fatores Críticos de Sucesso (FCS) da sustentabilidade em indicadores acionáveis. Esta etapa teve como base as constatações da Fase 2, na qual os dados quantitativos e qualitativos permitiram identificar os elementos-chave para uma avaliação pertinente ao contexto industrial analisado.

A proposta foi composta por um conjunto de indicadores de desempenho, segmentados por tipo de logística (suprimentos, produção, distribuição e reversa) estruturados para cobrir, de forma equilibrada, as dimensões ambiental, econômica e social. Para cada indicador, foi elaborada uma ficha técnica detalhada, especificando sua fórmula de cálculo, as fontes de dados necessárias, o método de coleta e a frequência de medição recomendada. Adicionalmente, a estrutura incluiu a proposição de escalas e índices para permitir a quantificação do nível de eficiência das práticas de logística verde.

Visando orientar a gestão e a melhoria contínua, o modelo foi desenhado para incorporar campos destinados ao registro dos resultados alcançados, à comparação com padrões de referência (benchmarks) e à definição de metas futuras para as práticas sustentáveis nas atividades logísticas.

**Figura 7** — Plano de ação para etapa 3.



#### 3.6.4. Etapa 4: Teste e validação da estrutura proposta

A quarta etapa da pesquisa teve como objetivo a validação da pertinência e a demonstração da aplicabilidade prática da estrutura de indicadores desenvolvida. Este processo foi conduzido por meio de um estudo de caso aplicado em duas empresas parceiras do setor eletroeletrônico, localizadas no Polo Industrial de Manaus, aqui denominadas Empresa Alfa e Empresa Beta. A etapa foi dividida em dois procedimentos complementares: a validação técnica do framework e sua aplicação para um diagnóstico de maturidade.

O primeiro procedimento, de validação técnica, envolveu a colaboração de quatro especialistas internos das empresas participantes, todos com notória experiência em gestão logística, que atuaram como avaliadores. A tarefa desses profissionais foi analisar cada indicador proposto. Para isso, foi utilizado um instrumento estruturado no qual os especialistas atribuíram pontuações em uma escala de 1 (inadequado) a 5 (totalmente adequado) para cada indicador, com base em sete critérios de qualidade previamente definidos na literatura: relevância, mensurabilidade, confiabilidade, aplicabilidade, simplicidade, frequência de atualização e utilidade para a gestão. Como critério para ação, foi estabelecido que qualquer indicador cuja média de avaliação ficasse abaixo de 3,0 pontos seria submetido a uma revisão para ajuste ou exclusão da proposta final. O propósito desta avaliação foi verificar a eficiência do conjunto de indicadores em capturar as especificidades do setor e a consistência dos indicadores propostos.

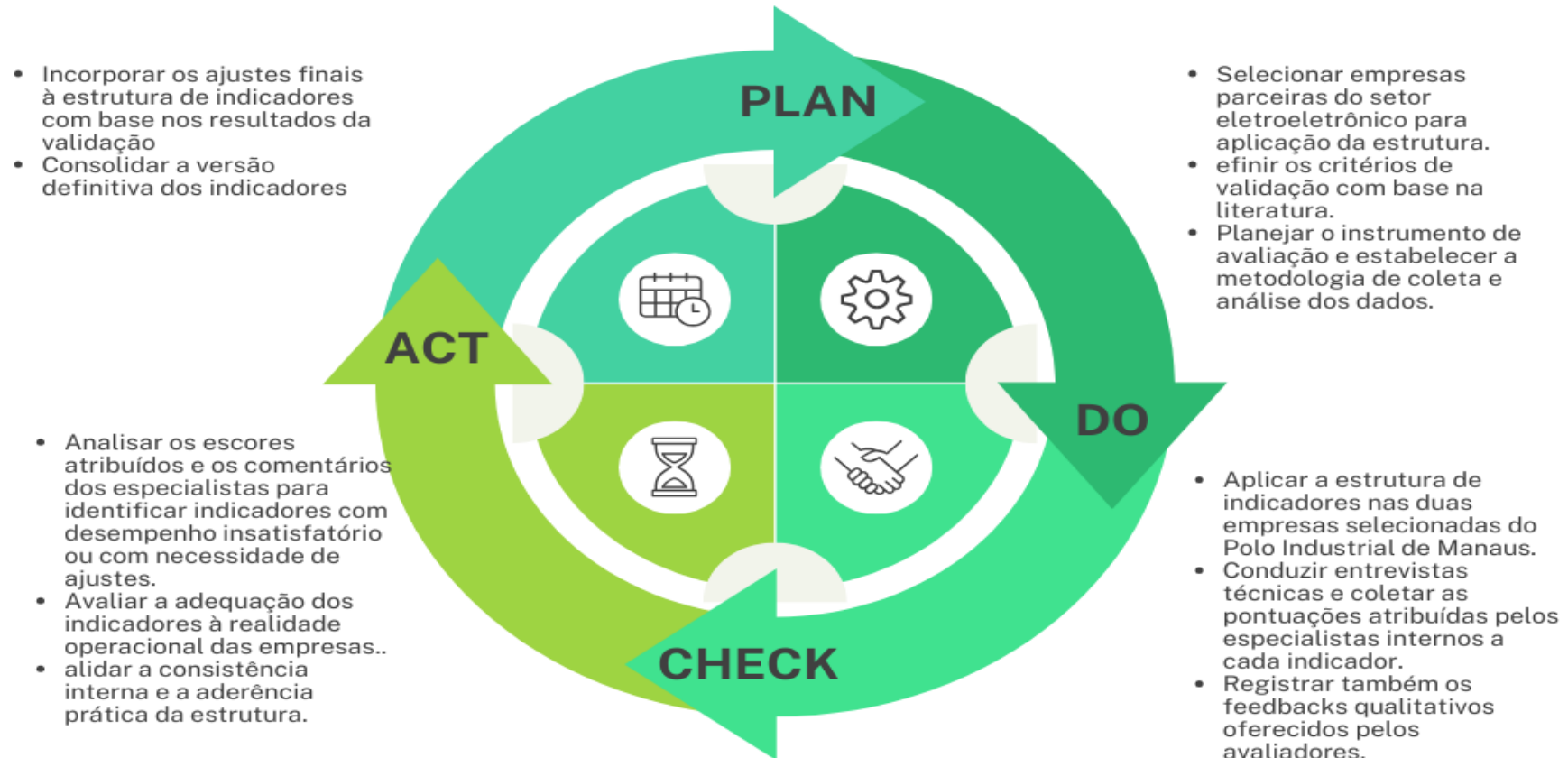
O segundo procedimento consistiu na aplicação diagnóstica da proposta. Nesta fase, foram levantados, junto às Empresas Alfa e Beta, os dados operacionais reais referentes a cada um dos indicadores propostos. Utilizando as fontes de dados descritas nas fichas técnicas do modelo (como relatórios de produção, sistema de gestão de frota e registros de SAC), foi possível calcular o desempenho bruto de cada empresa para cada indicador.

Com base nestes dados, aplicou-se a metodologia da escala de maturidade, descrita na seção de resultados, que envolveu a normalização das pontuações e o cálculo da média por área logística. O objetivo desta aplicação foi gerar um diagnóstico comparativo do nível de maturidade (Incipiente, Em Desenvolvimento, Estruturado, Otimizado ou Estratégico) de cada empresa nas quatro esferas da logística verde.

Com base nos escores da validação técnica e nos feedbacks qualitativos obtidos, foram realizados os ajustes finais no conjunto de indicadores. A combinação da validação e da aplicação diagnóstica permitiu garantir que a proposta fosse não apenas teoricamente robusta e

empiricamente validada, mas também uma ferramenta gerencial efetiva, cuja aplicação detalhada é apresentada no capítulo de Resultados.

**Figura 8** — Plano de ação para etapa 4.



### 3.6.5. Etapa 5: Análise dos dados e consolidação dos resultados

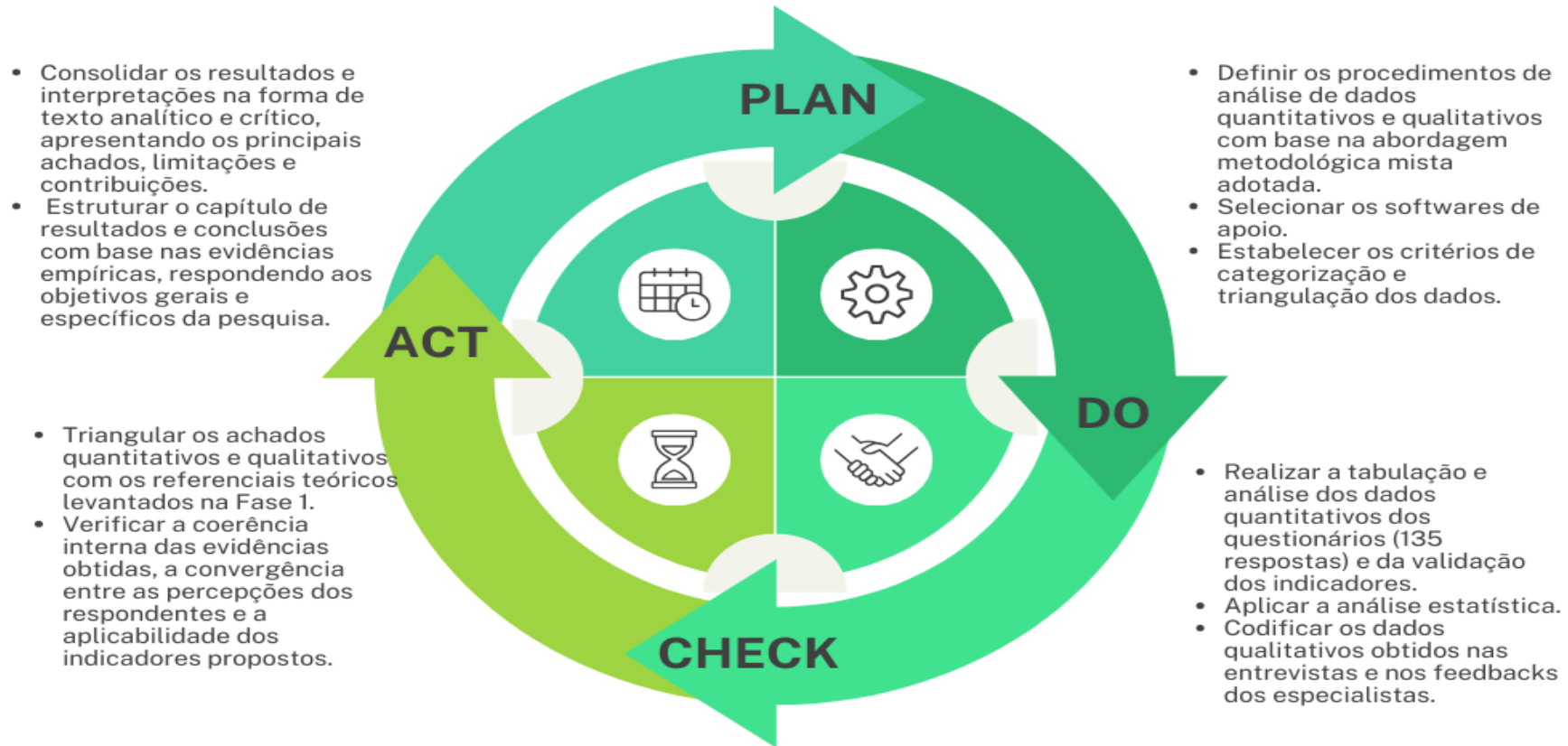
A quinta e última etapa da pesquisa foi dedicada à análise, interpretação e consolidação dos dados coletados nas etapas anteriores, culminando na elaboração do capítulo de resultados e das conclusões da dissertação. O objetivo desta etapa foi realizar uma análise crítica e aprofundada dos achados para verificar em que medida o framework de indicadores proposto contribui para a gestão da logística verde no contexto estudado.

O tratamento dos dados seguiu a abordagem mista definida na metodologia. Os dados quantitativos, provenientes dos 135 questionários (Fase 2) e do instrumento de validação com os especialistas (Fase 4), foram organizados e submetidos a uma análise de estatística descritiva. Este procedimento foi conduzido com o auxílio do software Microsoft Excel para o cálculo de frequências, médias e para a elaboração das tabelas e gráficos apresentados no capítulo de resultados.

Para os dados qualitativos, obtidos nas entrevistas com especialistas (Fase 2) e nos feedbacks abertos do processo de validação (Fase 4), foi empregada a técnica de análise de conteúdo temática. Este processo foi suportado pelo software NVivo, que auxiliou na codificação das transcrições, na identificação de categorias emergentes e na interpretação das percepções e justificativas dos especialistas sobre a relevância, aplicabilidade e os desafios de cada indicador.

A riqueza da pesquisa residiu na triangulação dessas diferentes fontes de dados. As conclusões foram construídas a partir do diálogo entre os achados da literatura (Fase 1), o panorama quantitativo das práticas das empresas (Fase 2), a profundidade das contribuições dos especialistas (Fases 2 e 4) e o desempenho da proposta durante a validação técnica (Fase 4). Essa síntese final permitiu não apenas validar a estrutura de indicadores proposta, mas também realizar a análise crítica de sua contribuição, respondendo aos objetivos centrais deste estudo.

**Figura 9** — Plano de ação para etapa 5.

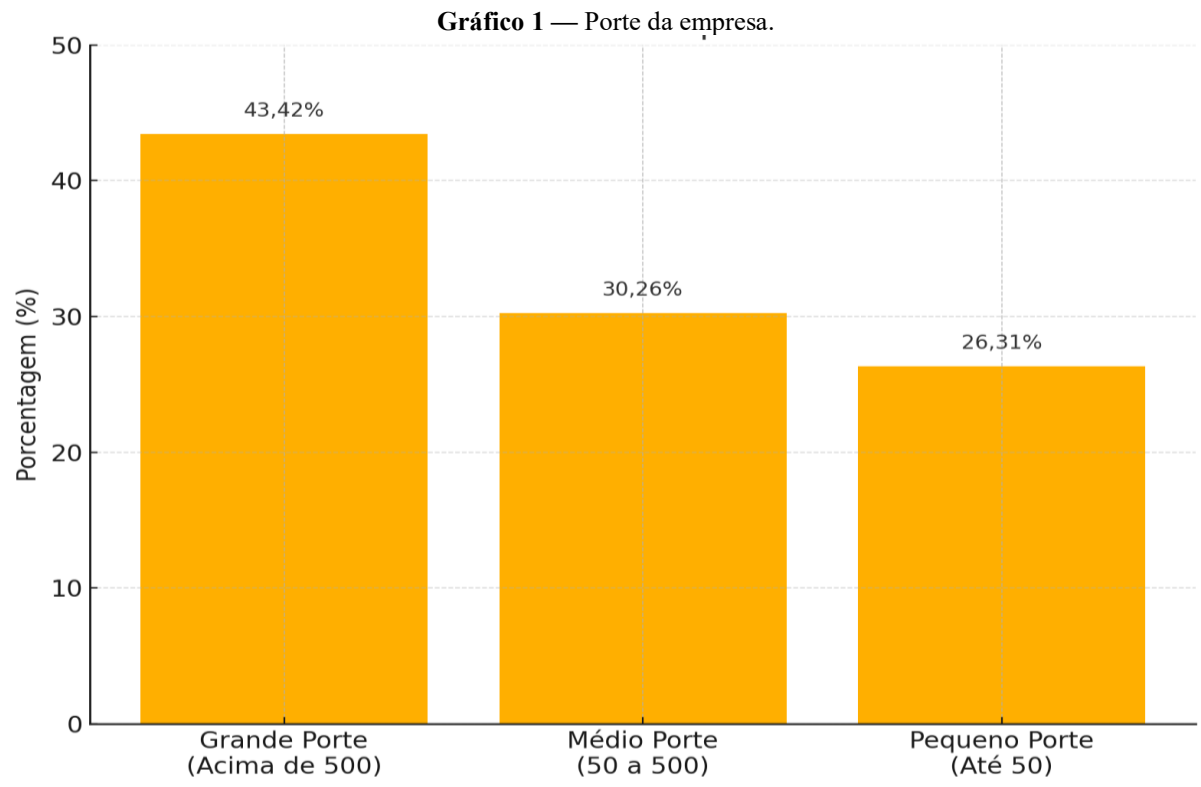


## 4. RESULTADOS - DIAGNÓSTICO DAS PRÁTICAS DE LOGÍSTICA VERDE

### 4.1. Caracterização Da Amostra

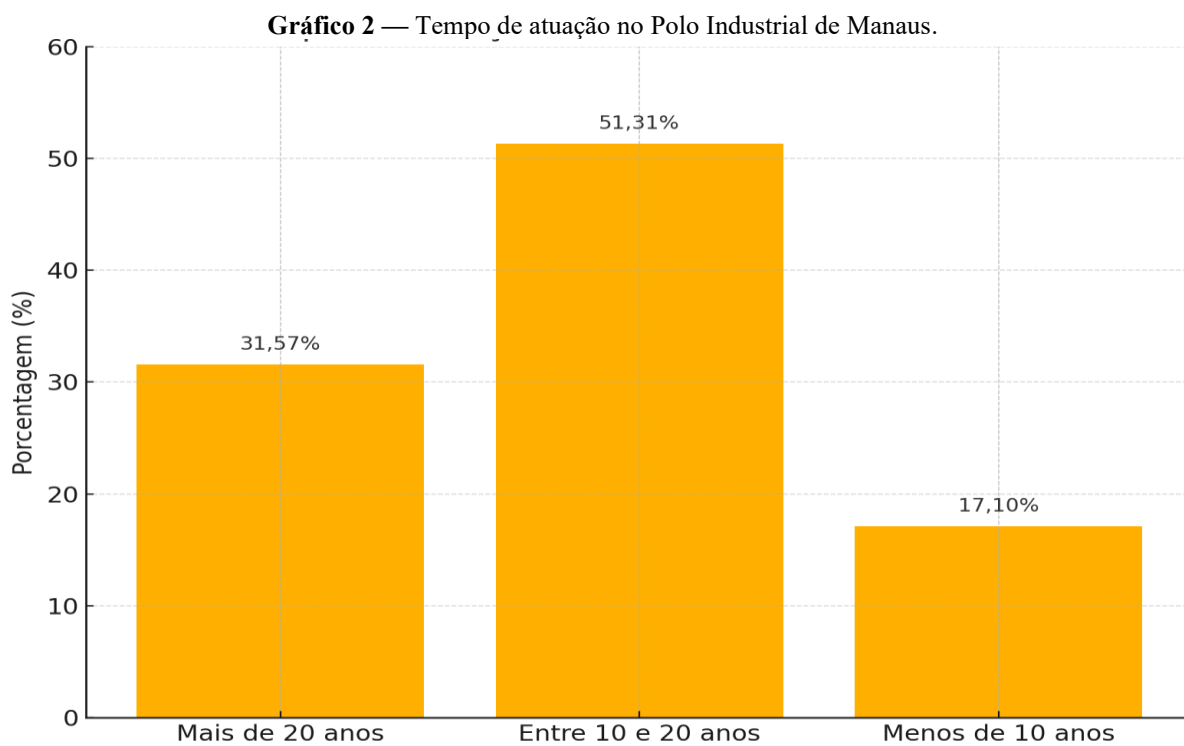
A etapa inicial da análise de resultados dedica-se a contextualizar o ambiente em que a pesquisa foi conduzida, por meio da caracterização do perfil das 76 empresas do setor eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus (PIM) que compõem a amostra deste estudo.

