

MARCELO SOARES ARYDES GOMES

**CADEIAS DE SUPRIMENTOS INTELIGENTES NA INDÚSTRIA 5.0:
DESENVOLVIMENTO DE UM ARTEFATO DIAGNÓSTICO BASEADO
NO SCOR-DS**

**(SMART SUPPLY CHAINS IN INDUSTRY 5.0: DEVELOPMENT OF A
SCOR-DS-BASED DIAGNOSTIC ARTIFACT)**

**TRABALHO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
APRESENTADO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL
DA PUC-RIO, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE BACHAREL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Orientador: Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado

**Departamento de Engenharia Industrial
Rio de Janeiro, 08 de Julho de 2026**

RESUMO

A transformação digital das cadeias de suprimentos tem ampliado o debate sobre operações mais inteligentes, resilientes, sustentáveis e centradas no ser humano. Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo desenvolver, refinar e aplicar de forma exploratória uma taxonomia analítica de Operations and Supply Chain Management (OSCM) inteligente baseada no SCOR-DS, operacionalizada por meio de um grid de maturidade e de uma ferramenta diagnóstica. O estudo adotou uma abordagem qualitativa e exploratória, fundamentada na Design Science Research, combinando revisão de escopo, construção teórica da taxonomia, avaliação inicial do grid por especialistas e aplicação empírica em quatro organizações de diferentes setores: transporte coletivo, mineração, indústria alimentícia e varejo supermercadista. A taxonomia proposta articula os sete processos do SCOR-DS — Orchestrate, Plan, Order, Source, Transform, Fulfill e Return — com meta-dimensões associadas à arquitetura do artefato, infraestrutura digital, capacidades de valor da Indústria 5.0, dinâmica sistêmica, orquestração de recursos e desempenho.

Como resultado, foi desenvolvido o OSCM Maturity Analyser, uma interface diagnóstica com apoio de IA generativa para organizar evidências qualitativas, sugerir classificações de maturidade, justificar avaliações, indicar força da evidência e gerar caminhos de melhoria. O grid final foi estruturado em cinco níveis de maturidade: N1 Inicial, N2 Em desenvolvimento, N3 Estruturado, N4 Integrado e N5 Adaptativo/benchmark. Os resultados indicaram que as organizações analisadas ainda se encontram em trajetórias de transição para OSCM inteligente, sem ocorrência de N4 ou N5 nas células avaliadas. Observou-se que a maturidade não depende apenas da adoção de tecnologias digitais, mas da integração entre processos, dados, pessoas, governança, aprendizagem e geração de valor. O trabalho contribui teoricamente ao integrar SCOR-DS, Indústria 5.0, Complex Adaptive Systems e Resource Orchestration Theory em um artefato diagnóstico, e contribui praticamente ao oferecer uma ferramenta aplicável para avaliação de maturidade e apoio à construção de roadmaps de evolução em cadeias de suprimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Cadeias de suprimentos inteligentes; SCOR-DS; Indústria 5.0; Maturidade; IA generativa.

ABSTRACT

The digital transformation of supply chains has expanded the debate on smarter, more resilient, sustainable, and human-centric operations. In this context, this research aimed to develop, refine, and exploratorily apply an analytical taxonomy of intelligent Operations and Supply Chain Management (OSCM) based on SCOR-DS, operationalized through a maturity grid and a diagnostic tool. The study adopted a qualitative and exploratory approach grounded in Design Science Research, combining a scoping review, theoretical construction of the taxonomy, initial expert evaluation of the maturity grid, and empirical application in four organizations from different sectors: public transportation, mining, food manufacturing, and grocery retail. The proposed taxonomy connects the seven SCOR-DS processes — Orchestrate, Plan, Order, Source, Transform, Fulfill, and Return — with meta-dimensions related to artifact architecture, digital infrastructure, Industry 5.0 value capabilities, systemic dynamics, resource orchestration, and performance.

As a result, the OSCM Maturity Analyser was developed as a diagnostic interface supported by generative AI to organize qualitative evidence, suggest maturity classifications, justify assessments, indicate evidence strength, and generate improvement paths. The final maturity grid was structured into five levels: N1 Initial, N2 Developing, N3 Structured, N4 Integrated, and N5 Adaptive/benchmark. The findings indicate that the analyzed organizations are still in transition toward intelligent OSCM, with no occurrence of N4 or N5 in the evaluated cells. The results show that maturity does not depend solely on the adoption of digital technologies, but on the integration of processes, data, people, governance, learning, and value creation. This research contributes theoretically by integrating SCOR-DS, Industry 5.0, Complex Adaptive Systems, and Resource Orchestration Theory into a diagnostic artifact, and contributes practically by providing an applicable tool for maturity assessment and roadmap development in supply chains.