O perfil demográfico das empresas respondentes revela um conjunto de organizações consolidadas e de porte expressivo. Conforme ilustrado no Gráfico 1, 43,42% das empresas são classificadas como de grande porte (mais de 500 colaboradores), 30,26% como de médio porte e 26,31% como de pequeno porte.



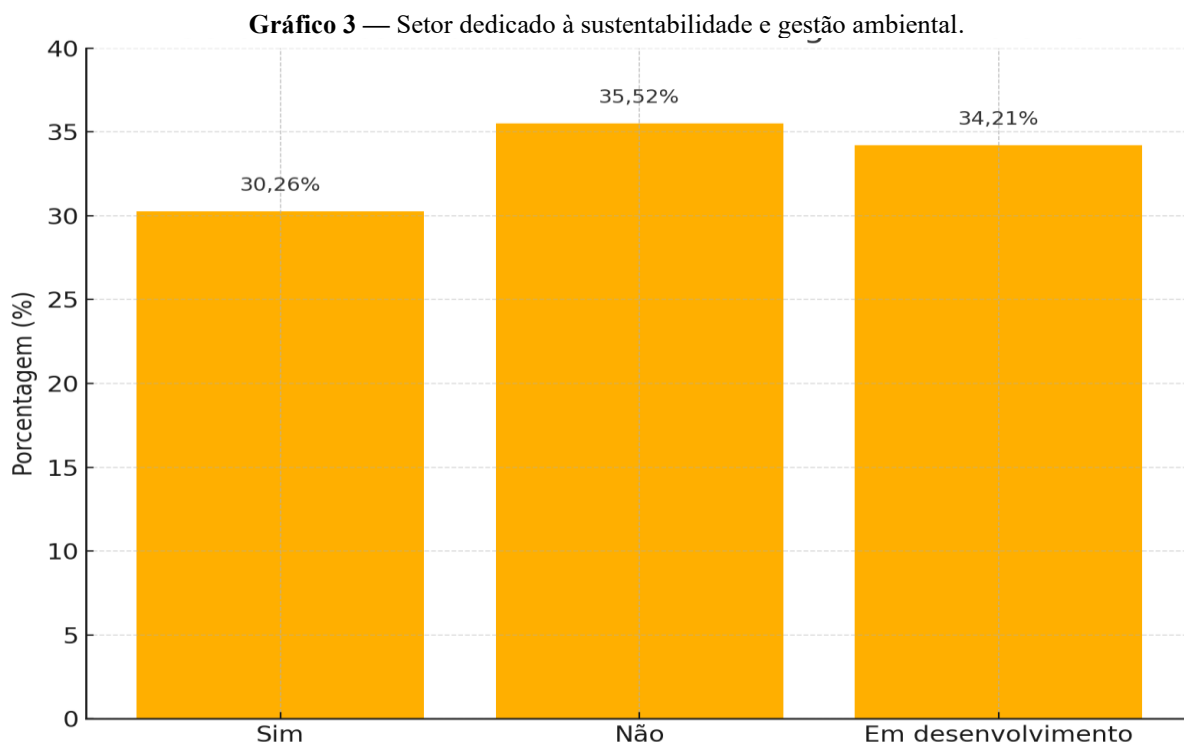
Fonte: O Autor (2025).

Essa predominância de grandes corporações é complementada por uma notável longevidade operacional na região amazônica. Segundo o Gráfico 2, 51,31% das empresas atuam no PIM há mais de uma década, sendo que 31,57% estão estabelecidas há mais de 20 anos. Esse perfil indica uma amostra majoritariamente composta por organizações com estruturas robustas e acesso ampliado a recursos, aspecto relevante quando se consideram as práticas de sustentabilidade, que usualmente requerem investimentos contínuos e planejamento de longo prazo.



Fonte: O Autor (2025).

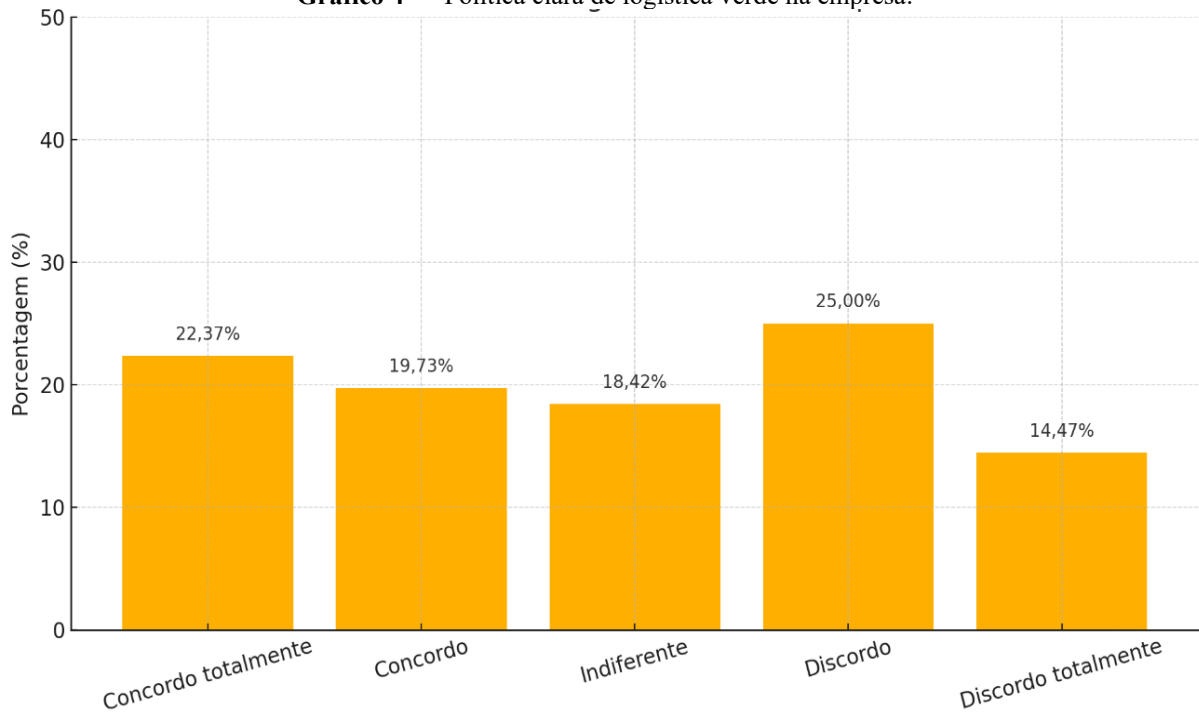
Apesar da maturidade operacional e do porte, a análise da estrutura organizacional dedicada à gestão ambiental revela um cenário de incipiência. Apenas 30,26% das empresas afirmaram possuir um setor ou departamento específico e consolidado para tratar de sustentabilidade, enquanto 35,52% declararam não ter tal estrutura e 34,21% relataram estar em processo de desenvolvimento (Gráfico 3). Esse dado evidencia uma aparente contradição frente à percepção estratégica do tema, uma vez que mais de 60% dos respondentes afirmam considerar a sustentabilidade no processo decisório da empresa.



Fonte: O Autor (2025).

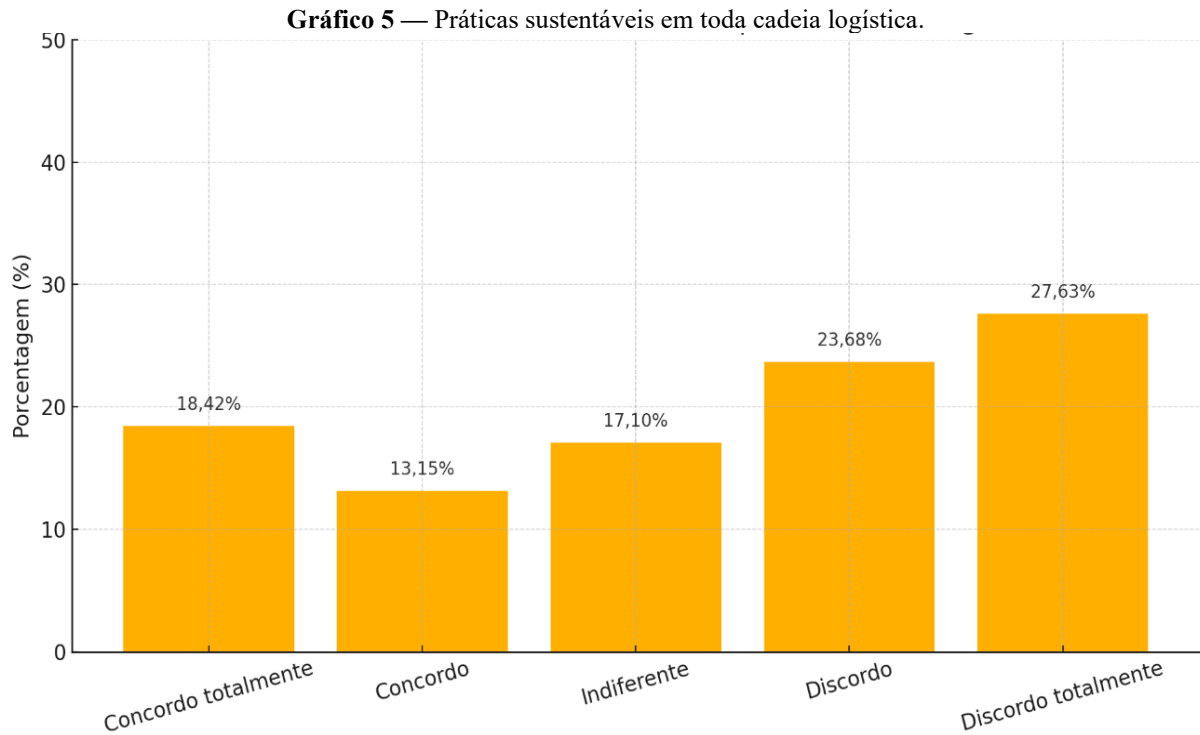
Essa lacuna entre intenção estratégica e capacidade de execução operacional é reforçada por outro achado relevante: menos da metade das organizações (43,42%) afirmou realizar medições frequentes de seu desempenho ambiental. Tal resultado corrobora a problemática central desta dissertação, ao demonstrar que a ausência de instrumentos de mensuração constitui um entrave à consolidação da Logística Verde. A falta de acompanhamento sistemático impede o monitoramento, a comparação e a melhoria contínua das práticas adotadas, evidenciando a necessidade de um modelo estruturado de avaliação, como o proposto por este estudo.

O aprofundamento da análise contempla também a formalização de políticas de Logística Verde. Os dados revelam um cenário polarizado (Gráfico 4): 42,1% dos gestores concordam ou concordam totalmente que sua empresa possui uma política clara sobre o tema, enquanto 39,47% discordam ou discordam totalmente, e 18,42% se declaram indiferentes. Essa dispersão de percepções indica que, mesmo quando existentes, as diretrizes não estão plenamente consolidadas ou internalizadas nas práticas organizacionais.

**Gráfico 4** — Política clara de logística verde na empresa.

Fonte: O Autor (2025).

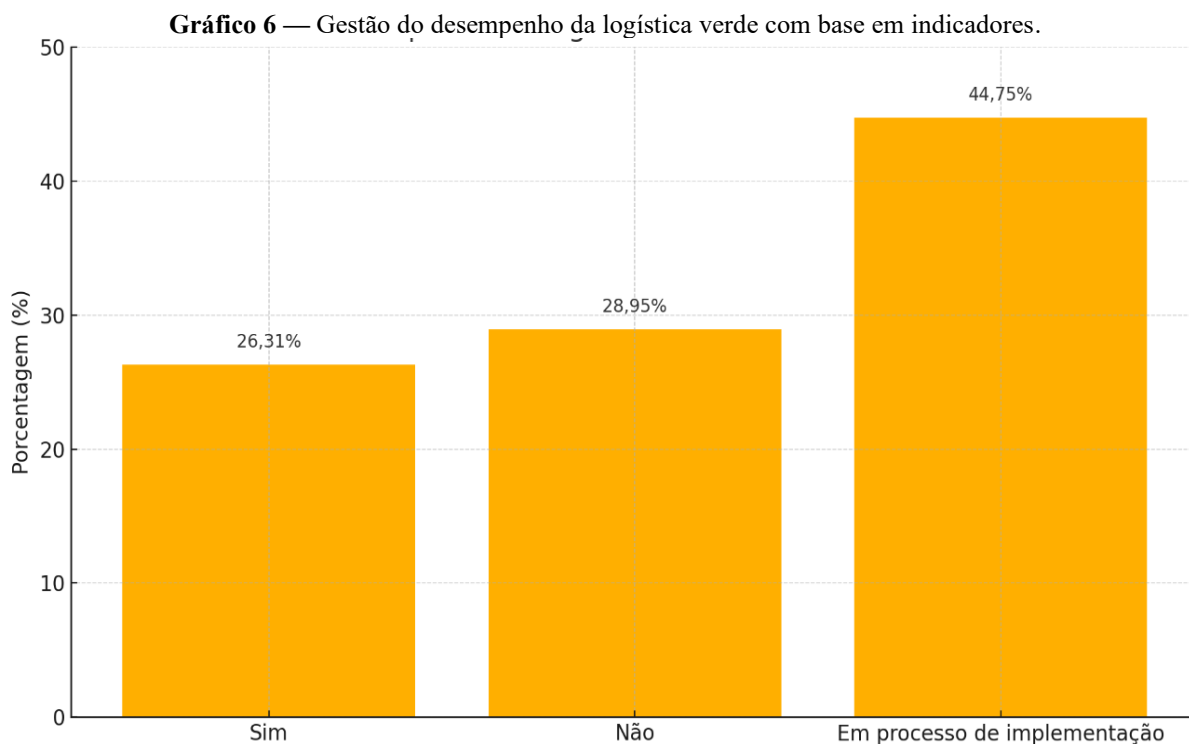
O achado mais expressivo, entretanto, refere-se à aplicação efetiva de práticas sustentáveis ao longo de toda a cadeia logística. Conforme demonstra o Gráfico 5, 51,31% das empresas admitem não implementar tais práticas de forma integrada nas etapas de suprimentos, produção, distribuição e logística reversa. Este resultado valida empiricamente a lacuna que motivou esta pesquisa: a ausência de um modelo avaliativo integrado e aplicável a todas as fases da cadeia, desafio que a presente dissertação se propõe a enfrentar por meio da estruturação da proposta.



Fonte: O Autor (2025).

#### **4.2. Diagnóstico das Práticas de Logística Verde e do Uso de Indicadores de Desempenho nas Indústrias de Transformação do PIM**

Para complementar o diagnóstico do cenário, esta etapa da análise examina o uso de indicadores de desempenho pelas empresas como instrumento de monitoramento das práticas de logística verde. O Gráfico 6, a seguir, apresenta os dados referentes à gestão de desempenho com base em indicadores na amostra pesquisada.

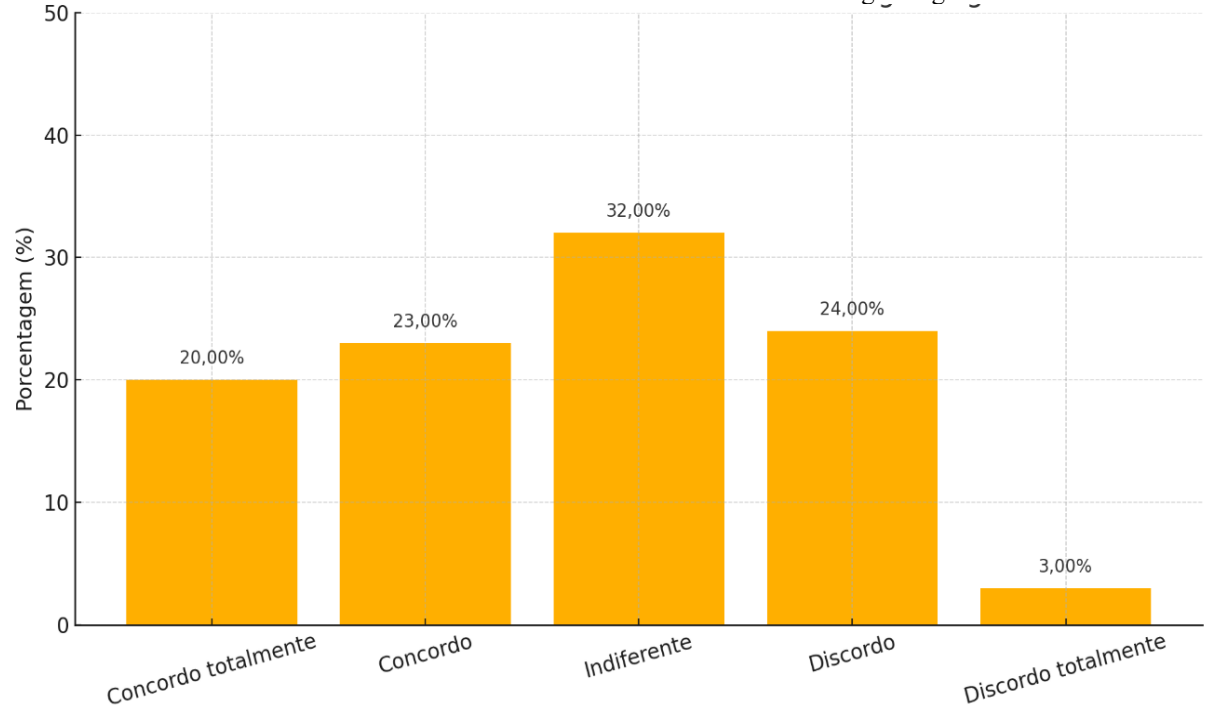


Fonte: O Autor (2025).

Os dados revelam um panorama de baixa maturidade. Apenas 26,31% das empresas afirmam gerenciar o desempenho de sua logística verde com base em indicadores já consolidados. A grande maioria ou não adota essa prática (28,95%), ou, de forma mais expressiva, declara estar em processo de implementação (44,75%). Somados, esses dois grupos representam 73,7% da amostra, percentual que evidencia a dimensão do desafio e a carência de sistemas de medição estruturados no setor.

A consequência direta dessa incipiência manifesta-se na forma como os resultados, quando existentes, são utilizados. Ao serem questionados se os dados dos indicadores influenciam as decisões e estratégias, os gestores apresentaram respostas dispersas, conforme mostra o Gráfico 7.

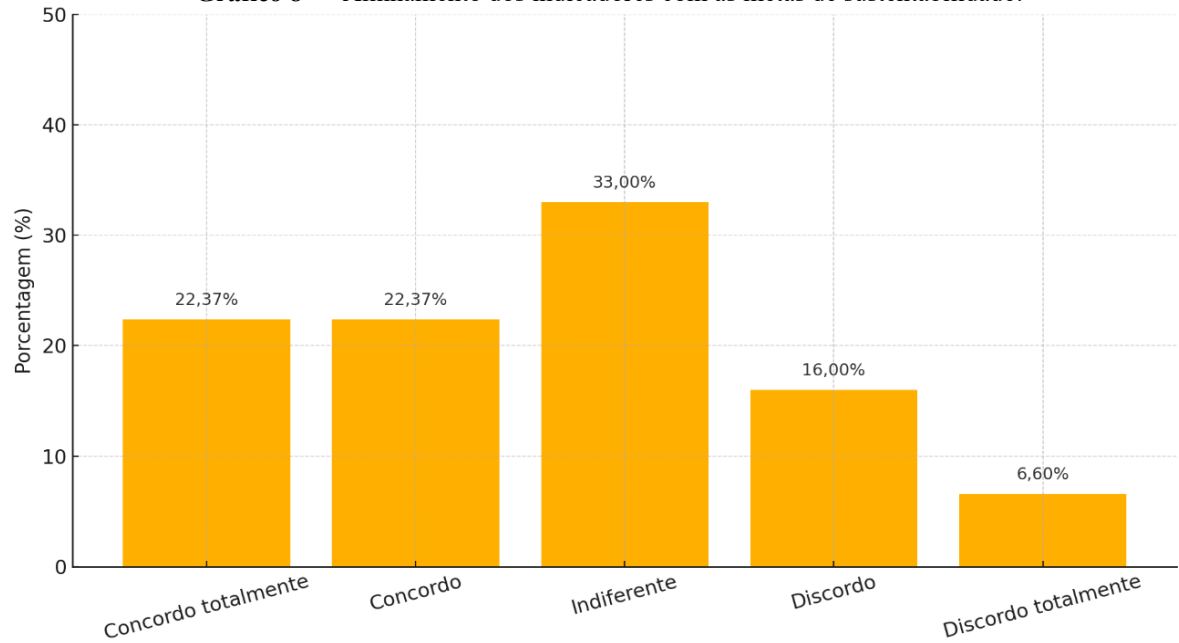
**Gráfico 7** — Influência dos indicadores nas decisões e estratégias logísticas.



Fonte: O Autor (2025).

Embora 43% dos respondentes concordem ou concordem totalmente que há influência dos indicadores sobre as decisões, um terço da amostra (32%) se posiciona como indiferente, enquanto 27% discordam ou discordam totalmente. De modo semelhante, o alinhamento entre os indicadores utilizados e as metas de sustentabilidade da empresa também revela fragilidade, conforme demonstra o Gráfico 8.

**Gráfico 8** — Alinhamento dos indicadores com as metas de sustentabilidade.



Fonte: O Autor (2025).

Apesar de 44,74% das empresas declararem que os indicadores estão alinhados às metas de sustentabilidade, a soma dos que se posicionam como indiferentes (33%) e dos que discordam (22,6%) ultrapassa 55%. Esses dados sugerem que, mesmo nas organizações que iniciaram o processo de mensuração, os indicadores frequentemente operam de forma isolada, sem conexão robusta com o planejamento estratégico ou com os processos decisórios, o que limita seu potencial como ferramenta efetiva de gestão.

Para compreender as razões por trás desse cenário de baixa maturidade, a pesquisa investigou os principais desafios enfrentados pelas empresas na implementação da logística verde. A análise das respostas revelou que uma das principais dificuldades enfrentadas pelas empresas está relacionada à própria mensuração da logística verde. Muitos respondentes apontaram a ausência de modelos e indicadores que sejam, ao mesmo tempo, viáveis, práticos e eficazes para captar o desempenho ambiental das operações logísticas.

Além dessa limitação estrutural, foram identificadas outras barreiras recorrentes à implementação da logística verde. A mais mencionada foi a dificuldade na integração de tecnologias sustentáveis, atribuída à complexidade dos sistemas, à baixa interoperabilidade entre plataformas e à maturidade tecnológica ainda limitada em parte das organizações. Também se destacaram os custos elevados de implementação, considerados um obstáculo financeiro relevante. No campo humano e organizacional, surgem fatores como a resistência interna à mudança, a falta de engajamento dos colaboradores e a escassez de profissionais com competências técnicas voltadas à sustentabilidade. Por fim, foram relatados entraves relacionados à cadeia de suprimentos, incluindo fornecedores e parceiros que nem sempre compartilham as mesmas prioridades ambientais, além das dificuldades de atendimento às regulamentações e exigências legais aplicáveis.

Apesar dessas barreiras, as empresas que realizam algum tipo de mensuração adotam abordagens múltiplas e complementares. A investigação sobre os métodos utilizados revelou que as práticas mais comuns incluem auditorias internas regulares e a elaboração de relatórios de sustentabilidade periódicos, utilizados como mecanismos de controle e prestação de contas. Muitas organizações também recorrem a softwares de gestão ambiental para monitorar dados como consumo de energia e emissões, além de tecnologias de rastreamento e IoT para a coleta de informações em tempo real. Em menor escala, são mencionadas estratégias como a obtenção de feedback de clientes, o apoio de consultorias especializadas e, de forma menos frequente, a aplicação de Avaliações de Ciclo de Vida (ACV) para análises mais aprofundadas dos impactos dos produtos.

### 4.3. Concepção dos Indicadores de Logística Verde

A elaboração dos indicadores de desempenho com foco na logística verde seguiu uma abordagem metodológica mista, fundamentada em três eixos complementares: (i) aplicação de questionário em empresas do setor eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus (PIM); (ii) levantamento de indicadores já consolidados na literatura científica nacional e internacional; e (iii) consulta a especialistas atuantes na área de logística industrial e sustentabilidade.

O questionário aplicado teve como objetivo identificar as principais práticas ambientais adotadas nas operações logísticas das empresas participantes, com foco nas etapas de suprimento, produção, distribuição e logística reversa. A partir das respostas obtidas, foi possível extrair categorias práticas recorrentes e mensuráveis, que serviram de base empírica para a formulação de indicadores adaptados à realidade do setor.

Em paralelo, realizou-se uma revisão bibliográfica sistemática que abrangeu estudos como os de Zaman e Shamsuddin (2017), Xiao *et al.* (2015), e Al-E-Hashem e Rekik (2014), os quais propuseram métricas específicas para avaliar o desempenho sustentável em cadeias de suprimentos industriais. Os indicadores presentes nesses estudos foram comparados com as práticas observadas nas empresas locais, garantindo alinhamento conceitual e aplicabilidade prática.

Por fim, foram realizadas consultas com gestores e técnicos de sustentabilidade e logística do PIM, os quais contribuíram com percepções sobre a viabilidade, utilidade e relevância dos indicadores propostos. Essa triangulação metodológica garantiu maior robustez à construção dos indicadores, assegurando que fossem não apenas cientificamente fundamentados, mas também sensíveis ao contexto operacional e organizacional das indústrias locais.

#### 4.3.1. Critérios técnicos para estruturação e seleção dos indicadores

Na concepção dos indicadores de desempenho voltados à logística verde, o objetivo foi ampliar o conjunto de métricas utilizadas pelas indústrias e, sobretudo, desenvolver ferramentas capazes de traduzir, de forma prática e representativa, os fatores críticos de sucesso (FCS) das práticas sustentáveis aplicadas à logística. Essa abordagem exigiu o alinhamento entre relevância prática, viabilidade operacional e validade científica, especialmente no caso de variáveis qualitativas, cuja tradução em escalas mensuráveis pode representar um desafio considerável (Kaplan; Norton, 1996).

No caso da dimensão ambiental, foram priorizados indicadores que representassem de forma objetiva os impactos diretos das atividades logísticas sobre o meio ambiente, como

emissões de gases de efeito estufa, consumo energético e geração de resíduos. Esses indicadores refletem pressões regulatórias e sociais crescentes e possuem potencial de mensuração mais consolidado na literatura e na prática organizacional (Rigamonti; Sterpi; Grosso, 2016). Na dimensão econômica, a seleção foi guiada pela contribuição dos indicadores para a eficiência e a competitividade logística. Optou-se por manter métricas relacionadas à eficiência no transporte, redução de desperdícios e uso racional de recursos, considerando seu impacto direto na sustentabilidade financeira das organizações e sua fácil integração aos sistemas já existentes de controle de custos e produtividade.

Já na dimensão social, os indicadores foram construídos com maior cautela, dada a complexidade da mensuração de aspectos como engajamento de colaboradores, bem-estar ocupacional e responsabilidade social nas cadeias de suprimentos. A prioridade foi dada a métricas que capturam práticas socialmente responsáveis de forma objetiva, como a presença de programas de capacitação ambiental, segurança do trabalho na logística e políticas de logística reversa com fins sociais.

Outro aspecto considerado foi a frequência e a viabilidade de atualização dos dados. Indicadores que exigissem processos excessivamente custosos de coleta ou que apresentassem baixa aplicabilidade prática foram desconsiderados, mesmo que tivessem relevância conceitual. Conforme reforçado por Vieira (2020), a utilidade de um indicador está diretamente relacionada ao seu custo-benefício operacional: se a coleta de dados é complexa e o retorno para a gestão é baixo, a métrica tende a se tornar obsoleta.

Adicionalmente, evitou-se a criação de um sistema inflado de indicadores. Embora múltiplas métricas possam oferecer uma visão detalhada da organização, a sobrecarga informacional pode prejudicar o uso efetivo das ferramentas por parte dos gestores. Assim, priorizou-se a construção de um sistema de indicadores enxuto, alinhado às reais necessidades de monitoramento e decisão das empresas.

Indicadores considerados redundantes, de baixa representatividade para o setor eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus ou excessivamente subjetivos foram descartados nas reuniões de alinhamento e revisão técnica. Essa etapa contribuiu para o desenvolvimento do conjunto final de indicadores, ao garantir a representatividade das três dimensões da sustentabilidade sem comprometer a operacionalização da avaliação.

Com base nessas diretrizes, os critérios adotados foram definidos com o intuito de garantir equilíbrio entre relevância estratégica, exequibilidade operacional e representatividade sustentável. A sistematização desses parâmetros técnicos está apresentada no quadro 3 a seguir,

que resume os princípios que orientaram a seleção final dos indicadores de desempenho propostos neste estudo.

**Quadro 3** — Critérios técnicos para seleção dos indicadores.

| <b>Critério Técnico</b>                          | <b>Descrição</b>                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Relevância Estratégica (FCS)                     | Indicadores que representem fatores críticos de sucesso e estejam alinhados com os objetivos da logística sustentável.                        |
| Viabilidade de coleta e atualização              | Facilidade de mensuração e periodicidade viável (mensal, trimestral, anual) sem sobrecarga para os sistemas de gestão da empresa.             |
| Cobertura das três dimensões da sustentabilidade | Inclusão equilibrada de métricas ambientais, econômicas e sociais, conforme o tripé da sustentabilidade.                                      |
| Clareza conceitual e especificidade              | Indicadores claramente definidos, com unidade de medida e interpretação precisa, evitando ambiguidade.                                        |
| Aplicabilidade setorial                          | Adequação dos indicadores à realidade operacional e às práticas do setor eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus.                       |
| Sistematização e foco (sistema enxuto)           | Redução de redundâncias, agrupamento de indicadores semelhantes e priorização de métricas realmente úteis para a tomada de decisão gerencial. |

Fonte: O Autor (2025).

#### **4.4. Indicadores de Desempenho por Tipo de Logística**

Foram definidos indicadores para os quatro tipos da logística: suprimentos, produção, distribuição e logística reversa. Cada indicador foi classificado conforme a dimensão da sustentabilidade que representa com base nos critérios descritos na seção anterior.

A seguir, são apresentados os indicadores propostos, organizados conforme os tipos de logística.

**Tabela 1** — Indicadores de logística de suprimento.

| <i>Tipo de logística</i>       | <i>Indicador</i>                                         | <i>Dimensão</i>       | <i>Fórmula de cálculo</i>                                                                               | <i>Fonte de dados</i>    | <i>Periodicidade</i> | <i>Descrição</i>                                                                                        |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Logística de suprimento</i> | Percentual de fornecedores com certificações ambientais  | Ambiental             | $(\text{N}^\circ \text{ de fornecedores certificados} / \text{Total de fornecedores}) \times 100$       | Cadastro de fornecedores | Anual                | Mede o grau de alinhamento socioambiental da rede de suprimentos com normas certificadas.               |
|                                | Percentual de matérias-primas recicladas ou renováveis   | Ambiental             | $(\text{Qtd. reciclada ou renovável} / \text{Total de matérias-primas utilizadas}) \times 100$          | Almoxarifado             | Mensal               | Avalia o uso de insumos ambientalmente responsáveis no processo produtivo.                              |
|                                | Distância média percorrida pelos insumos                 | Econômica / Ambiental | Soma das distâncias percorridas / N° de entregas                                                        | Sistema de transporte    | Mensal               | Indica o impacto logístico associado ao transporte de materiais até a empresa.                          |
|                                | Percentual de embalagens sustentáveis                    | Ambiental             | $(\text{Qtd. de embalagens sustentáveis} / \text{Total de embalagens utilizadas}) \times 100$           | Almoxarifado             | Mensal               | Mensura a adoção de embalagens com menor impacto ambiental.                                             |
|                                | Frequência de auditorias socioambientais em fornecedores | Social                | $\text{N}^\circ \text{ de auditorias realizadas} / \text{N}^\circ \text{ total de fornecedores}$        | Relatórios de auditoria  | Semestral            | Avalia o monitoramento sistemático de critérios ambientais e sociais entre fornecedores.                |
|                                | Índice de compras sustentáveis                           | Econômica / Ambiental | $(\text{Valor financeiro de compras sustentáveis} / \text{Valor total de compras}) \times 100$          | Sistema de compras       | Trimestral           | Mede o grau de incorporação de critérios sustentáveis nos processos de aquisição de insumos e serviços. |
|                                | Percentual de contratos com cláusulas ambientais         | Ambiental             | $(\text{N}^\circ \text{ de contratos com cláusulas ambientais} / \text{Total de contratos}) \times 100$ | Jurídico / Compras       | Anual                | Reflete o compromisso contratual com práticas ambientais por parte dos parceiros comerciais.            |

Fonte: O Autor (2025).

Do ponto de vista ambiental, foram priorizados indicadores que evidenciam o comprometimento da empresa com insumos e fornecedores de menor impacto, tais como o *percentual de fornecedores com certificações ambientais*, o *uso de matérias-primas recicladas ou renováveis*, e o *percentual de embalagens sustentáveis*. Tais indicadores contribuem diretamente para os FCS relacionados à integração da sustentabilidade na cadeia de suprimentos e à minimização dos impactos ambientais dos insumos logísticos.

Entre os indicadores de natureza econômica, destaca-se a *distância média percorrida pelos insumos*, que permite estimar impactos logísticos associados ao transporte de entrada e orientar decisões quanto à regionalização de fornecedores e à eficiência de rotas. Ainda nessa dimensão, o *índice de compras sustentáveis* foi mantido por sua relevância estratégica, embora com ressalvas metodológicas. Considerando a dificuldade de rastreabilidade em empresas com baixo grau de maturidade em ESG, propõe-se sua adaptação em contextos menos estruturados, com a subdivisão em: (i) *percentual de fornecedores com práticas sustentáveis conhecidas* e (ii) *percentual do volume comprado de materiais certificados ou recicláveis*.

A dimensão social, por sua vez, foi representada por dois indicadores. O primeiro, *frequência de auditorias socioambientais em fornecedores*, mostra-se relevante para empresas que possuem política formal de homologação e monitoramento, mas requer cautela quanto à sua viabilidade de aplicação. Em empresas sem processos de auditoria estruturados, é recomendado um ajuste em sua formulação para um indicador qualitativo, do tipo binário, que registre a *existência de critérios socioambientais documentados* no processo de homologação. Já o segundo, *percentual de contratos com cláusulas ambientais*, representa a formalização de compromissos sustentáveis junto a parceiros comerciais, contribuindo para o FCS de governança e responsabilidade compartilhada na cadeia de suprimentos.

Os indicadores propostos foram avaliados quanto à sua frequência de atualização e custo-benefício de uso, sendo priorizadas métricas que pudessem ser alimentadas com dados já disponíveis nas rotinas organizacionais ou facilmente adaptáveis aos sistemas internos.