KEYWORDS: Intelligent supply chains; SCOR-DS; Industry 5.0; Maturity; Generative AI.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	9
1.2	MOTIVAÇÃO DA PESQUISA	9
1.3	GAPS E LACUNAS	11
1.4	PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.5	QUESTÕES DE PESQUISA	13
1.6	OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.7	CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS, PRÁTICAS E METODOLÓGICAS	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	OSCM INTELIGENTE, SCOR-DS E DESEMPENHO.....	15
2.2	INDUSTRY 5.0 COMO CAMADA TRANSVERSAL DE VALOR.....	16
2.3	COMPLEX ADAPTIVE SYSTEMS (CAS).....	18
2.4	RESOURCE ORCHESTRATION THEORY (ROT).....	19
2.5	MODELO CONCEITUAL PRELIMINAR.....	20
3	METODOLOGIA	23
3.1	ABORDAGEM GERAL E DESENHO DA PESQUISA	23
3.2	REVISÃO DE ESCOPO	24
3.3	CONSTRUÇÃO DA TAXONOMIA ANALÍTICA	26
3.4	VALIDAÇÃO TEÓRICA DA TAXONOMIA ANALÍTICA	27
3.5	CONSTRUÇÃO DO GRID DE MATURIDADE	28
3.6	VALIDAÇÃO DO GRID DE MATURIDADE POR ESPECIALISTAS	29
3.7	APLICAÇÃO EXPLORATÓRIA EM CONTEXTO EMPRESARIAL	30
3.7.1	JUSTIFICATIVA DO MÉTODO.....	30
3.7.2	SELEÇÃO DAS EMPRESAS PARTICIPANTES	31
3.7.3	PERFIS DOS ENTREVISTADOS E TIPO DE AMOSTRA.....	32
3.7.4	COLETA DE DADOS E ROTEIRO DE ENTREVISTAS	33
3.8	PROTOCOLO DE CODIFICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DAS EVIDÊNCIAS	34
3.9	DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DIAGNÓSTICA.....	35
3.10	CRITÉRIOS DE QUALIDADE, ÉTICA E LÓGICA DO REFINAMENTO	36
4	PROPOSTA DA TAXONOMIA E DO GRID DE MATURIDADE	38
4.1	ESTRUTURA DA TAXONOMIA	38
4.2	DESCRIÇÃO DETALHADA POR PROCESSO.....	40
4.2.1	ORCHESTRATE	40
4.2.2	PLAN.....	40

4.2.3	ORDER.....	41
4.2.4	SOURCE.....	41
4.2.5	TRANSFORM	41
4.2.6	FULFILL.....	42
4.2.7	RETURN.....	42
4.3	MATRIZ PROCESSO X PERFORMANCE (7X8).....	42
4.4	FRAMEWORK INTEGRADO	43
4.5	GRID DE MATURIDADE E OPERACIONALIZAÇÃO DIAGNÓSTICA DA TAXONOMIA.....	44
5	APLICAÇÃO EMPÍRICA DO ARTEFATO DIAGNÓSTICO	48
5.1	PREPARAÇÃO DAS EVIDÊNCIAS DAS ENTREVISTAS	48
5.2	APLICAÇÃO DO OSCM MATURITY ANALYSER	49
5.3	CRITÉRIOS DE LEITURA DOS RESULTADOS	49
5.4	DIAGNÓSTICOS DAS ORGANIZAÇÕES	51
5.4.1	GRUPO RIO ITA	51
5.4.2	TAMOIO MINERAÇÃO	54
5.4.3	GRANFINO	57
5.4.4	SUPERMERCADO FEIRA NOVA	60
5.5	ANÁLISE COMPARATIVA (CROSS-CASE) E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	64
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
	REFERÊNCIAS.....	72
	APÊNDICE A – ELEMENTOS CONCEITUAIS COMPLEMENTARES	76
	APÊNDICE B – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	79
	APÊNDICE C – TAXONOMIA EXPANDIDA E INSTRUMENTOS DE APLICAÇÃO	91