Tabela 2 — Indicadores de logística de produção.

| <i>Tipo de Logística</i>     | <i>Indicador</i>                                       | <i>Dimensão</i>     | <i>Fórmula de Cálculo</i>                                              | <i>Fonte de Dados</i>                    | <i>Periodicidade</i> | <i>Descrição</i>                                                                |
|------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Logística de produção</i> | Eficiência energética das operações produtivas         | Ambiental           | Energia total consumida / Unidades produzidas                          | Medições de energia                      | Mensal               | Mede o consumo de energia por unidade produzida.                                |
|                              | Percentual de reaproveitamento de materiais            | Ambiental           | (Volume reaproveitado / Volume total processado) x 100                 | Relatórios internos                      | Mensal               | Proporção de materiais reaproveitados internamente.                             |
|                              | Taxa de descarte de materiais não reaproveitados       | Ambiental           | (Volume descartado / Volume total processado) x 100                    | Relatórios internos                      | Mensal               | Percentual de resíduos descartados no processo produtivo.                       |
|                              | Percentual de processos com controle ambiental         | Ambiental/Social    | Qtd. de processos monitorados / Total de processos produtivos          | Auditorias ambientais                    | Trimestral           | Avalia a proporção de processos produtivos com controle ambiental implementado. |
|                              | Indicador de consumo de água na produção               | Ambiental           | Total de água consumida / Unidades produzidas                          | Controle de uso de água                  | Mensal               | Relação entre consumo de água e produção.                                       |
|                              | Ocorrências de acidentes logísticos                    | Social              | Total de ocorrências registradas                                       | Relatórios de SST                        | Mensal               | Número de acidentes na área logística da produção.                              |
|                              | Índice de retrabalho                                   | Econômica/Ambiental | (Qtd. de itens com retrabalho / Total de itens produzidos) x 100       | Controle de produção                     | Mensal               | Mede o percentual de produtos que exigiram retrabalho.                          |
|                              | Percentual de produtos com ecodesign                   | Ambiental           | (Qtd. de produtos com ecodesign / Total de produtos) x 100             | Relatórios de desenvolvimento de produto | Semestral            | Mede o percentual de produtos com design voltado à sustentabilidade.            |
|                              | Porcentagem de materiais reciclados utilizados         | Ambiental           | (Volume de materiais reciclados / Total de materiais utilizados) x 100 | Relatórios de compras                    | Mensal               | Proporção de materiais reciclados utilizados na produção.                       |
|                              | Redução do consumo de água na produção (análise anual) | Ambiental           | [(Consumo ano anterior - Consumo atual) / Consumo ano anterior] x 100  | Relatórios ambientais                    | Anual                | Avalia a redução percentual no consumo de água comparando com o ano anterior.   |

Fonte: O Autor (2025).

A escolha dos indicadores verdes para as atividades da logística de produção levou em consideração não apenas sua aderência aos FCS, mas também a viabilidade de coleta dos dados. Dessa forma, evitou-se a inclusão de indicadores que, embora conceitualmente relevantes, apresentassem alta complexidade de monitoramento ou baixa aplicabilidade prática.

O indicador *percentual de materiais reaproveitados no processo produtivo*, por exemplo, está diretamente associado ao FCS de redução de perdas e desperdícios. Trata-se de um indicador operacionalizável, com dados normalmente disponíveis nos sistemas de controle de produção, e que também responde a demandas regulatórias sobre reaproveitamento de materiais e economia circular. Da mesma forma, o índice de eficiência energética na produção traduz com objetividade o FCS de eficiência no consumo de recursos naturais e permite mensuração contínua com base em dados de consumo elétrico e volume de produção.

No que tange à dimensão ambiental, os indicadores priorizaram a mensuração de impactos diretos, como emissões de CO<sub>2</sub> e uso de materiais recicláveis ou reciclados, fortemente relacionados às pressões legais e sociais enfrentadas pelas indústrias eletroeletrônicas. A presença do *percentual de produtos com design para sustentabilidade*, mesmo com periodicidade semestral, justifica-se pela sua forte conexão com inovações verdes no desenvolvimento de produtos e pela crescente exigência de mercados consumidores quanto ao ciclo de vida dos equipamentos eletrônicos.

A dimensão social é contemplada pelo indicador *número de acidentes logísticos na área de produção*, que responde ao FCS de “segurança e bem-estar nas operações”. Além de sua importância legal e ética, esse indicador tem grande relevância operacional e é de fácil coleta por meio dos registros de segurança do trabalho.

Do ponto de vista econômico, a escolha por manter o indicador taxa de retrabalho na produção logística atende ao FCS de eficiência operacional e permite integração direta com sistemas internos de qualidade e produção. A sua aplicação contribui para identificar gargalos, reduzir perdas e melhorar a produtividade sem comprometer a sustentabilidade.

A estrutura de cálculo foi formulada com base em dados existentes e rotinas operacionais das empresas de transformação.

Tabela 3 — Indicadores de logística de distribuição.

| <i>Tipo de Logística</i>         | <i>Indicador</i>                                                        | <i>Dimensão</i>  | <i>Fórmula de Cálculo</i>                                                                                          | <i>Fonte de Dados</i>         | <i>Periodicidade</i> | <i>Descrição</i>                                                                                                            |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Logística de distribuição</i> | Eficiência da frota (km/litro ou emissões de CO <sub>2</sub> por km)    | Ambiental        | km/litro ou CO <sub>2</sub> emitido por km percorrido                                                              | Sistema de gestão de frota    | Mensal               | Avalia a eficiência energética ou as emissões da frota de distribuição.                                                     |
|                                  | Percentual de veículos elétricos ou movidos a combustíveis alternativos | Ambiental        | $(\text{N}^\circ \text{ de veículos sustentáveis} / \text{Total de veículos da frota}) \times 100$                 | Cadastro de frota             | Mensal               | Monitora o uso de veículos de baixa emissão, promovendo transporte sustentável.                                             |
|                                  | Taxa de ocupação dos veículos                                           | Econômica        | $(\text{Volume transportado} / \text{Capacidade total dos veículos}) \times 100$                                   | Sistema de transporte         | Mensal               | Indica a eficiência no aproveitamento da capacidade dos veículos de transporte.                                             |
|                                  | Percentual de embalagens ecológicas utilizadas no transporte            | Ambiental        | $(\text{Qtd. de embalagens ecológicas} / \text{Total de embalagens}) \times 100$                                   | Almoxarifado / PCP            | Mensal               | Avalia a proporção de embalagens sustentáveis utilizadas nas entregas.                                                      |
|                                  | Incidência de devoluções por falha ambiental no transporte              | Social/Ambiental | $(\text{N}^\circ \text{ de devoluções por falha ambiental} / \text{N}^\circ \text{ total de entregas}) \times 100$ | Relatórios de devolução / SAC | Mensal               | Mede o percentual de entregas devolvidas devido a falhas ambientais (umidade, temperatura, avarias) durante o transporte.   |
|                                  | Percentual de área de estoque com controle ambiental eficiente          | Ambiental        | $(\text{Área com controle ambiental} / \text{Área total do estoque}) \times 100$                                   | Sistema de manutenção predial | Trimestral           | Avalia o percentual da área de armazenagem com infraestrutura adequada (ventilação, temperatura, iluminação natural, etc.). |

Fonte: O Autor (2025).

No âmbito da logística de distribuição, os indicadores refletem a busca por eficiência no transporte e redução das emissões associadas à última milha, aspecto frequentemente apontado como um dos maiores desafios ambientais da cadeia de suprimentos. O indicador de *eficiência da frota (km/l ou emissões por km)*, por exemplo, está diretamente vinculado ao FCS de otimização do desempenho energético e redução de emissões. Da mesma forma, o *percentual de veículos sustentáveis na frota* reflete a transição para tecnologias de baixo impacto ambiental, alinhando-se ao FCS de modernização e sustentabilidade operacional.

A *taxa de ocupação dos veículos* se relaciona à eficiência na consolidação de cargas, evitando viagens subutilizadas e, conseqüentemente, reduzindo custos e emissões. Já o *uso de embalagens ecológicas* conecta-se ao FCS de minimização de resíduos gerados no transporte, além de dialogar com exigências regulatórias crescentes quanto à sustentabilidade dos insumos utilizados na distribuição.

Destaca-se ainda o indicador de *incidência de devoluções por falhas ambientais no transporte*, inserido como métrica social e ambiental. Esse indicador é fundamental para compreender o impacto da inadequação das condições ambientais no transporte (como temperatura, umidade ou empilhamento indevido), afetando diretamente a qualidade percebida pelo cliente. Sua escolha está vinculada ao FCS de qualidade na entrega e reputação organizacional.

No que tange à armazenagem, foi priorizado o *percentual de área com controle ambiental eficiente*, que contempla aspectos como ventilação, controle térmico e iluminação natural. Este indicador reflete o FCS de condições ambientais adequadas para a conservação dos produtos, contribuindo não apenas para a durabilidade dos itens estocados, mas também para a eficiência energética das instalações. A mensuração sistemática deste indicador permite às empresas acompanhar investimentos em infraestrutura verde e avaliar seu retorno ambiental e operacional.

Tabela 4 — Indicadores de logística reversa

| <i>Tipo de Logística</i> | <i>Indicador</i>                                                      | <i>Dimensão</i> | <i>Fórmula de Cálculo</i>                                                                                        | <i>Fonte de Dados</i>        | <i>Periodicidade</i> | <i>Descrição</i>                                                                                            |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Logística Reversa</i> | Taxa de retorno por falha técnica                                     | Econômica       | $(\text{N}^\circ \text{ de produtos devolvidos por falha} / \text{Total de produtos entregues}) \times 100$      | SAC / Sistema de devoluções  | Mensal               | Mede a proporção de produtos devolvidos por falhas técnicas após a entrega.                                 |
|                          | Tempo médio de processamento de devoluções                            | Econômica       | Soma do tempo de processamento das devoluções / $\text{N}^\circ$ total de devoluções                             | Sistema logístico            | Mensal               | Avalia a agilidade do processo logístico na resolução de devoluções.                                        |
|                          | Taxa de reaproveitamento de produtos devolvidos                       | Ambiental       | $(\text{N}^\circ \text{ de itens reaproveitados} / \text{Total de itens devolvidos}) \times 100$                 | Qualidade / Produção         | Trimestral           | Verifica a reincorporação de itens devolvidos aos ciclos produtivos.                                        |
|                          | Percentual de embalagens reutilizadas                                 | Ambiental       | $(\text{Qtd. de embalagens reutilizadas} / \text{Total de embalagens devolvidas}) \times 100$                    | Expedição / Almoxarifado     | Mensal               | Monitora o reaproveitamento de embalagens nas operações logísticas.                                         |
|                          | Taxa de retorno pós-consumo                                           | Ambiental       | $(\text{Unidades retornadas após uso} / \text{Total de produtos comercializados}) \times 100$                    | SAC / Logística Reversa      | Semestral            | Avalia o retorno de produtos após o fim de sua vida útil, com potencial de reciclagem ou descarte adequado. |
|                          | Percentual de materiais reciclados reintegrados ao processo produtivo | Ambiental       | $(\text{Peso de materiais reciclados reintegrados} / \text{Total de resíduos recicláveis coletados}) \times 100$ | Produção / Meio Ambiente     | Mensal               | Mede a efetividade da reintegração de resíduos ao processo produtivo.                                       |
|                          | Eficiência na coleta de resíduos                                      | Ambiental       | $(\text{Qtd. de resíduos coletados corretamente} / \text{Total estimado de resíduos gerados}) \times 100$        | Operações / Gestão Ambiental | Mensal               | Avalia o grau de cobertura e eficiência do sistema de coleta reversa.                                       |
|                          | Taxa de descarte ambientalmente adequado de resíduos perigosos        | Ambiental       | $(\text{Volume descartado corretamente} / \text{Volume total de resíduos perigosos}) \times 100$                 | Meio Ambiente / Produção     | Trimestral           | Verifica a conformidade do descarte de resíduos perigosos com a legislação ambiental vigente.               |

Fonte: O Autor (2025).

A logística reversa, enquanto componente essencial das estratégias sustentáveis em cadeias produtivas, pode ser subdividida em dois grandes domínios: logística reversa de pós-venda e logística reversa de pós-consumo. A primeira refere-se ao retorno de produtos ainda dentro do ciclo de comercialização, geralmente motivado por defeitos, avarias, falhas técnicas ou erros no processo de entrega. Já a segunda está relacionada à reintegração de materiais ou produtos ao sistema produtivo após o fim de sua vida útil, seja para reciclagem, reaproveitamento ou descarte ambientalmente adequado (Cricelli; Greco; Grimaldi, 2019).

Dessa forma, a composição dos indicadores apresentada no quadro buscou refletir essa distinção, estruturando-se em torno de práticas efetivas e críticas para o sucesso da logística reversa nas indústrias de transformação.

No campo econômico, destaca-se a *taxa de retorno por falha técnica*, associada diretamente ao FCS de controle de qualidade e confiabilidade dos produtos. Já o *tempo médio de processamento de devoluções* traduz o grau de eficiência operacional da organização no trato com fluxos logísticos inversos, elemento crítico para garantir agilidade e satisfação do cliente.

Do ponto de vista ambiental, foram priorizados indicadores alinhados aos FCS de gestão de resíduos e reaproveitamento de recursos. O percentual de materiais reciclados reintegrados ao processo produtivo e a *eficiência na coleta de resíduos* avaliam a capacidade da empresa de minimizar os impactos negativos do descarte industrial, enquanto a *taxa de reaproveitamento de produtos devolvidos* aponta o sucesso das estratégias de circularidade dentro da cadeia. A *taxa de descarte ambientalmente adequado de resíduos perigosos*, por sua vez, expressa conformidade regulatória e compromisso com a integridade ambiental, um dos pilares centrais da logística verde.

A *taxa de retorno pós-consumo*, indicador que demanda esforços adicionais em rastreamento e conscientização, traduz o grau de maturidade e engajamento da empresa com programas de economia circular, enquanto o *percentual de embalagens reutilizadas* conecta-se ao FCS de redução de insumos logísticos e otimização de materiais.

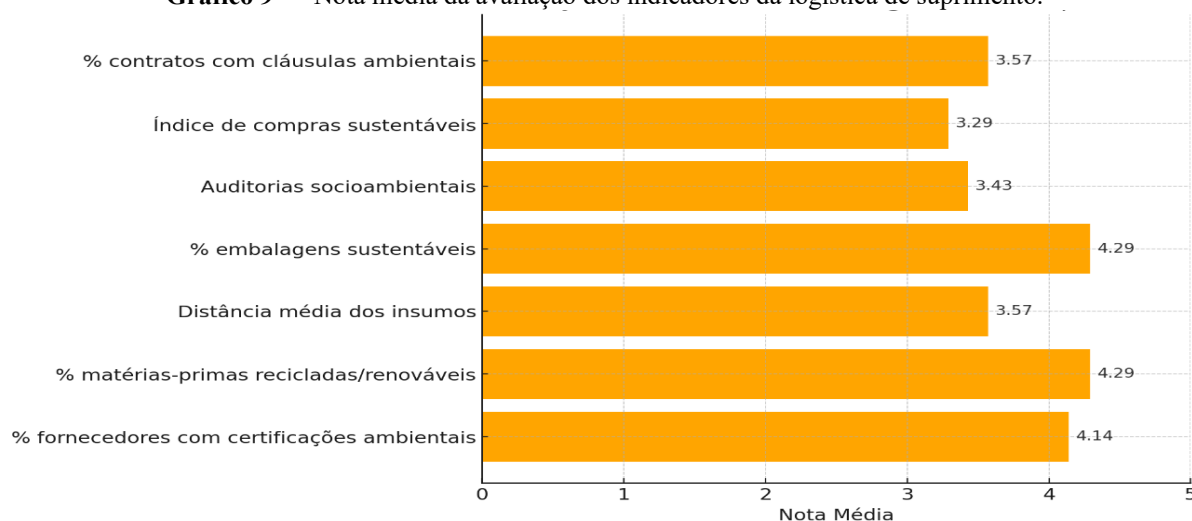
## 5. APLICAÇÃO DO MODELO – ESTUDO DE CASO

A validação dos indicadores de desempenho logístico propostos nesta pesquisa foi conduzida em parceria com duas empresas do setor eletroeletrônico situadas no Polo Industrial de Manaus. Para garantir a pertinência prática e a aplicabilidade dos indicadores ao contexto real da indústria, foram selecionados quatro especialistas internos com experiência em gestão logística.

Esses profissionais atuaram como avaliadores técnicos, atribuindo pontuações a cada indicador com base em sete critérios previamente definidos na literatura e alinhados aos objetivos da pesquisa: relevância, mensurabilidade, confiabilidade, aplicabilidade, simplicidade, atualização e utilidade. A avaliação foi realizada por meio de um instrumento estruturado, no qual cada critério recebeu uma pontuação de 1 a 5, conforme sua adequação prática ao ambiente operacional. A consolidação das pontuações atribuídas pelos especialistas resultou na elaboração de gráficos de avaliação para cada indicador. Tais gráficos, detalhados na sequência, ilustram a performance e a aderência dos indicadores propostos às diferentes etapas logísticas consideradas neste estudo.