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Modelo conceitual preliminar da taxonomia analítica de OSCM inteligente baseada no SCOR-DS	22
Figura 3.1 - Desenho metodológico da pesquisa e desenvolvimento do artefato diagnóstico baseado em DSR.....	24
Figura 5.1 - Síntese visual do diagnóstico do Grupo Rio Ita.....	53
Figura 5.2 - Síntese visual do diagnóstico da Tamoio Mineração.....	56
Figura 5.3 - Síntese visual do diagnóstico da Granfino.....	59
Figura 5.4 - Síntese visual do diagnóstico do Supermercado Feira Nova.....	62
Figura A.1 - Estrutura conceitual preliminar da taxonomia de OSCM inteligente na era da Indústria 5.0.....	76
Figura A.2 - Indústria 5.0 como camada transversal de valor sobre os processos do SCOR-DS.	77
Figura B.1 - Fluxo de seleção dos documentos da revisão de escopo.....	79

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Processos do SCOR-DS, papel no OSCM inteligente e nível hierárquico.....	15
Tabela 2.2 - Síntese comparativa entre Supply Chain 4.0 e Supply Chain 5.0.....	17
Tabela 3.1 - Caracterização dos casos e dos informantes da aplicação exploratória.....	34
Tabela 4.1 - Síntese da taxonomia analítica de OSCM inteligente baseada no SCOR-DS.....	40
Tabela 4.2 - Matriz processo x performance da taxonomia analítica proposta.....	43
Tabela 4.3 - Níveis do grid de maturidade para aplicação da taxonomia de OSCM 5.0 baseada no SCOR-DS.....	45
Tabela 4.4 - Exemplos de aplicação do grid de maturidade de cinco níveis por processo e meta-dimensão.....	46
Tabela 5.1 - Score final e nível agregado de maturidade por processo do Grupo Rio Ita.....	52
Tabela 5.2 - Score final e nível agregado de maturidade por processo da Tamoio Mineração.....	55
Tabela 5.3 - Score final e nível agregado de maturidade por processo da Granfino.....	58
Tabela 5.4 - Score final e nível agregado de maturidade por processo do Supermercado Feira Nova.....	61
Tabela 5.5 - Síntese comparativa dos diagnósticos das organizações.....	64
Tabela A.1 - Bases teóricas e analíticas da taxonomia proposta.....	76
Tabela A.2 - Atributos de performance primários por processo SCOR-DS.....	77
Tabela A.3 - Construtos centrais de CAS e sua aplicação aos processos SCOR-DS.....	78
Tabela A.4 - Mecanismos de ROT e sua distribuição predominante nos processos do SCOR-DS.....	78
Tabela B.1 - Estrutura de extração de dados da revisão de escopo.....	79
Tabela B.2 - Dimensões analíticas utilizadas na construção da V1.....	80
Tabela B.3 - Procedimentos de validação teórica da estrutura analítica.....	80
Tabela B.4 - Critérios de inclusão e exclusão da revisão de escopo.....	81
Tabela B.5 - Síntese dos feedbacks da validação por especialistas e decisões de refinamento do artefato.....	90
Tabela C.1 – Taxonomia expandida (Parte 1).....	91
Tabela C.2 - Taxonomia expandida (Parte 2).....	91
Tabela C.3 - Taxonomia expandida (Parte 3).....	92

Tabela C.4 - Base conceitual utilizada na construção do grid de maturidade.....	92
Tabela C.5 - Grid completo de maturidade – Orchestrate (Parte 1).....	93
Tabela C.6 - Grid completo de maturidade – Orchestrate (Parte 2).....	94
Tabela C.7 - Grid completo de maturidade – Plan (Parte 1).....	95
Tabela C.8 - Grid completo de maturidade – Plan (Parte 2).....	96
Tabela C.9 - Grid completo de maturidade – Order (Parte 1).....	97
Tabela C.10 - Grid completo de maturidade – Order (Parte 2).....	98
Tabela C.11 - Grid completo de maturidade – Source (Parte 1).....	99
Tabela C.12 - Grid completo de maturidade – Source (Parte 2).....	100
Tabela C.13 - Grid completo de maturidade – Transform (Parte 1).....	101
Tabela C.14 - Grid completo de maturidade – Transform (Parte 2).....	102
Tabela C.15 - Grid completo de maturidade – Fulfill (Parte 1).....	103
Tabela C.16 - Grid completo de maturidade – Fulfill (Parte 2).....	104
Tabela C.17 - Grid completo de maturidade – Return (Parte 1).....	105
Tabela C.18 - Grid completo de maturidade – Return (Parte 2).....	106
Tabela C.19 - Critérios de conversão das evidências empíricas em níveis de maturidade.....	107

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A crescente complexidade das operações e cadeias de suprimentos tem intensificado a busca por modelos de gestão capazes de integrar desempenho operacional, transformação digital, resiliência, sustentabilidade e capacidade adaptativa. Em ambientes marcados por maior interdependência entre atores, propagação de perturbações, variabilidade de demanda e necessidade de resposta rápida, cadeias de suprimentos deixam de poder ser tratadas como arranjos lineares e plenamente controláveis, aproximando-se de sistemas dinâmicos e complexos (CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001; PADOVANO; IVANOV, 2025).

Essa transformação ganha novos contornos com a consolidação do debate sobre Indústria 5.0. Diferentemente da lógica predominante da Indústria 4.0, associada à conectividade, automação e exploração intensiva de dados, a Indústria 5.0 reposiciona a transformação industrial em torno de princípios como centralidade humana, sustentabilidade, resiliência e viabilidade sistêmica (IVANOV, 2023; WANG et al., 2022; HINES et al., 2025). Nessa perspectiva, a adoção de tecnologias deixa de ser entendida como finalidade em si mesma e passa a ser avaliada por sua contribuição à criação de sistemas produtivos e logísticos mais inteligentes, responsáveis e adaptativos (WANG et al., 2022; HINES et al., 2025; XIA et al., 2026).

No campo de Operations and Supply Chain Management (OSCM), essa mudança exige estruturas analíticas capazes de articular processos, tecnologias, pessoas, capacidades organizacionais e desempenho em uma leitura end-to-end da cadeia. Nesse sentido, o Supply Chain Operations Reference Digital Standard 2025 (SCOR-DS 2025), modelo de referência voltado à análise e melhoria de processos da cadeia de suprimentos, oferece uma base relevante ao organizar a cadeia em sete processos — Orchestrate, Plan, Order, Source, Transform, Fulfill e Return —, mas ainda demanda complementação teórica para explicar como recursos, capacidades e tecnologias se combinam para gerar valor, vantagem competitiva e maturidade organizacional na era da Indústria 5.0 (ASCM, 2025; IVANOV, 2023; SIRMON; HITT; IRELAND, 2007).

1.2 MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

A relevância desta pesquisa decorre do fato de que a literatura recente em operações e cadeias de suprimentos avançou significativamente em temas como analytics, inteligência

artificial, visibilidade, rastreabilidade, automação, reconfigurabilidade e sustentabilidade. Estudos sobre planejamento e apoio à decisão têm explorado o uso de analytics, simulação e ferramentas data-driven para melhorar decisões produtivas (FANI et al., 2023), enquanto pesquisas sobre MES/MOM destacam a integração entre sistemas, dados operacionais e processos da cadeia de suprimentos (MANTRAVADI; SRAI; MØLLER, 2023). Outros estudos discutem tecnologias como blockchain e visibilidade logística como mecanismos para ampliar rastreabilidade, transparência e coordenação em processos de compras, transporte e distribuição (GOVINDAN et al., 2024; CALLEFI et al., 2024). Em paralelo, a discussão sobre Indústria 5.0 amplia esse debate ao incorporar princípios como centralidade humana, sustentabilidade, resiliência e viabilidade sistêmica (FREDERICO, 2021; IVANOV, 2023; WANG et al., 2022; HINES et al., 2025).

Apesar desses avanços, muitos desses temas ainda aparecem de forma fragmentada. Há estudos que privilegiam tecnologias específicas sem ancorá-las em uma estrutura processual clara; outros relacionam digitalização e desempenho sem explicitar suficientemente os mecanismos pelos quais recursos se convertem em capacidades e estas em vantagem competitiva; e outros concentram-se em aspectos relacionais, sustentáveis ou operacionais sem integrá-los adequadamente em um mesmo modelo explicativo. Essa fragmentação torna-se especialmente problemática quando o objetivo não é apenas descrever iniciativas de transformação, mas compreender como elas podem gerar vantagem competitiva. Nesse sentido, a Resource Orchestration Theory contribui para explicar como recursos são estruturados, combinados e alavancados para gerar valor (SIRMON; HITT; IRELAND, 2007), enquanto a lente de Complex Adaptive Systems permite interpretar cadeias de suprimentos como redes interdependentes, adaptativas e sujeitas a efeitos emergentes (CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001).