Na avaliação dos indicadores relacionados à logística de suprimento, os especialistas da empresa validaram o conjunto proposto com base em critérios técnicos como relevância, mensurabilidade e aplicabilidade. De modo geral, os resultados, compilados a partir da média das notas atribuídas pelos avaliadores, indicam uma aceitação elevada da maioria dos indicadores propostos. Para fins de visualização comparativa e uma análise detalhada do desempenho de cada um, o Gráfico 9 apresenta as médias consolidadas obtidas pelos indicadores da logística de suprimentos

**Gráfico 9** — Nota média da avaliação dos indicadores da logística de suprimento.



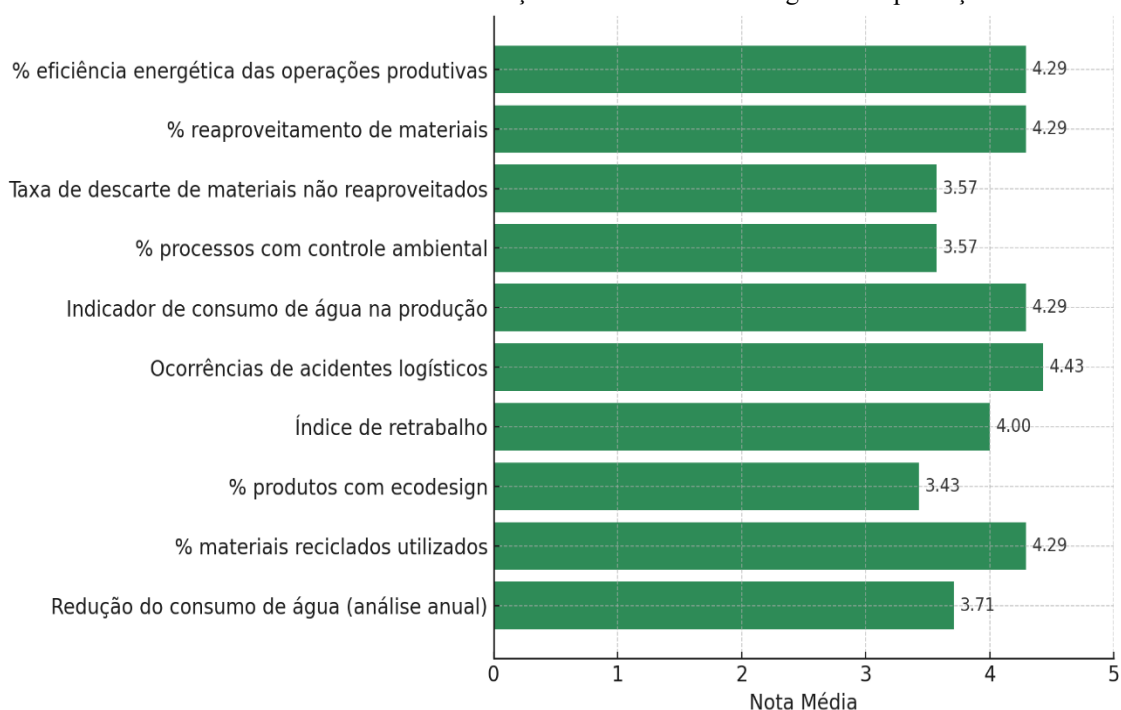
Fonte: O Autor (2025).

A análise do Gráfico 9, que consolida a avaliação dos especialistas, revela um desempenho variado entre os indicadores de logística de suprimentos. Observa-se uma clara valorização de indicadores ligados diretamente aos produtos e materiais, com destaque para o “percentual de matérias-primas recicladas/renováveis” e o “percentual de embalagens sustentáveis”, que obtiveram as maiores médias de aceitação, ambas com a nota 4,29. Este resultado sugere que, na percepção dos gestores, as ações de sustentabilidade com impacto tangível no produto final são consideradas de alta relevância e aplicabilidade.

Logo em seguida, o indicador “percentual de fornecedores com certificações ambientais” também demonstrou forte validação, alcançando a média de 4,14, o que reforça a importância estratégica de garantir a conformidade ambiental na cadeia de suprimentos. Em uma faixa de avaliação intermediária, encontram-se os indicadores “Distância média dos insumos” e “percentual de contratos com cláusulas ambientais”, ambos com nota 3,57. Essa pontuação moderada pode indicar que, embora sejam reconhecidos, enfrentam desafios relacionados à complexidade de mensuração ou à sua aplicação prática no dia a dia operacional.

Por fim, os indicadores com as avaliações mais modestas foram “Auditorias socioambientais” (3,43) e, principalmente, o “Índice de compras sustentáveis”, que registrou a menor média entre os avaliados (3,29). Tais resultados podem refletir a percepção de uma maior dificuldade ou de um alto custo para a implementação de auditorias frequentes, bem como a complexidade em unificar diferentes variáveis em um único índice de compras, o que pode limitar sua simplicidade e utilidade imediata para a gestão.

Na avaliação dos indicadores da logística de produção buscou aferir a relevância e a aplicabilidade de métricas voltadas ao controle de recursos, à eficiência operacional e à segurança no ambiente produtivo. De maneira geral, os resultados indicam uma forte validação dos indicadores que mensuram diretamente o consumo de insumos e a segurança, refletindo as prioridades da gestão fabril. O Gráfico 10, a seguir, apresenta as médias detalhadas de cada indicador, permitindo a visualização comparativa de sua aceitação.

**Gráfico 10** — Nota média da avaliação dos indicadores da logística de produção.

Fonte: O Autor (2025).

Conforme ilustrado no Gráfico 10, a análise detalhada dos indicadores de produção revela nuances importantes sobre as prioridades e desafios operacionais da empresa. O indicador de maior destaque na avaliação foi “Ocorrências de acidentes logísticos”, que obteve a nota média mais elevada (4,43). Este resultado proeminente sugere que métricas relacionadas à segurança do trabalho e à integridade dos processos são consideradas de máxima importância, demandando uma forte integração com os setores de segurança e qualidade para sua correta mensuração.

Em seguida, um expressivo conjunto de quatro indicadores empatou com a segunda maior avaliação (4,29): “percentual eficiência energética das operações produtivas”, “percentual reaproveitamento de materiais”, “Indicador de consumo de água na produção” e “percentual materiais reciclados utilizados”. A alta validação deste grupo evidencia o foco em indicadores que mensuram diretamente o consumo de recursos. Sua aplicação prática é direta, especialmente por estarem alinhados às metas internas de redução de resíduos e custos operacionais, e no caso da eficiência energética, por ser um parâmetro estratégico tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

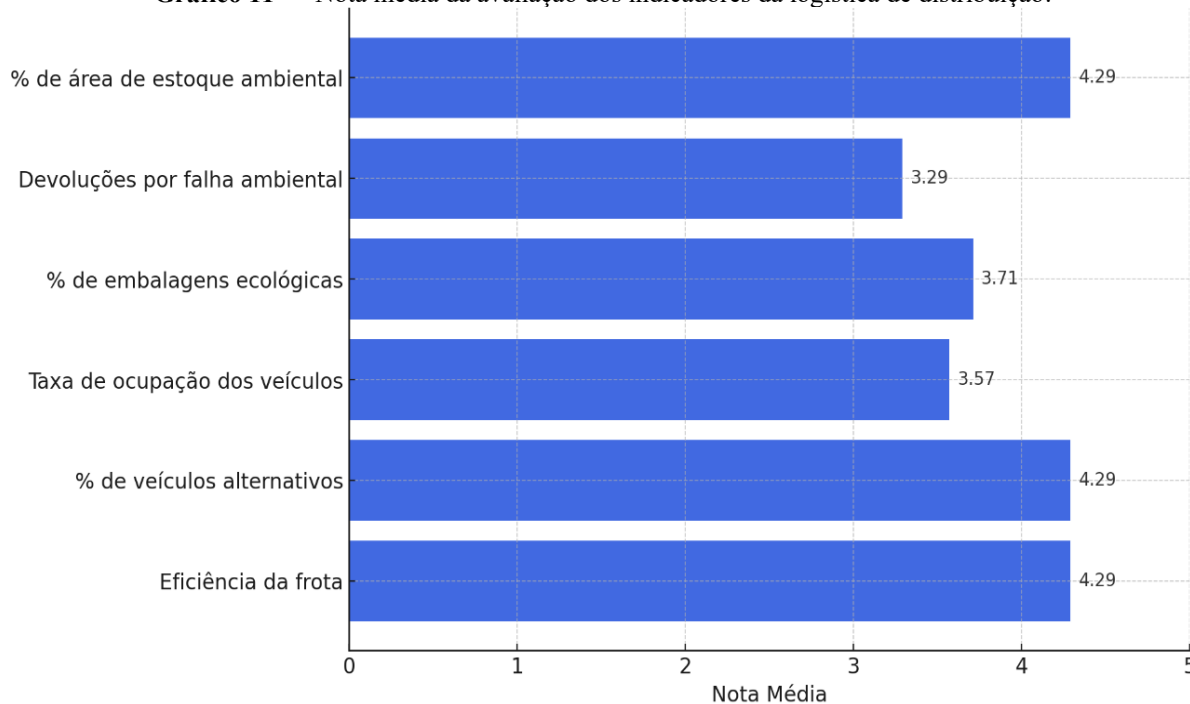
O “Índice de retrabalho” (4,00) também foi bem recebido, conectando práticas de qualidade à redução de desperdícios. Em contrapartida, o indicador “percentual produtos com ecodesign” registrou a avaliação mais modesta (3,43). Embora reconhecido, os especialistas alertaram para a necessidade de critérios bem definidos para caracterizar o que constitui um

produto ecologicamente projetado, a fim de garantir a comparabilidade e a confiabilidade dos dados. Já o “Percentual de processos com controle ambiental” (3,57) também figurou na parte inferior da avaliação, possivelmente devido à dificuldade em padronizar o conceito de “controle ambiental” entre os diferentes setores da produção.

De forma geral, o conjunto de indicadores da logística de produção demonstrou boa viabilidade de aplicação. A análise permite concluir que há um potencial para o monitoramento sistemático de práticas sustentáveis nos processos produtivos, gerando dados confiáveis que podem e devem orientar decisões de melhoria contínua na empresa.

Na esfera da logística de distribuição, os indicadores selecionados tiveram como foco a aplicabilidade prática e a aderência das métricas às operações de transporte, manuseio e armazenagem de produtos acabados. A análise geral dos resultados, detalhada a seguir, evidencia uma forte validação para indicadores ligados à eficiência da frota e à infraestrutura, enquanto métricas de processo, como devoluções, apresentaram maiores desafios. O Gráfico 11 expõe as médias consolidadas da avaliação para cada indicador proposto.

**Gráfico 11** — Nota média da avaliação dos indicadores da logística de distribuição.



Fonte: O Autor (2025).

A análise do Gráfico 11 revela um interessante empate triplo na primeira posição, com três indicadores distintos recebendo a nota média de 4,29. O primeiro deles, “Eficiência da frota”, foi considerado essencial para o controle de custos e de impacto ambiental, sendo sua implementação facilitada pelo fato de a empresa já coletar dados relacionados ao consumo de combustível. O segundo, “percentual de veículos alternativos”, foi destacado como altamente

relevante frente à crescente pressão por descarbonização, embora os especialistas apontem que sua aplicação imediata pode ser limitada por questões estruturais, como a disponibilidade de frota e infraestrutura de abastecimento. O terceiro indicador de maior nota, “percentual de área de estoque ambiental”, foi considerado aplicável em centros logísticos modernos, mas sua mensuração pode exigir auditorias ou a prévia definição de parâmetros de eficiência.

Em um patamar intermediário, o indicador “percentual de embalagens ecológicas” obteve a média de 3,71. Apesar de pertinente, os especialistas alertaram para a necessidade de critérios técnicos claros que diferenciem embalagens verdadeiramente sustentáveis. Com nota 3,57, a “Taxa de ocupação dos veículos” foi vista como um reflexo direto da eficiência logística e do uso racional dos recursos, com potencial para gerar ganhos tanto ambientais quanto operacionais.

O indicador com a menor avaliação foi “Devoluções por falha ambiental” (3,29). Embora mantido como uma métrica de controle da qualidade ambiental do processo, sua baixa nota sugere que a implementação é um desafio, pois dependerá da integração com áreas de SAC e rastreabilidade, além de exigir a categorização adequada das causas de devolução.

Por fim, a análise aborda a logística reversa, etapa fundamental para o fechamento do ciclo de vida dos produtos e para a gestão dos fluxos de retorno, em conformidade com as exigências da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Os indicadores propostos para esta área foram avaliados pelos especialistas quanto à sua capacidade de mensurar a eficiência no processamento de devoluções, o reaproveitamento de materiais e o descarte ambientalmente correto. Os resultados, apresentados a seguir, indicam uma clara distinção entre a alta relevância dos processos de retorno por falha técnica e os desafios associados ao retorno pós-consumo. O Gráfico 12 detalha as médias obtidas por cada indicador.

**Gráfico 12** — Nota média da avaliação dos indicadores da logística reversa.

Fonte: O Autor (2025).

A avaliação dos indicadores de logística reversa, detalhada no Gráfico 12, revela que a “Taxa de retorno por falha técnica” obteve, de forma isolada, a maior nota média entre todos os indicadores analisados (4,86). Essa alta validação sugere que os processos de retorno motivados por questões de qualidade e garantia são vistos como críticos para o negócio, impactando diretamente os custos operacionais e a satisfação do cliente. Em seguida, o “Tempo médio de processamento de devoluções” (4,57) e o “percentual de embalagens reutilizadas” (4,43) também receberam altas avaliações, refletindo a importância da agilidade no fluxo reverso e da busca por ganhos de eficiência e redução de custos.

Um bloco de quatro indicadores apresentou um empate com a nota média de 4,29: “Taxa de reaproveitamento de produtos devolvidos”, “percentual de materiais reciclados reintegrados”, “Eficiência na coleta de resíduos” e “Descarte adequado de resíduos perigosos”. A avaliação uniforme deste conjunto demonstra que os especialistas consideram essas atividades como um pacote integrado e essencial para uma operação de logística reversa robusta, cobrindo desde a recuperação de valor dos itens retornados até a gestão responsável dos resíduos gerados.

Em forte contraste, o indicador com a menor avaliação foi a “Taxa de retorno pós-consumo” (3,43). Essa nota mais modesta pode ser atribuída à alta complexidade logística, aos custos envolvidos e à grande dependência da participação do consumidor final para o sucesso

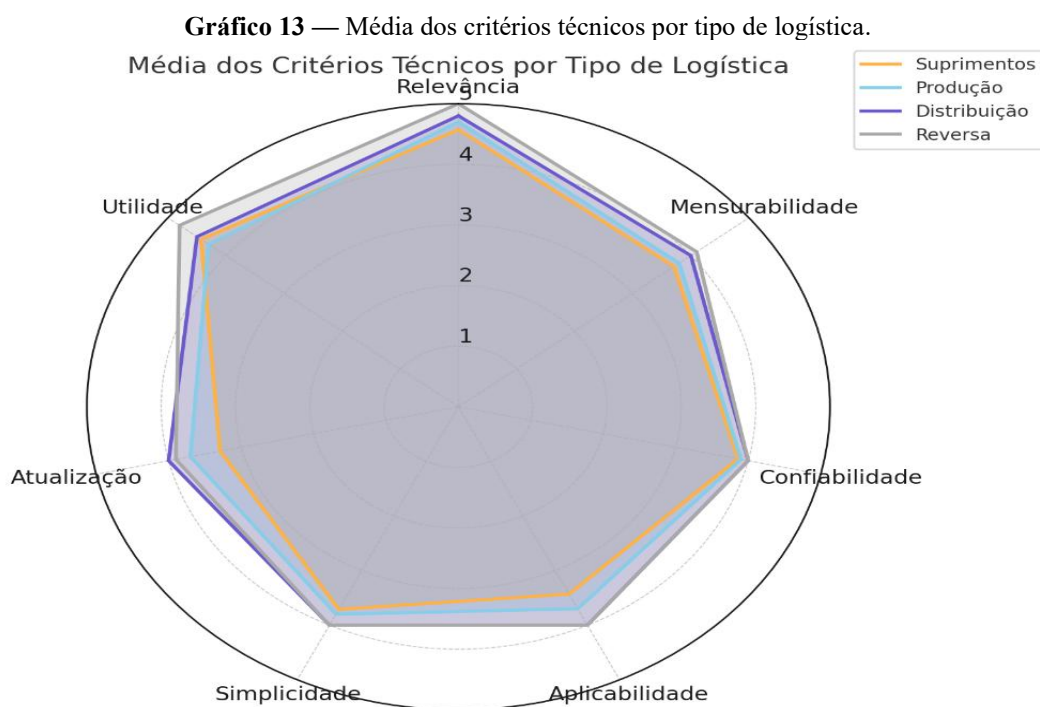
dos programas de *take-back*, representando um dos maiores desafios operacionais para a indústria no contexto da responsabilidade estendida do produtor.

### 5.1. Análise Consolidada por Critérios Técnicos

A avaliação técnica dos indicadores de desempenho propostos evidenciou a consistência e aplicabilidade do conjunto final de métricas no contexto prático da indústria avaliada. De modo geral, os resultados demonstraram alta aderência dos indicadores às práticas e necessidades reais da indústria, com a maioria das métricas obtendo médias elevadas. A dimensão ambiental foi a mais consolidada, sobretudo nas logísticas de produção e distribuição.

Em relação aos critérios de validação, destaca-se que a relevância e a utilidade foram as dimensões com melhores desempenhos, indicando que os indicadores foram considerados estrategicamente alinhados. Por outro lado, a simplicidade e a atualização foram os critérios que mais limitaram a nota de alguns indicadores, sobretudo aqueles que dependem de infraestrutura tecnológica ou de integração de dados entre áreas. Esses resultados reforçam a viabilidade prática do conjunto de indicadores proposto, validando sua aplicabilidade como instrumento de diagnóstico, monitoramento e tomada de decisão.

Para aprofundar a compreensão sobre o comportamento desses critérios, o Gráfico 13 sintetiza as médias obtidas em cada uma das sete dimensões técnicas, permitindo uma comparação visual direta do perfil de cada área logística.



Fonte: O Autor (2025).

Observa-se no Gráfico 13 que os indicadores associados à logística de produção (linha azul-claro) apresentaram o perfil mais retraído, porém equilibrado, indicando uma performance consistente, ainda que moderada, entre todos os critérios. A logística de distribuição (linha azul-escura) e a logística reversa (linha cinza) destacaram-se com as maiores notas em relevância e utilidade, refletindo seu alinhamento estratégico, mas exibiram quedas nos critérios de simplicidade e aplicabilidade, o que pode estar relacionado à dependência de tecnologias e estruturas específicas.

Já a logística de suprimentos (linha laranja) demonstrou um desempenho geral robusto, porém com uma notável queda no critério de simplicidade, evidenciando os desafios práticos de mensuração em etapas que dependem de atores externos, como a rastreabilidade ambiental de fornecedores. No geral, os resultados corroboram que a viabilidade de um indicador depende não apenas de sua relevância teórica, mas também de sua inserção prática nos sistemas e rotinas de controle organizacional.