Em termos práticos, empresas frequentemente implementam soluções relevantes em planejamento, sourcing, manufatura, logística, visibilidade ou circularidade, mas sem um vocabulário estruturado que permita comparar iniciativas, definir escopo, priorizar investimentos ou avaliar coerentemente seus efeitos ao longo dos processos da cadeia. Abordagens taxonômicas são úteis para organizar fenômenos complexos em categorias comparáveis (NICKERSON; VARSHNEY; MUNTERMANN, 2013; WEKING et al., 2020), enquanto modelos de maturidade apoiam a avaliação de trajetórias de evolução organizacional e a construção de roadmaps de transformação (DE CAROLIS et al., 2025; GRÜTZNER; BREITNER, 2025). Dessa forma, a proposta de uma taxonomia analítica de OSCM 5.0 baseada

no SCOR-DS torna-se pertinente não apenas como exercício classificatório, mas como base para uma ferramenta de diagnóstico de maturidade voltada a apoiar empresas na evolução para cadeias mais inteligentes, sustentáveis, resilientes e competitivas.

1.3 GAPS E LACUNAS

A primeira lacuna é conceitual. Embora a Indústria 5.0 já esteja associada a pilares como centralidade humana, sustentabilidade, resiliência e viabilidade, sua tradução específica para operações e cadeias de suprimentos ainda carece de maior consolidação analítica. A literatura discute a transição da Supply Chain 4.0 para a Supply Chain 5.0 e reforça a importância desses novos princípios de valor, mas eles ainda aparecem com pouca integração aos processos concretos de OSCM (FREDERICO, 2021; IVANOV, 2023; WANG et al., 2022; HINES et al., 2025).

A segunda lacuna é processual e integrativa. O SCOR-DS fornece uma espinha dorsal valiosa ao organizar a cadeia em torno de processos, práticas, pessoas e desempenho (ASCM, 2025). No entanto, ainda são escassos os estudos que utilizam essa estrutura como base para uma taxonomia ou framework capaz de incorporar, de forma integrada, tecnologias habilitadoras, princípios da Indústria 5.0, dinâmicas de adaptação e mecanismos de orquestração de recursos. Parte da literatura aplicada avança em temas específicos, como planejamento data-driven, MES/MOM, blockchain, visibilidade logística e circularidade, mas sem consolidá-los em uma estrutura processual comum (FANI et al., 2023; MANTRAVADI; SRAI; MØLLER, 2023; GOVINDAN et al., 2024; CALLEFI et al., 2024; CANNAS et al., 2025).

A terceira lacuna é explicativa. Parte importante da literatura descreve tecnologias, práticas e casos aplicados, mas dedica menor atenção aos mecanismos pelos quais esses elementos se convertem em desempenho e vantagem competitiva. Nesse sentido, a articulação entre sistemas adaptativos complexos e orquestração de recursos pode ampliar a compreensão sobre como cadeias inteligentes geram valor, ao conectar interdependência, adaptação, recursos, capacidades e desempenho ao longo dos processos da cadeia (CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001; SIRMON; HITT; IRELAND, 2007).

A quarta lacuna é metodológica e instrumental. Ainda há espaço para pesquisas que transformem a organização conceitual da literatura em estruturas de avaliação de maturidade capazes de apoiar o diagnóstico gerencial e a priorização de melhorias. Também são limitadas as aplicações empíricas desses instrumentos em organizações brasileiras, cujas trajetórias de

digitalização, integração de processos e absorção tecnológica podem variar conforme porte, setor e contexto institucional. Neste trabalho, o contexto brasileiro é tratado como ambiente de aplicação exploratória, sem implicar a redefinição dos níveis de maturidade ou a proposição de um benchmark nacional. Abordagens taxonômicas e modelos de maturidade podem contribuir para organizar fenômenos complexos, avaliar trajetórias de evolução e apoiar roadmaps de transformação (NICKERSON; VARSHNEY; MUNTERMANN, 2013; WEKING et al., 2020; DE CAROLIS et al., 2025; GRÜTZNER; BREITNER, 2025).

Em conjunto, essas lacunas ajudam a justificar o problema de pesquisa, pois indicam a necessidade de uma estrutura capaz de articular processos SCOR-DS, princípios da Indústria 5.0, dinâmicas sistêmicas, mecanismos de orquestração de recursos e critérios de maturidade em um mesmo artefato diagnóstico.

1.4 PROBLEMA DE PESQUISA

Diante das lacunas apresentadas, observa-se que ainda não está suficientemente claro como os elementos que caracterizam OSCM 5.0 podem ser organizados de forma integrada e aplicável à avaliação de empresas. Apesar da crescente valorização de cadeias de suprimentos inteligentes, parte da literatura ainda enfatiza tecnologias digitais, automação, analytics e conectividade, enquanto outra parte destaca centralidade humana, sustentabilidade, resiliência e viabilidade sistêmica como princípios da Indústria 5.0 (FREDERICO, 2021; IVANOV, 2023; WANG et al., 2022; HINES et al., 2025). No entanto, esses elementos aparecem frequentemente de forma fragmentada, dificultando sua articulação em uma estrutura analítica capaz de apoiar diagnósticos de maturidade.

Esse problema é relevante porque a transição para OSCM 5.0 não depende apenas da adoção de tecnologias, mas da capacidade de combinar processos, dados, recursos, competências humanas, mecanismos de coordenação e objetivos de desempenho. Redes de suprimento podem ser compreendidas como sistemas adaptativos complexos, nos quais interdependências, feedbacks, adaptação e emergência influenciam o desempenho da cadeia (CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001). Além disso, a geração de vantagem competitiva depende da forma como recursos tangíveis, intangíveis, digitais e humanos são estruturados, combinados e alavancados ao longo do tempo (SIRMON; HITT; IRELAND, 2007).

Assim, o problema central desta pesquisa consiste em compreender como os elementos de OSCM 5.0 podem ser articulados em uma estrutura analítica baseada no SCOR-DS, capaz de

conectar processos, tecnologias, capacidades de valor, dinâmicas sistêmicas, orquestração de recursos e desempenho em uma lógica aplicável ao diagnóstico de maturidade organizacional.

1.5 QUESTÕES DE PESQUISA

A partir do problema de pesquisa apresentado, esta pesquisa se estrutura a partir de duas questões complementares:

QP1: Quais elementos caracterizam a gestão de operações e cadeias de suprimentos 5.0 (OSCM 5.0) e como esses elementos se diferenciam da lógica predominante da Supply Chain 4.0?

QP2: Como esses elementos podem ser combinados e operacionalizados em uma estrutura analítica, grid de maturidade e ferramenta diagnóstica para avaliar qualitativamente a maturidade de empresas rumo ao OSCM 5.0 e apoiar a análise da geração de valor e vantagem competitiva em organizações brasileiras?

A primeira questão orienta a identificação dos elementos conceituais de OSCM 5.0, enquanto a segunda orienta a construção, o refinamento, a validação e a aplicação exploratória da taxonomia no formato de grid de maturidade e ferramenta diagnóstica. A referência às organizações brasileiras diz respeito ao contexto empírico de aplicação do artefato, sem pressupor a definição de níveis de maturidade específicos para o país.

1.6 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver, refinar e aplicar de modo exploratório uma taxonomia analítica de OSCM inteligente baseada no SCOR-DS, operacionalizada em grid de maturidade e ferramenta diagnóstica, com o propósito de apoiar a avaliação qualitativa de empresas rumo a operações mais inteligentes, sustentáveis, resilientes e competitivas na era da Indústria 5.0.

De forma específica, a pesquisa busca:

- a) identificar os elementos que caracterizam OSCM 5.0 e que o diferenciam da lógica predominante da Supply Chain 4.0;
- b) propor uma taxonomia analítica baseada no SCOR-DS, articulando processos, tecnologias habilitadoras, capacidades associadas à Indústria 5.0, dinâmica sistêmica, orquestração de recursos e atributos de desempenho;
- c) refinar e validar a taxonomia, aplicando-a no formato de grid de maturidade e ferramenta diagnóstica para avaliação qualitativa de empresas.

1.7 CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS, PRÁTICAS E METODOLÓGICAS

Do ponto de vista teórico, a principal contribuição do trabalho consiste em sistematizar os elementos que caracterizam OSCM 5.0 e diferenciá-los da lógica predominante da Supply Chain 4.0, articulando SCOR-DS, Indústria 5.0, Complex Adaptive Systems (CAS) e Resource Orchestration Theory (ROT) em uma mesma estrutura analítica (ASCM, 2025; IVANOV, 2023; CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001; SIRMON; HITT; IRELAND, 2007).