## 5.2. Proposta de Escala de Avaliação de Maturidade da Logística Verde

A elaboração e validação de um conjunto de indicadores de desempenho, conforme detalhado nas seções anteriores, constitui a base fundamental para a mensuração da logística verde. Contudo, para que a avaliação transcenda a análise de métricas isoladas e ofereça um diagnóstico estratégico, propõe-se, nesta seção, o desenvolvimento de uma Escala de Avaliação de Maturidade. Esta ferramenta cumpre o objetivo final deste trabalho, traduzindo os dados de desempenho em uma classificação que permite às empresas compreenderem seu estágio atual e traçarem um caminho claro para a evolução sustentável.

A necessidade de instrumentos de avaliação estruturados é uma lacuna recorrente na literatura, que aponta a dificuldade de mensuração como um dos principais obstáculos à implementação de operações sustentáveis. A escala aqui proposta visa preencher parte dessa lacuna, oferecendo um método prático e fundamentado para que as indústrias de transformação possam não apenas medir, mas também interpretar e gerenciar sua performance em logística verde.

A escala é composta por cinco níveis de maturidade, que representam um contínuo de evolução, desde práticas inexistentes ou reativas até a plena integração da sustentabilidade à estratégia do negócio.

- **Nível 1 – Incipiente:** Neste estágio, a organização não possui uma estratégia formal de logística verde. As ações ambientais são pontuais, esporádicas e geralmente motivadas apenas para cumprir exigências legais mínimas. A medição de indicadores

de desempenho sustentável é inexistente ou realizada de forma assistêmica, e não há conscientização ou engajamento da equipe com o tema.

- **Nível 2 – Em Desenvolvimento:** A empresa começa a reconhecer a importância da sustentabilidade e a implementar algumas práticas de logística verde, de forma isolada e descoordenada. O monitoramento de indicadores é parcial, com foco naqueles de impacto econômico mais direto (ex: consumo de combustível, redução de perdas). As ações ainda são, em grande parte, reativas, e a sustentabilidade não está integrada ao planejamento estratégico.
- **Nível 3 – Estruturado:** Neste nível, a organização já possui processos e políticas formais para a logística verde. A maioria dos indicadores de desempenho propostos é medida de forma sistemática, e os dados são utilizados para o controle operacional. Há um engajamento consciente da gestão e das equipes, e a empresa busca ativamente por melhorias em suas operações, demonstrando consistência em suas práticas sustentáveis.
- **Nível 4 – Otimizado:** A logística verde é parte integrante da gestão tática e operacional da empresa. Todos os indicadores são monitorados continuamente e utilizados como ferramenta para a melhoria contínua e a inovação proativa. A organização colabora com parceiros da cadeia de suprimentos (fornecedores e clientes) para ampliar o alcance de suas práticas sustentáveis e otimizar o desempenho ambiental de forma integrada.
- **Nível 5 – Estratégico (Líder):** Neste estágio máximo de maturidade, a sustentabilidade está plenamente incorporada à estratégia corporativa global. A empresa não apenas otimiza suas operações, mas também lidera o setor, estabelecendo novos padrões de referência (*benchmarks*). A logística verde é vista como uma fonte de vantagem competitiva, impulsionando a inovação em produtos, processos e modelos de negócio. Os indicadores de desempenho são utilizados para direcionar investimentos estratégicos e fortalecer a reputação da marca.

A aplicação da escala para diagnosticar o nível de maturidade de uma empresa deve ser um processo estruturado, projetado para garantir objetividade e replicabilidade.

Nessa proposta, a primeira etapa consiste na coleta dos dados e no cálculo do resultado de cada indicador, utilizando as fórmulas apresentadas anteriormente. O resultado desta etapa é um valor bruto (ex: 65% de matérias-primas recicladas, 450 km de distância média percorrida).

Para permitir a comparação e a agregação de indicadores com unidades de medida distintas, seus resultados brutos são normalizados para uma escala padronizada de 1 a 5. Para indicadores expressos em percentual (de 0% a 100%), sugere-se a seguinte tabela de conversão:

**Quadro 4** — Quadro de conversão.

| <b>Resultado Bruto (Percentual)</b> | <b>Nota Normalizada</b> |
|-------------------------------------|-------------------------|
| 0% – 20%                            | 1                       |
| 21% – 40%                           | 2                       |
| 41% – 60%                           | 3                       |
| 61% – 80%                           | 4                       |
| 81% – 100%                          | 5                       |

Fonte: O Autor (2025).

Para indicadores não percentuais (ex: "Distância média percorrida" ou "Ocorrências de acidentes"), a definição das faixas de conversão deve ser estabelecida com base em benchmarks setoriais, metas internas da empresa ou dados históricos, garantindo que a escala reflita a realidade competitiva e operacional do contexto.

Calcula-se a média aritmética simples das notas normalizadas de todos os indicadores pertencentes a uma mesma área logística (Suprimentos, Produção, Distribuição e Reversa). O resultado é uma pontuação média, de 1 a 5, para cada uma das quatro áreas.

$$Pontuação\ da\ área = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Nota Normalizada do Indicador}}{n}$$

Onde  $n$  é o número total de indicadores daquela área.

A pontuação média final obtida em cada área logística é então utilizada para classificar a empresa nos níveis de maturidade, conforme o quadro 4.

**Quadro 5** — Classificação de nível de maturidade.

| <b>Pontuação Média da Área</b> | <b>Nível de Maturidade</b>          |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1,00 – 1,80                    | <b>Nível 1 – Incipiente</b>         |
| 1,81 – 2,60                    | <b>Nível 2 – Em desenvolvimento</b> |
| 2,61 – 3,40                    | <b>Nível 3 – Estruturado</b>        |
| 3,41 – 4,20                    | <b>Nível 4 – Otimizado</b>          |
| Acima de 4,20                  | <b>Nível 5 – Estratégico</b>        |

Fonte: O Autor (2025).

### **5.3. Diagnóstico de Maturidade: Estudo de Caso**

Após a validação da pertinência e aplicabilidade do conjunto de indicadores pelos especialistas, esta seção se dedica à aplicação do framework completo, incluindo a escala de maturidade, ao estudo de caso das duas indústrias do setor eletroeletrônico, Empresa Alfa e Empresa Beta. O objetivo é realizar um diagnóstico comparativo do estágio de desenvolvimento das práticas de logística verde nas empresas analisadas, demonstrando a capacidade da ferramenta proposta em gerar informações gerenciais relevantes para a tomada de decisão.

A aplicação do framework envolveu o levantamento de dados de desempenho operacional de ambas as empresas para cada um dos indicadores propostos, utilizando as fontes de dados descritas na anteriormente (ex: relatórios de produção, sistema de gestão de frotas, etc.). Os dados brutos coletados foram então processados conforme a metodologia de cálculo e classificação de maturidade detalhada.

A seguir, são apresentados os resultados comparativos para cada uma das quatro áreas logísticas.

#### **5.3.1. Logística de Suprimentos**

A análise da logística de suprimentos, apresentada no quadro 5, revela uma diferença expressiva no nível de maturidade entre as duas empresas.

**Quadro 6** — Diagnóstico comparativo da maturidade em logística de suprimentos.

| <b>Indicador</b>                                       | <b>Desempenho<br/>Empresa Alfa</b> | <b>Nota Normalizada<br/>(1-5)</b> | <b>Desempenho<br/>Empresa Beta</b> | <b>Nota Normalizada<br/>(1-5)</b> |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Percentual de fornecedores com certificação ambientais | 65%                                | 4                                 | 35%                                | 2                                 |
| Percentual de matérias-primas recicladas/renováveis    | 58%                                | 3                                 | 42%                                | 3                                 |
| Percentual de embalagens sustentáveis                  | 75%                                | 4                                 | 50%                                | 3                                 |
| Índice de compras sustentáveis                         | 61%                                | 4                                 | 38%                                | 2                                 |
| Percentual de contratos com cláusulas ambientais       | 82%                                | 5                                 | 65%                                | 4                                 |
| Frequência de auditorias socioambientais               | 40%                                | 2                                 | 15%                                | 1                                 |
| Distância média percorrida pelos insumos               | 450 km                             | 3                                 | 700 km                             | 2                                 |
| <b>PONTUAÇÃO MÉDIA FINAL</b>                           |                                    | <b>3,57</b>                       |                                    | <b>2,43</b>                       |

Fonte: O Autor (2025).

Com uma pontuação média de 3,57, a Empresa Alfa classifica-se no Nível 4 – Otimizado em sua logística de suprimentos. O resultado indica uma gestão proativa e bem estruturada, com destaque para a formalização de compromissos ambientais em contratos e um bom controle sobre o uso de embalagens e fornecedores certificados. Em contraste, a Empresa Beta, com média 2,43, posiciona-se no Nível 2 – Em Desenvolvimento. Embora demonstre esforços no uso de embalagens e matérias-primas sustentáveis, a empresa apresenta fragilidades na gestão de sua base de fornecedores e nos processos de compra, indicando uma abordagem mais reativa e menos estruturada.

### 5.3.2. Logística de Produção

Na logística de produção, ambas as empresas apresentaram um elevado nível de maturidade, refletindo um maior controle sobre os processos internos.

**Quadro 7** — Diagnóstico comparativo da maturidade em logística de produção.

| <b>Indicador</b>                                 | <b>Desempenho<br/>Empresa Alfa</b> | <b>Nota Normalizada<br/>(1-5)</b> | <b>Desempenho<br/>Empresa Beta</b> | <b>Nota Normalizada<br/>(1-5)</b> |
|--------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Eficiência energética das operações              | 4,5 kWh/unid.                      | 5                                 | 5,2 kWh/unid.                      | 4                                 |
| Percentual de reaproveitamento de materiais      | 85%                                | 5                                 | 70%                                | 4                                 |
| Taxa de descarte de materiais não reaproveitados | 5%                                 | 5                                 | 15%                                | 4                                 |
| Percentual de processos com controle ambiental   | 90%                                | 5                                 | 85%                                | 5                                 |
| Indicador de consumo de água                     | 12 L/unid.                         | 4                                 | 15 L/unid.                         | 4                                 |
| Ocorrências de acidentes logísticos              | 1                                  | 5                                 | 3                                  | 4                                 |
| Índice de retrabalho                             | 2%                                 | 4                                 | 4%                                 | 3                                 |
| Percentual de produtos com ecodesign             | 45%                                | 3                                 | 25%                                | 2                                 |
| <b>PONTUAÇÃO<br/>MÉDIA FINAL</b>                 |                                    | <b>4,50</b>                       |                                    | <b>3,75</b>                       |

Fonte: O Autor (2025).

A Empresa Alfa alcançou uma pontuação de 4,50, classificando-se no Nível 5 – Estratégico, o que demonstra excelência e integração da sustentabilidade em seus processos produtivos. A Empresa Beta também apresentou um resultado robusto, com média 3,75, atingindo o Nível 4 – Otimizado. O principal diferencial entre as duas reside no desenvolvimento de produtos com ecodesign e na maior eficiência de seus processos, mas ambas demonstram um forte controle sobre seus impactos fabris.

### 5.3.3. Logística de Distribuição

A logística de distribuição revelou um cenário de maturidade mais próximo entre as duas organizações, indicando desafios e focos de atuação semelhantes nesta etapa.

**Quadro 8** — Diagnóstico comparativo da maturidade em logística de distribuição.

| <b>Indicador</b>                        | <b>Desempenho<br/>Empresa Alfa</b> | <b>Nota Normalizada<br/>(1-5)</b> | <b>Desempenho<br/>Empresa Beta</b> | <b>Nota Normalizada<br/>(1-5)</b> |
|-----------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Eficiência da frota                     | 3,8 km/L                           | 4                                 | 3,5 km/L                           | 3                                 |
| Percentual de veículos alternativos     | 15%                                | 1                                 | 10%                                | 1                                 |
| Taxa de ocupação dos veículos           | 85%                                | 5                                 | 82%                                | 5                                 |
| Percentual de embalagens ecológicas     | 65%                                | 4                                 | 61%                                | 4                                 |
| Devoluções por falha ambiental          | 1%                                 | 4                                 | 2%                                 | 3                                 |
| Percentual de área de estoque ambiental | 70%                                | 4                                 | 65%                                | 4                                 |
| <b>PONTUAÇÃO<br/>MÉDIA FINAL</b>        |                                    | <b>3,67</b>                       |                                    | <b>3,33</b>                       |

Fonte: O Autor (2025).

Ambas as empresas se classificaram no Nível 4 – Otimizado para a Empresa Alfa (média 3,67) e Nível 3 – Estruturado para a Empresa Beta (média 3,33). Os resultados mostram que ambas são eficientes na ocupação de seus veículos e no uso de embalagens, mas enfrentam um desafio comum e na renovação da frota com veículos de combustíveis alternativos, o que impactou negativamente a pontuação de ambas.

#### 5.3.4. Logística Reversa

A logística reversa, conforme esperado pela literatura, apresentou-se como a área de maior desafio para ambas as empresas, evidenciando os menores níveis de maturidade.

**Quadro 9** — Diagnóstico comparativo da maturidade em logística reversa.

| <b>Indicador</b>                                | <b>Desempenho<br/>Empresa Alfa</b> | <b>Nota Normalizada<br/>(1-5)</b> | <b>Desempenho<br/>Empresa Beta</b> | <b>Nota Normalizada<br/>(1-5)</b> |
|-------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Taxa de retorno por falha técnica               | 2%                                 | 4                                 | 3%                                 | 3                                 |
| Tempo médio de processamento de devoluções      | 5 dias                             | 4                                 | 8 dias                             | 3                                 |
| Taxa de reaproveitamento de produtos devolvidos | 65%                                | 4                                 | 50%                                | 3                                 |
| Percentual de embalagens reutilizadas           | 55%                                | 3                                 | 35%                                | 2                                 |
| Taxa de retorno pós-consumo                     | 10%                                | 1                                 | 5%                                 | 1                                 |
| Percentual de materiais reciclados reintegrados | 45%                                | 3                                 | 25%                                | 2                                 |
| Eficiência na coleta de resíduos                | 70%                                | 4                                 | 60%                                | 3                                 |
| Descarte adequado de resíduos perigosos         | 100%                               | 5                                 | 95%                                | 5                                 |
| <b>PONTUAÇÃO MÉDIA FINAL</b>                    |                                    | <b>3,50</b>                       |                                    | <b>2,75</b>                       |

Fonte: O Autor (2025).

Com média 3,50, a Empresa Alfa se posiciona no Nível 4 – Otimizado, demonstrando um processo estruturado, principalmente no descarte de resíduos perigosos e no processamento de devoluções por falha técnica. A Empresa Beta, com média 2,75, classifica-se no Nível 3 – Estruturado. Para ambas as empresas, o indicador "Taxa de retorno pós-consumo" apresentou o pior desempenho, confirmando ser este o principal gargalo para o avanço da economia circular no setor.

#### 5.3.5. Consolidação do diagnóstico de maturidade

A compilação dos resultados das quatro áreas logísticas permite a elaboração de um painel de maturidade comparativo, que oferece uma visão estratégica e panorâmica do desempenho em logística verde das empresas Alfa e Beta.

**Quadro 10** — Painel de maturidade comparativo – Empresa Alfa vs. Empresa Beta.

| <b>Área Logística</b>            | <b>Nível de Maturidade Empresa Alfa</b> | <b>Nível de Maturidade Empresa Beta</b> |
|----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Logística de Suprimentos</b>  | Nível 4 – Otimizado                     | Nível 2 – Em Desenvolvimento            |
| <b>Logística de Produção</b>     | Nível 5 – Estratégico                   | Nível 4 – Otimizado                     |
| <b>Logística de Distribuição</b> | Nível 4 – Otimizado                     | Nível 3 – Estruturado                   |
| <b>Logística Reversa</b>         | Nível 4 – Otimizado                     | Nível 3 – Estruturado                   |

Fonte: O Autor (2025).

O diagnóstico consolidado revela perfis distintos. A Empresa Alfa demonstra uma maturidade elevada e homogênea em quase toda a sua cadeia, com excelência na produção e um sistema otimizado de suprimentos. A Empresa Beta, por sua vez, apresenta uma fortaleza em seus processos produtivos internos, mas evidencia uma clara oportunidade de desenvolvimento na gestão de sua cadeia de suprimentos e na estruturação de sua logística reversa. Ambos os casos confirmam que a gestão da logística verde é mais consolidada nas etapas internas (produção) e mais desafiadora nos elos externos da cadeia (suprimentos e retorno pós-consumo), um achado que será aprofundado no capítulo de Discussão.

## 6. ANÁLISE INTEGRADO DOS RESULTADOS

A análise dos dados obtidos permite identificar padrões consistentes que aprofundam a compreensão sobre o estágio atual da sustentabilidade logística nas indústrias de transformação do Polo Industrial de Manaus. A partir da apresentação dos resultados, esta seção tem como objetivo interpretar criticamente os achados empíricos à luz do problema de pesquisa, evidenciando contradições estruturais, lacunas entre estratégia e operação e limitações nos sistemas de mensuração existentes. Essa discussão constitui a base argumentativa para justificar a construção do modelo de indicadores proposto, ao demonstrar que as práticas sustentáveis, embora reconhecidas como relevantes, ainda carecem de instrumentos que viabilizem sua gestão de forma integrada, sistemática e orientada por dados.

Entre os principais achados empíricos, destaca-se o que pode ser caracterizado como o paradoxo da empresa consciente, porém desaparelhada. A pesquisa revela um ecossistema composto majoritariamente por empresas de grande porte e com longa trajetória operacional, das quais mais de 60% declaram considerar a sustentabilidade em suas decisões estratégicas. Contudo, essa aparente maturidade no nível estratégico colide com uma realidade operacional ainda incipiente: aproximadamente 70% dessas organizações não possuem um departamento formal e consolidado para a gestão da sustentabilidade. Essa dissonância sugere que a sustentabilidade, embora presente no discurso institucional, ainda não foi efetivamente incorporada à estrutura organizacional. A ausência de um setor dedicado impede a tradução da estratégia em ações coordenadas, relegando a pauta ambiental a uma posição secundária e dificultando sua integração com as operações logísticas do dia a dia.