Do ponto de vista prático, o trabalho oferece uma estrutura de apoio ao diagnóstico de maturidade, permitindo que organizações avaliem sua posição em relação aos elementos de OSCM 5.0 e identifiquem lacunas, prioridades e caminhos de evolução. A aplicação em quatro organizações brasileiras de setores distintos demonstra, de forma exploratória, a utilidade do artefato em contextos organizacionais heterogêneos, sem propor um benchmark nacional ou uma calibração específica por setor. A interpretação dos resultados considera as características operacionais de cada caso, mantendo os níveis de maturidade ancorados na base conceitual do trabalho (DE CAROLIS et al., 2025; GRÜTZNER; BREITNER, 2025).

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa combina revisão de escopo, construção taxonômica, validação teórica, avaliação por especialistas e aplicação exploratória em contexto empresarial. Além disso, propõe a operacionalização da taxonomia em um grid de cinco níveis e em uma ferramenta diagnóstica desenvolvida em R/Shiny, com apoio de rotinas de tratamento de dados e IA generativa via API. Essa estrutura permite transformar evidências qualitativas de entrevistas em diagnósticos rastreáveis de maturidade, nos quais a classificação assistida por IA é submetida à revisão interpretativa do pesquisador (ARKSEY; O'MALLEY, 2005; HEVNER et al., 2004; PEFFERS et al., 2007; NICKERSON; VARSHNEY; MUNTERMANN, 2013).

Em síntese, este estudo parte do entendimento de que a transição para OSCM 5.0 exige mais do que a adoção isolada de tecnologias digitais. O desafio consiste em compreender como processos, recursos, dados, capacidades humanas, mecanismos de coordenação e objetivos de desempenho podem ser combinados em estruturas organizacionais mais inteligentes, resilientes, sustentáveis e competitivas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 OSCM INTELIGENTE, SCOR-DS E DESEMPENHO

A noção de *Operations and Supply Chain Management* (OSCM) 5.0 parte da ideia de que a superioridade operacional contemporânea não decorre apenas da adoção pontual de tecnologias digitais, mas da capacidade de articular processos, decisões, fluxos informacionais e mecanismos de coordenação ao longo da cadeia de forma integrada (FREDERICO, 2021; ASCM, 2025). Cadeias inteligentes, portanto, não são apenas cadeias mais digitalizadas, mas cadeias capazes de combinar visibilidade, adaptabilidade, coordenação interfuncional e resposta orientada a objetivos de desempenho, em uma lógica *end-to-end* (FREDERICO, 2021; IVANOV, 2023).

Nesse contexto, o *SCOR Digital Standard 2025* assume um papel central ao oferecer uma base processual consistente para a leitura da cadeia (ASCM, 2025). O modelo organiza OSCM em sete processos — *Orchestrate, Plan, Order, Source, Transform, Fulfill* e *Return* — e os articula a métricas, práticas, competências e atributos de desempenho (ASCM, 2025). Para além da simples enumeração dos processos, é importante explicitar hierarquia interna desses processos no modelo. Nesse arranjo, *Orchestrate* ocupa o nível 0, atuando como camada de governança, alinhamento e direção da cadeia, enquanto *Plan, Order, Source, Transform, Fulfill* e *Return* compõem os processos de nível 1, diretamente associados à coordenação e à execução do fluxo operacional.

Processo SCOR-DS	Tradução operacional	Papel no OSCM inteligente	Nível
Orchestrate	Orquestrar	Governança, alinhamento interfuncional, integração entre parceiros, direção da cadeia, gestão de riscos e compliance.	0
Plan	Planejar	Balanceamento entre demanda, capacidade, materiais, riscos e cenários.	1
Order	Gerir pedidos	Captura, configuração, promessa e gestão do pedido do cliente.	1
Source	Abastecer / comprar	Abastecimento estratégico e operacional, seleção e desenvolvimento de fornecedores.	1
Transform	Transformar	Transformação de materiais, serviços ou MRO em outputs úteis ao cliente.	1
Fulfill	Atender / entregar	Separação, expedição, transporte, atendimento e entrega.	1
Return	Retornar	Devoluções, logística reversa, reaproveitamento, MRO e circularidade.	1

Tabela 2.1 – Processos do SCOR-DS, papel no OSCM inteligente e nível hierárquico

Fonte: Elaboração própria com base em ASCM (2025)

Essa arquitetura hierarquizada ajuda a compreender por que o SCOR-DS é adotado, neste trabalho, como espinha dorsal processual da análise. Ao distinguir um processo de governança em nível 0 dos processos operacionais de nível 1, o modelo oferece uma base mais robusta para examinar como tecnologias, capacidades, dinâmicas sistêmicas e atributos de performance se distribuem ao longo da cadeia.