Essa fragilidade estrutural parece resultar em um segundo padrão observado: a fragmentação das práticas de logística verde. O achado de que mais da metade das empresas (51,31%) admite não implementar ações sustentáveis de forma integrada em todas as etapas logísticas é revelador. Indica que as iniciativas, quando existentes, tendem a ser pontuais e isoladas, concentradas, possivelmente, em áreas onde os ganhos operacionais são mais visíveis, como a produção. Etapas mais complexas, como a gestão de fornecedores ou a estruturação da logística reversa pós-consumo, acabam negligenciadas. Essa atuação em silos, reforçada pela ausência de uma política clara e unificada de logística verde, impede a geração de ganhos sistêmicos e reforça a necessidade de um modelo de avaliação holístico, capaz de promover uma visão integrada de toda a cadeia de suprimentos.

O ponto culminante deste diagnóstico e que conecta os anteriores é a ineficácia dos sistemas de medição de desempenho. A constatação de que quase três quartos da amostra

(73,7%) não possuem um sistema de gestão por indicadores consolidado é a evidência mais direta da problemática abordada por esta dissertação. Mais do que isso, os dados revelam que a simples existência de indicadores não garante sua efetividade. Mesmo entre as poucas empresas que os utilizam, predomina a percepção de que eles não influenciam as decisões estratégicas de forma significativa, nem estão plenamente alinhados às metas corporativas. Fica evidente que o problema não é apenas a escassez de indicadores, mas a ausência de um framework que os organize, dê sentido e os conecte à estratégia da organização.

A análise das barreiras à implementação encerra o diagnóstico do cenário. Os desafios financeiros, tecnológicos e humanos, somados à própria dificuldade metodológica expressa na ausência de modelos e indicadores que sejam ao mesmo tempo viáveis, práticos e eficazes, confirmam empiricamente a relevância desta pesquisa. Não se trata apenas de uma lacuna teórica: os próprios gestores reconhecem essa ausência como um obstáculo concreto. Em síntese, os resultados revelam um setor industrial em ponto de inflexão: a consciência sobre a importância da sustentabilidade está presente, mas as ferramentas para implementá-la, gerenciá-la e mensurá-la com eficácia ainda são insuficientes.

Com base nesse diagnóstico, foi desenvolvida a solução técnica proposta por esta pesquisa: um modelo estruturado de indicadores de desempenho sustentável para a logística. Essa etapa representa a passagem da análise para a ação, apresentando um instrumento concebido para responder diretamente às lacunas identificadas e permitir a mensuração integrada das práticas de logística verde.

A construção dos indicadores foi fundamentada em uma abordagem metodológica de triangulação, que combinou três fontes complementares: a revisão da literatura especializada, os dados empíricos obtidos por meio do questionário aplicado e a consulta a especialistas do setor. Essa escolha não foi meramente técnica, mas estratégica, ao permitir a articulação entre o conhecimento teórico consolidado e as práticas efetivamente observadas no campo. A incorporação da literatura garantiu o rigor conceitual; o uso dos dados empíricos assegurou aderência às dificuldades e realidades operacionais das empresas analisadas; e a participação de especialistas funcionou como filtro de viabilidade, promovendo a aplicabilidade concreta dos indicadores propostos.

Outro elemento central do modelo está na definição explícita de critérios técnicos de seleção, que asseguram equilíbrio entre as três dimensões da sustentabilidade, ambiental, econômica e social. A inclusão de indicadores econômicos, como o índice de retrabalho e a taxa de ocupação dos veículos, e de indicadores sociais, como as ocorrências de acidentes logísticos, reflete a compreensão de que a sustentabilidade corporativa requer alinhamento com a

eficiência operacional e com a responsabilidade social. Essa cautela metodológica demonstra consciência das dificuldades inerentes à mensuração de variáveis intangíveis, evitando métricas excessivamente subjetivas e priorizando indicadores com potencial de monitoramento sistemático.

A principal inovação da proposta reside na sua arquitetura integrada, organizada em quatro subsistemas logísticos (suprimentos, produção, distribuição e logística reversa). Essa estrutura responde diretamente à fragmentação das práticas identificada no diagnóstico, promovendo uma abordagem sistêmica e conectando as ações ambientais às dimensões operacionais e estratégicas da empresa. Assim, o modelo busca superar a lógica departamentalizada e induzir uma visão ampliada das responsabilidades logísticas frente à sustentabilidade.

A aplicação prática do modelo em duas empresas do setor eletroeletrônico, denominadas Alfa e Beta, permitiu avaliar sua viabilidade técnica e aplicabilidade real. Ambas apresentaram padrões coerentes com o diagnóstico setorial, evidenciando que a maturidade é mais elevada nos processos internos, sobretudo na logística de produção, e mais limitada nas etapas externas, como suprimentos e reversa pós-consumo. Esse comportamento reforça a constatação de que as empresas possuem maior governança sobre o que ocorre internamente, enquanto os elos externos da cadeia continuam sendo o ponto mais crítico da sustentabilidade logística.

Tais resultados dialogam com a literatura especializada, que reconhece que a complexidade da mensuração da sustentabilidade se intensifica em processos interorganizacionais e em cadeias longas. No contexto amazônico, esse desafio é ainda mais acentuado devido às limitações de infraestrutura e às grandes distâncias geográficas, o que amplifica a importância da integração logística como vetor de sustentabilidade regional.

No campo da validação técnica, o modelo demonstrou robustez e consistência. Todos os indicadores obtiveram média de aceitação superior a 3,29, valor acima do ponto médio da escala utilizada, e não se observou discrepância relevante entre as quatro áreas logísticas avaliadas. Esse resultado positivo é atribuído ao processo de construção participativo e ao rigor conceitual adotado.

Em termos gerenciais, o framework proposto se apresenta como um guia prático para implementação faseada. Recomenda-se que as empresas iniciem pelos indicadores de maior aplicabilidade e simplicidade, priorizando processos internos (produção e distribuição) antes de avançar para as dimensões mais complexas (suprimentos e reversa). O próprio desempenho das empresas Alfa e Beta ilustra essa trajetória evolutiva: enquanto a Beta deve concentrar esforços

em estruturar sua cadeia de fornecimento e aprimorar seus fluxos de retorno, a Alfa pode avançar em indicadores de fronteira, como a ampliação de sua taxa de retorno pós-consumo.

Por fim, a análise integrada dos resultados evidencia que o modelo de indicadores proposto é não apenas conceitualmente sólido, mas operacionalmente exequível. Ele oferece uma base metodológica consistente para diagnosticar, monitorar e aprimorar a sustentabilidade logística das empresas do Polo Industrial de Manaus, conciliando rigor técnico, aderência prática e aplicabilidade setorial. Ainda que as validações tenham se concentrado em um único segmento industrial, os achados fornecem subsídios valiosos para adaptações futuras e replicações em outros contextos.

## **7. IMPACTOS DA PESQUISA**

### **7.1. Impactos Acadêmicos**

A principal contribuição acadêmica desta dissertação reside no preenchimento de uma lacuna da literatura sobre logística verde, que indicava a ausência de um modelo de avaliação de desempenho que fosse, simultaneamente, integrado e operacionalizável. Enquanto estudos anteriores frequentemente se concentravam em dimensões isoladas da sustentabilidade ou propunham modelos teóricos de difícil aplicação prática, esta pesquisa oferece uma contribuição metodológica e empírica concreta. O desenvolvimento e a validação de um modelo estruturado com 31 indicadores, segmentado nos quatro subsistemas logísticos (suprimentos, produção, distribuição e reversa), fornece à comunidade acadêmica uma ferramenta com validade teórica e aplicabilidade comprovada.

Adicionalmente, a pesquisa oferece um percurso metodológico robusto e replicável, baseado na triangulação entre revisão teórica, coleta de dados quantitativos e validação qualitativa com especialistas. Essa abordagem não apenas reforça a confiabilidade dos resultados como também pode servir de referência para futuros estudos que visem desenvolver ou adaptar instrumentos de medição de desempenho sustentável em outros setores industriais ou contextos geográficos.

A dissertação também contribui para a consolidação e nacionalização do debate acadêmico sobre sustentabilidade logística, ao adaptar conceitos internacionais da logística verde à realidade produtiva brasileira, com ênfase em um ecossistema industrial de alta complexidade como o Polo Industrial de Manaus. Tal esforço amplia a aderência do campo conceitual da logística verde às especificidades econômicas e ambientais da Amazônia, fortalecendo sua relevância científica no cenário nacional.

Além disso, este trabalho avança na articulação entre sustentabilidade e avaliação de desempenho, ao demonstrar como sistemas de indicadores podem ser desenhados para apoiar simultaneamente metas ambientais, sociais e econômicas. A estrutura desenvolvida amplia o potencial analítico da mensuração da sustentabilidade, oferecendo subsídios para que novas abordagens teóricas explorem a integração entre responsabilidade socioambiental e performance organizacional no nível das operações logísticas.

Por fim, ao gerar um conjunto de dados empíricos inédito sobre o estágio de maturidade da logística verde no Polo Industrial de Manaus, esta dissertação amplia o acervo de evidências disponíveis sobre práticas sustentáveis em regiões de elevada sensibilidade ambiental. O

diagnóstico resultante pode servir de base para futuras investigações voltadas ao fortalecimento da sustentabilidade em contextos industriais periféricos.

## 7.2. Impactos Econômicos

Os impactos econômicos da presente proposta derivam diretamente da capacidade do modelo de conectar práticas de sustentabilidade à eficiência operacional, transformando a gestão ambiental em um vetor de competitividade. Ao contrário da percepção de que a sustentabilidade representa apenas um custo, o conjunto de indicadores proposto evidencia oportunidades concretas de otimização e redução de despesas.

Indicadores como *Taxa de ocupação dos veículos* e *Eficiência da frota* permitem um controle rigoroso dos custos de transporte por meio da redução do consumo de combustível e da otimização de rotas. Na esfera da produção, métricas como *Índice de retrabalho*, *Percentual de reaproveitamento de materiais* e *Eficiência energética* promovem a diminuição de perdas, o uso racional de insumos e a redução dos custos com energia elétrica, impactando diretamente a lucratividade. Na logística reversa, a mensuração do *Tempo médio de processamento de devoluções* e da *Taxa de retorno por falha técnica* auxilia na redução dos custos associados a garantias e ao gerenciamento de produtos retornados, além de aumentar a recuperação de valor de componentes e materiais.

Além das reduções de custo, o modelo contribui para a mitigação de riscos operacionais e regulatórios. Ao monitorar indicadores relacionados à segurança do trabalho, ao descarte adequado de resíduos e à conformidade de fornecedores, as empresas conseguem evitar sanções legais, passivos trabalhistas e impactos financeiros decorrentes de falhas em auditorias ambientais ou fiscais. A adoção do modelo, portanto, fortalece os mecanismos de controle interno e promove maior estabilidade operacional.

Outro desdobramento econômico relevante é o potencial de aumento da atratividade das empresas para investimentos e financiamentos verdes. Organizações que adotam práticas sustentáveis mensuráveis e auditáveis passam a atender critérios exigidos por linhas de crédito específicas, programas de incentivo à inovação sustentável e fundos de investimento com foco em ESG (Environmental, Social and Governance). Dessa forma, o modelo proposto pode favorecer o acesso a recursos financeiros estratégicos e ampliar a visibilidade positiva das empresas perante stakeholders, clientes e investidores institucionais.

Os impactos econômicos do modelo transcendem o ganho operacional imediato. Ele se posiciona como uma ferramenta de gestão estratégica, capaz de alinhar o desempenho

ambiental às metas de competitividade, inovação e perenidade das organizações do Polo Industrial de Manaus.

### **7.3. Impactos Sociais**

Embora a mensuração dos impactos sociais seja inerentemente mais complexa, a proposta desenvolvida nesta dissertação incorpora indicadores que promovem diretamente a responsabilidade social corporativa e o bem-estar humano. O impacto mais imediato manifesta-se na segurança do trabalho: o indicador “Ocorrências de acidentes logísticos”, validado com a maior pontuação entre os especialistas da categoria de produção (4,43), estimula o monitoramento sistemático e o investimento em ambientes operacionais mais seguros, protegendo a integridade física dos colaboradores.

Além do ambiente interno, o modelo também induz transformações na relação das empresas com sua cadeia de suprimentos. Indicadores como “Frequência de auditorias socioambientais em fornecedores” e “Percentual de fornecedores com certificações ambientais” pressionam as organizações a estabelecer relações comerciais com parceiros comprometidos com práticas éticas, condições laborais justas e respeito às legislações ambientais, ampliando os efeitos positivos para além dos limites da planta industrial.

Adicionalmente, o modelo contribui para a geração de uma cultura organizacional voltada à sustentabilidade social, ao induzir as empresas a adotarem valores de responsabilidade coletiva e a integrarem critérios sociais nas suas decisões estratégicas. Ainda que não abranja diretamente temas como diversidade, inclusão ou saúde mental, o sistema de indicadores estabelece as bases para que esses aspectos sejam futuramente incorporados à gestão, consolidando uma abordagem mais abrangente de sustentabilidade humana.

Outro impacto relevante reside no fortalecimento do alinhamento entre o setor privado e as políticas públicas de desenvolvimento sustentável. Ao utilizar métricas coerentes com os marcos regulatórios internacionais, como os ODS da ONU e os princípios da Organização Internacional do Trabalho- OIT, o modelo proposto contribui para a convergência entre os interesses empresariais e os compromissos sociais assumidos pelo país. Com isso, a proposta torna-se não apenas uma ferramenta de gestão interna, mas também um instrumento de governança social e ambiental em escala mais ampla.

Por fim, ao estimular uma logística reversa estruturada e a gestão adequada de resíduos, especialmente os eletroeletrônicos, a proposta contribui para a proteção da saúde pública nas comunidades do entorno industrial, prevenindo a contaminação de solo, água e ar. Dessa forma, a dissertação amplia o escopo da sustentabilidade para além do desempenho corporativo,

integrando dimensões sociais que impactam diretamente a qualidade de vida da população amazônica.

#### **7.4. Impactos Ambientais**

O impacto ambiental configura-se como a contribuição mais central e estratégica desta pesquisa. O modelo de avaliação proposto opera como um instrumento prático e sistemático para que as indústrias do Polo Industrial de Manaus possam monitorar, gerenciar e mitigar ativamente sua pegada ecológica, o que adquire uma importância ampliada em uma região de alta sensibilidade ambiental como a Amazônia.

A proposta atua de forma integrada em toda a cadeia logística. Na logística de suprimentos, promove o uso de matérias-primas recicladas ou renováveis e a priorização de fornecedores com certificação ambiental, contribuindo para reduzir o impacto desde a origem dos insumos. Na produção, os indicadores voltam-se à racionalização do uso de recursos naturais, com métricas como Eficiência energética e Consumo de água, permitindo identificar desperdícios e oportunidades de economia. Na distribuição, a redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) é incentivada por meio da Eficiência da frota e do estímulo ao uso de combustíveis alternativos. Já na logística reversa, os indicadores contribuem para a consolidação da economia circular ao medir a Taxa de reaproveitamento de produtos devolvidos e o Percentual de materiais reciclados reintegrados, bem como ao garantir o Descarte ambientalmente adequado de resíduos perigosos, mitigando riscos de contaminação do solo e da água.

Além desses benefícios diretos, o modelo induz avanços relevantes na governança ambiental corporativa, ao estruturar um sistema de mensuração padronizado que pode ser integrado a processos de auditoria, prestação de contas ESG, e alinhamento com normativas ambientais como ISO 14001 e GRI. Essa estrutura promove maior transparência, controle e conformidade ambiental nas organizações, criando bases para que a sustentabilidade seja gerida com rigor técnico e evidência empírica.

Outro impacto relevante é o estímulo indireto à inovação tecnológica verde. A adoção do modelo tende a fomentar a demanda por soluções de monitoramento ambiental, tecnologias limpas, sistemas de rastreamento e softwares especializados, fortalecendo um ecossistema de inovação ambiental que ultrapassa os limites da empresa.

A proposta também favorece a integração com políticas públicas ambientais e marcos regulatórios, como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os acordos setoriais de logística reversa e metas de descarbonização industrial. Ao alinhar a gestão logística a essas

diretrizes, o modelo amplia o potencial das empresas para atuarem de forma legítima, em sintonia com os compromissos socioambientais da região.

Sob a perspectiva de mercado, a aplicação dos indicadores ambientais contribui para a consolidação de vantagens competitivas em cadeias produtivas que exigem critérios rigorosos de sustentabilidade, como setores exportadores, fornecedores de multinacionais e investidores institucionais com critérios ESG. Dessa forma, o modelo deixa de ser apenas um mecanismo de controle e se torna também um diferencial estratégico.

Em nível territorial, a pesquisa contribui com a preservação dos serviços ecossistêmicos locais, essenciais à estabilidade climática, à biodiversidade e ao bem-estar da população. A atuação ambientalmente responsável das empresas reduz os impactos negativos sobre os recursos naturais da Amazônia, como rios, aquíferos e cobertura vegetal, com efeitos positivos para a saúde coletiva e a qualidade ambiental regional.

Por fim, o modelo induz a formação de uma cultura organizacional sustentável, em que o desempenho ambiental passa a ser um elemento incorporado à tomada de decisão, aos processos operacionais e às metas corporativas de longo prazo. Essa mudança cultural é fundamental para a consolidação de práticas permanentes e para a superação da lógica reativa que ainda predomina em muitos ambientes industriais.

O modelo proposto vai além do controle de variáveis ambientais: ele estrutura uma nova forma de pensar, medir e conduzir a sustentabilidade nas operações logísticas da indústria amazônica, com potenciais reverberações econômicas, sociais e institucionais de longo alcance.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação debruçou-se sobre o desafio de mensurar o desempenho da logística verde de forma integrada, uma lacuna presente tanto na literatura acadêmica quanto na prática industrial. A investigação teve início com um diagnóstico empírico em indústrias do Polo Industrial de Manaus (PIM), que evidenciou uma contradição estrutural: embora muitas empresas declarem considerar a sustentabilidade em suas decisões estratégicas, a maioria não possui um sistema consolidado de indicadores nem aplica práticas sustentáveis de maneira articulada entre os elos logísticos. Esse descompasso entre discurso e ação revelou a urgência de um modelo que não apenas oriente a mensuração, mas possibilite a gestão coerente e operacional da sustentabilidade.

Para atender a esse objetivo, o estudo foi conduzido por uma metodologia de natureza aplicada e abordagem mista, estruturada em cinco etapas. O percurso envolveu a revisão teórica, a aplicação de questionários a 76 empresas do setor eletroeletrônico, entrevistas com especialistas e a realização de um estudo de caso para validar a proposta. Como resultado, foi desenvolvido um modelo de avaliação composto por 31 indicadores de desempenho, organizados em quatro subsistemas logísticos, e uma escala de maturidade em cinco níveis. O modelo foi validado tecnicamente por especialistas do setor, que confirmaram sua pertinência, aplicabilidade e potencial de uso no ambiente industrial.

Com isso, conclui-se que a pergunta orientadora da pesquisa foi plenamente respondida. O modelo proposto permite às empresas não apenas avaliar, mas também diagnosticar e aprimorar suas práticas ambientais ao longo da cadeia logística. Essa abordagem supera a fragmentação observada na fase diagnóstica e fornece um referencial para práticas mais estruturadas. Tanto o objetivo geral quanto os objetivos específicos foram atingidos, com a entrega de uma solução que articula rigor teórico, aderência empírica e aplicabilidade no contexto industrial.

Ademais, a proposta desenvolvida nesta pesquisa não se limita à entrega de um modelo avaliativo aplicável. Ela também representa um contraponto crítico à crescente banalização do discurso da sustentabilidade nas organizações. Ao estruturar indicadores específicos, operacionais e validados empiricamente, o modelo confronta a lógica performática adotada por empresas que reduzem a logística verde a selos simbólicos ou ações isoladas sem impacto sistêmico. Em um cenário onde a responsabilidade ambiental é frequentemente instrumentalizada como estratégia de marketing, esta pesquisa oferece uma alternativa baseada em evidências, capaz de diferenciar iniciativas substantivas de meras declarações institucionais.

Assim, o modelo não apenas mensura práticas, mas também tensiona o campo organizacional ao exigir coerência entre discurso e prática, contribuindo para o fortalecimento de cadeias produtivas genuinamente sustentáveis.

A proposta desenvolvida também se apresenta como um instrumento de apoio à gestão, ao possibilitar que organizações identifiquem gargalos, orientem investimentos e alinhem suas ações logísticas aos compromissos ambientais e sociais. No campo acadêmico, o estudo oferece uma estrutura metodológica replicável e um conjunto inédito de dados sobre o estágio da logística verde no PIM, que podem servir de base para novas investigações. O fato de essa ferramenta ter sido desenvolvida e validada em um dos maiores polos industriais da América Latina confere à proposta uma relevância ampliada para sua adaptação em outros contextos.

Diante da intensificação das exigências por práticas produtivas alinhadas à sustentabilidade, medir e gerir o desempenho ambiental tornou-se uma condição para a continuidade das atividades empresariais. Ao oferecer um modelo integrado de avaliação, esta pesquisa contribui para a reorganização das decisões logísticas sob uma perspectiva sistêmica e orientada por evidências. Além de seu uso prático, o modelo pode funcionar como instrumento de governança, ao promover a transparência das ações ambientais e apoiar a adoção de critérios ESG. Também atua como vetor de mudança organizacional, ao favorecer a incorporação da sustentabilidade nas rotinas decisórias. Sua estrutura metodológica robusta fornece uma base para pesquisas futuras e para iniciativas que visem consolidar políticas públicas voltadas à sustentabilidade industrial em regiões de alta sensibilidade ecológica como a Amazônia.

Reconhece-se, no entanto, que a pesquisa apresenta limitações inerentes ao seu recorte. A aplicação do modelo em apenas duas empresas do setor eletroeletrônico, embora metodologicamente adequada para validação exploratória, restringe sua generalização. A ausência de padronização nacional para mensuração da logística verde também impôs desafios na definição de critérios comparáveis. Além disso, a própria coleta de dados evidenciou um obstáculo estrutural: muitas empresas ainda carecem de registros sistematizados sobre suas práticas ambientais, revelando um distanciamento entre o discurso institucional e a prática operacional. Essas limitações, longe de invalidar os resultados, indicam caminhos para futuras pesquisas e adaptações do modelo em diferentes setores industriais e contextos territoriais.

Portanto, a dissertação aqui apresentada não se limita à proposição de um modelo técnico. Ela representa também um esforço para fortalecer a coerência entre intenção, prática e mensuração no campo da logística verde, contribuindo de forma efetiva para o avanço da sustentabilidade industrial na Amazônia e além dela.

## REFERÊNCIAS

- AHI, P.; SEARCY, C. A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, v. 52, p. 329-341, 2013.
- AGYABENG-MENSAH, Yaw; AFUM, Ebenezer; AHENKORAH, Esther. Exploring financial performance and green logistics management practices: Examining the mediating influences of market, environmental and social performances. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, p. 1-13, 2020.
- ALBEKOV, Adam Umarovich; PARKHOMENKO, Tatyana V.; POLUBOTKO, A. A. Green logistics in Russia: the phenomenon of progress, economic and environmental security. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GREEN ECONOMY, 1., 2017, Svetlogorsk. **Proceedings** [...]. Amsterdam: Atlantis Press, 2017. p. 20-24.
- AL-MINHAS, Usman; NDUBISI, Nelson Oly; BARRANE, Fatima Zahra. Corporate environmental management: a review and integration of green human resource management and green logistics. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 31, n. 6, p. 1437-1460, 2020.
- ANASTAS, Paul T.; ZIMMERMAN, Julie B. The twelve principles of green engineering as a foundation for sustainability. In: ABRAHAM, M. (ed.). **Sustainability Science and Engineering**. Amsterdam: Elsevier, 2006. p. 11-32.
- ARNETTE, Andrew N.; BREWER, Barry L.; CHOAL, Tyler. Design for sustainability (DFS): the intersection of supply chain and environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 83, p. 374-390, 2014.
- ASIF, Mugammad Salman et al. Adoption of green supply chain management practices through collaboration approach in developing countries – From literature review to conceptual framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 276, p. 1-17, 2020.
- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: planejamento, organização e logística empresarial. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BESKE, P.; SEURING, S. Putting sustainability into supply chain management. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 19, n. 3, p. 322-331, 2014.
- BJÖRKLUND, Maria; MARTINSEN, Uni; ABRAHAMSSON, Mats. Performance measurements in the greening of supply chains. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 17, n. 1, p. 29-39, 2012.
- BOURAHILI, Abdelkader. **Modelo de avaliação de desempenho logístico hospitalar**. 2019. 243 f. Tese (Doutorado em Transportes) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). **Relatório do Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa: 1990–2022**. Brasília: MCTI, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti>. Acesso em: 17 abr. 2025.

BUHL, Anke et al. Design thinking for sustainability: why and how design thinking can foster sustainability-oriented innovation development. **Journal of Cleaner Production**, v. 231, p. 1248-1257, 2019.

CENTOBELLI, P.; CERCHIONE, R.; ESPOSITO, E. Evaluating environmental sustainability strategies in freight transport and logistics industry. **Business Strategy and the Environment**, v. 29, n. 3, p. 1563-1574, 2020.

CERVANTES, David et al. Using indicators as a tool to evaluate urban solid waste management: a critical review. **Waste Management**, v. 80, p. 51-63, 2018.

CHRISTOPHER, Martin. **Logistics & supply chain management**. 6. ed. New York: Pearson, 2016.

COALIZAÇÃO PARA A DESCARBONIZAÇÃO DOS TRANSPORTES; SEEG. **Estudo de redução de emissões de gases de efeito estufa do setor de transportes no Brasil**. Brasília: MoveInfra, 2024. Disponível em: <https://www.moveinfra.org.br>. Acesso em: 10 de maio. 2025.

CRICELLI, Livio; GRECO, Marco; GRIMALDI, Michele. A conceptual framework for assessing the value creation of reverse logistics. **Journal of Cleaner Production**, v. 230, p. 1314–1325, 2019.

CRICELLI, Livio; GRECO, Marco; GRIMALDI, Michele. An investigation on the effect of inter-organizational collaboration on reverse logistics. **International Journal of Production Economics**, v. 240, p. 1-11, 2021.

DAVID, B. Grant et al. **Sustainable logistics and supply chain management**. London: Kogan Page, 2021.

DING, Xiaohan; LIU, Nan. Effects of pricing schemes and platform types on platform-based logistics services. **Electronic Commerce Research and Applications**, v. 26, p. 1-17, 2022.

DOMÍNGUEZ, Eladio et al. A taxonomy for key performance indicators management. **Computer Standards & Interfaces**, v. 64, p. 24-40, 2019.

DONG, Ciwei et al. Logistics outsourcing: effects of greenwashing and blockchain technology. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 170, p. 1-24, 2023.

ENGELAGE, Emanuele; BORGERT, Altair; SOUZA, Marcos Antonio de. Práticas de green logistic: uma abordagem teórica sobre o tema. **Journal of Environmental Management and Sustainability – JEMS**, v. 5, n. 3, p. 36-54, 2016.

FULFILLMENT HUB USA. **Green Logistics: Challenges and Opportunities for 2023**. Miami, 2023. Disponível em: <https://fulfillmenthubusa.com/green-logistics-challenges-opportunities-2023/>. Acesso em: 10 maio 2025.

GASNIER, Daniel Georges. **A dinâmica dos estoques**. São Paulo: IMAN, 2009.

GEISSDOERFER, Martin et al. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

GENG, R.; MANSOURI, S. A.; AKTAS, E. The relationship between green supply chain management and performance: a meta-analysis of empirical evidences in Asian emerging economies. **International Journal of Production Economics**, v. 183, p. 245-258, 2017.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE. **GRI Universal Standards 2021**. Amsterdam: GRI, 2021.

GONG, Ruifeng et al. A bibliometric analysis of green supply chain management based on the Web of Science (WOS) platform. **Sustainability**, v. 11, n. 12, p. 3459, 2019.

GOVINDAN, Kannan et al. Eco-efficiency based green supply chain management: current status and opportunities. **European Journal of Operational Research**, v. 233, n. 2, p. 293-298, 2014.

GOVINDAN, Kannan et al. Fuzzy multi-criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 16-30, 2015.

GUZMAN-URBINA, Alexander et al. FIEMA, a system of fuzzy inference and emission analytics for sustainability-oriented chemical process design. **Applied Soft Computing**, v. 126, p. 109295, 2022.

HERTIN, J. et al. Rationalising environmental policy: the role of performance indicators in the policy process. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 51, n. 5, p. 663-679, 2008.

HERVANI, Aref; HELMS, Marilyn; SARKIS, Joseph. Performance measurement for green supply chain management. **Benchmarking: An International Journal**, v. 12, n. 4, p. 330-353, 2005.

JEBLE, Shirish et al. Impact of big data and predictive analytics capability on supply chain sustainability. **The International Journal of Logistics Management**, v. 29, n. 2, p. 513-538, 2018.

KHAN, Syed Abdul Rehman; ZHANG, Yu; NATHANIEL, Solomon. Green supply chain performance and environmental sustainability: a panel study. **LogForum**, v. 16, n. 1, p. 141-159, 2020.

KRAJNC, Damjan; GLAVIC, Peter. A model for integrated assessment of sustainable development. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 43, n. 2, p. 189-208, 2005.

KUMAR, Anup et al. Sustainable supply chain management, performance measurement, and management: a review. **Sustainability**, v. 15, n. 6, p. 5290, 2023.

LAM, H. Y. et al. A knowledge-based logistics operations planning system for mitigating risk in warehouse order fulfillment. **International Journal of Production Economics**, v. 170, p. 763-779, 2015.

MAJI, Ibrahim Kabiru; SAUDI, Nur Surayya Mohd; YUSUF, Muhammad. An assessment of green logistics and environmental sustainability: evidence from Bauchi. **Cleaner Logistics and Supply Chain**, v. 6, p. 1-7, 2023.

MANGAN, John; LALWANI, Chandra; CALATAYUD, Agustina. **Global logistics and supply chain management**. 3. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2020.

MATUSIEWICZ, Maria; KSIAZKIEWICZ, Dorota. Shared logistics - literature review. **Applied Sciences**, v. 13, n. 8, p. 1-20, 2023.

MCKINNON, Alan C. **Decarbonizing logistics**: distributing goods in a low-carbon world. London: Kogan Page Publishers, 2018.

MCKINNON, Alan et al. (ed.). **Green logistics**: improving the environmental sustainability of logistics. 3. ed. London: Kogan Page, 2015.

MÖLLER, A.; SCHALTEGGER, S. The Balanced Scorecard as a framework for sustainability management and communication. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 12, n. 4, p. 209-221, 2005.

NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. Performance measurement system design: a literature review and research agenda. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n. 12, p. 1228-1263, 2005.

NGUYEN, H. P. Sustainable development of logistics in vietnam in the period 2020-2025. **International Journal of Innovation, Creativity and Change**, v. 11, n. 3, p. 543-558, 2020.

NO, Jiseong; KIM, Jong Soo. Cooperative green supply chain management with greenhouse gas emissions and fuzzy demand. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 1421-1435, 2019.

NOVAES, Antônio G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**: estratégia, operação e avaliação. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

OREFICE, Giovanna Felicio; IIZUKA, Edson Sadao. Modelos de mensuração de sustentabilidade: análise exploratória com profissionais e acadêmicos. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 19., 2017, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ENGEMA, 2017.

PERERVA, Petro et al. Economic substantiation of outsourcing the information technologies and logistic services in the intellectual and innovative activities of an enterprise. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, v. 4, n. 13 (112), p. 6-14, 2021.

PICANÇO, A. G. da S. **Entraves logísticos no Polo Industrial de Manaus**: estudo de caso em empresa automobilística. *Revista Gestão e Secretariado (GeSec)*, v. 14, n. 4, 2023, p. 6071-6089

PILLAY, Kubeshree; MBHELE, Thokozani Patmond. The challenges of green logistics in the Durban road freight industry. **Environmental Economics**, v. 6, n. 1, p. 64-73, 2015.

PRAJAPATI, D.; KANT, R.; SHANKAR, Ravi. Bequeath life to death: state-of-art review on reverse logistics. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 503-520, 2019.

RAD, Sevgi Tüzün; GÜLMEZ, Yavuz Selim. Green logistics for sustainability. **International Journal of Management Economics and Business**, v. 13, n. 3, p. 603-614, 2017.

RIGAMONTI, Lucia; STERPI, Irene; GROSSO, Mario. Integrated municipal waste management systems: an indicator to assess their environmental and economic sustainability. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 1-7, 2016.

ROCHA, Cristina Sousa; ANTUNES, Paula; PARTIDÁRIO, Paulo. Design for sustainability models: a multiperspective review. **Journal of Cleaner Production**, v. 234, p. 1428-1445, 2019.

ROGERS, Dale S.; TIBBEN-LEMBKE, Ronald S. Reverse logistics: stratégies et techniques. **Logistique & Management**, v. 7, n. 2, p. 15-25, 1999.

ROMA, Júlio César. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. **Ciência e Cultura**, v. 71, n. 1, p. 33-39, 2019.

SAJID, Muhammad Jawad et al. A methodologically sound survey of Chinese consumers' willingness to participate in courier, express, and parcel companies' green logistics. **PLoS ONE**, v. 16, n. 7, p. e0255532, 2021.

SANTOS, Daniel Medina Corrêa; MEDEIROS, Thiago A. Desenvolvimento sustentável e agenda 21 brasileira. **Ciência Atual**, v. 15, n. 1, p. 10-27, 2020.

SANTOS, Jaqueline Silva et al. Logística verde: conceituação e direcionamentos para aplicação. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 950-964, mai./ago. 2015.

SARKIS, Joseph; MEADE, Laura; TALLURI, Srinivas. E-logistics and the natural environment. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 9, n. 4, p. 303-312, 2004.

SAUNDERS, Mark. N. K.; LEWIS, Philip; THORNHILL, Adrian. **Research methods for business students**. 8. ed. New York: Pearson, 2019.

SEARCY, C. Corporate sustainability performance measurement systems: a review and research agenda. **Journal of Business Ethics**, v. 107, n. 3, p. 239-253, 2012.

SEGRETI, João Bosco; MONDINI, Luiz Carlos; FARBER, João Carlos. A importância da gestão estratégica de custos logísticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 11., 2004, Porto Seguro. **Anais [...]**. São Leopoldo: ABC, 2004. p. 1-19.

SEURING, Stefan; MÜLLER, Martin. Core issues in sustainable supply chain management—A Delphi study. **Business Strategy and the Environment**, v. 17, n. 8, p. 455-466, 2008.

SPANGENBERG, Joachim H.; FUAD-LUKE, Alastair; BLINCOE, Karen. Design for Sustainability (DfS): the interface of sustainable production and consumption. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 15, p. 1485-1493, 2010.

SUFRAMA. Resumo de Indicadores do Polo Industrial de Manaus – Outubro/2024. Manaus: SUFRAMA, 2024. Disponível em: [https://www.gov.br/suframa/pt-br/centrais-de-conteudo/indicadores/2024/IndicaOUT24\\_Resumo](https://www.gov.br/suframa/pt-br/centrais-de-conteudo/indicadores/2024/IndicaOUT24_Resumo). Acesso em: 10 abr. 2025.

SUFRAMA. Resumo de Indicadores do Polo Industrial de Manaus – Junho/2025. Manaus: SUFRAMA, 2025. Disponível em: [https://www.gov.br/suframa/pt-br/centrais-de-conteudo/indicadores/2025/IndicaJUN25\\_Resumo](https://www.gov.br/suframa/pt-br/centrais-de-conteudo/indicadores/2025/IndicaJUN25_Resumo). Acesso em: 17 jul. 2025.

ZAMAGNI, A. et al. Applying LCA to complex production systems: a review. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 17, n. 5, p. 551-565, 2012.