O SCOR-DS também explicita oito atributos de performance — *reliability*, *responsiveness*, *agility*, *costs*, *profit*, *asset management*, *environmental* e *social* — que permitem analisar a cadeia de forma sistêmica e orientada à criação de valor em múltiplas dimensões (ASCM, 2025). Neste trabalho, adotam-se as seguintes siglas: RL (confiabilidade), RS (responsividade), AG (agilidade), CO (custos), PR (lucro), AM (gestão de ativos), EV (ambiental) e SC (social).

Uma contribuição analítica central deste estudo consiste em não tratar a performance como lista genérica de indicadores, mas como uma matriz processo $\times$ atributo, em que certos atributos assumem papel primário, secundário ou contextual conforme o processo analisado. Essa distinção é importante porque permite interpretar o desempenho de forma mais granular, reconhecendo que diferentes processos contribuem de maneira distinta para a geração de valor e vantagem competitiva.

2.2 INDUSTRY 5.0 COMO CAMADA TRANSVERSAL DE VALOR

A Indústria 5.0 representa uma inflexão importante em relação à lógica predominante da Indústria 4.0. Enquanto esta foi amplamente associada à automação, conectividade, digitalização intensiva e exploração de dados, a literatura mais recente desloca o foco para uma articulação mais equilibrada entre desempenho tecnológico e criação de valor de longo prazo (IVANOV, 2023; WANG et al., 2022). Nessa perspectiva, a transformação industrial passa a ser orientada por três princípios estruturantes — centralidade humana, sustentabilidade e resiliência — articulados à noção mais ampla de viabilidade do sistema (IVANOV, 2023; HINES et al., 2025).

A Tabela 2.2 sintetiza essa transição conceitual, destacando como a lógica da Supply Chain 5.0 amplia a agenda da Supply Chain 4.0 ao deslocar o foco da digitalização em si para a criação de valor humano, sustentável, resiliente e viável.

Dimensão analítica	Supply Chain 4.0	Supply Chain 5.0
Foco predominante	Digitalização, automação, conectividade e eficiência operacional.	Geração de valor com centralidade humana, sustentabilidade, resiliência e viabilidade.
Papel da tecnologia	Tecnologias voltadas principalmente à automação, integração e monitoramento de processos.	Tecnologias como meio para ampliar decisão, colaboração, adaptabilidade e criação de valor.
Papel das pessoas	Atuação mais reativa, com menor ênfase na centralidade humana.	Pessoas no centro do sistema, com cognição ampliada, bem-estar e colaboração humano-tecnologia.
Lógica de gestão	Otimização de processos e integração ponta a ponta.	Orquestração adaptativa de processos, recursos, capacidades e ecossistemas.
Sustentabilidade e risco	Sustentabilidade e resiliência tratadas de forma complementar ou periférica.	Sustentabilidade, resiliência e viabilidade incorporadas como dimensões estruturantes.
CrITÉRIOS de desempenho	Ênfase em custo, velocidade, qualidade e eficiência.	Ênfase multidimensional: confiabilidade, responsividade, agilidade, desempenho econômico, ambiental e social.
Visão da cadeia	Cadeia conectada, automatizada e orientada por dados.	Cadeia inteligente, humano-cêntrica e orientada à geração de valor de longo prazo.

Tabela 2.2 – Síntese comparativa entre Supply Chain 4.0 e Supply Chain 5.0

Fonte: Elaboração própria com base em Frederico (2021), Ivanov (2023), Wang et al. (2022) e Hines et al. (2025)

Essa distinção é importante porque este trabalho não trata a cadeia inteligente apenas como cadeia digitalizada, mas como uma arquitetura organizacional capaz de combinar tecnologia, pessoas, sustentabilidade, resiliência e desempenho multidimensional (FREDERICO, 2021; IVANOV, 2023; WANG et al., 2022; HINES et al., 2025). Em cadeias de suprimentos, tecnologias avançadas podem elevar eficiência, visibilidade e coordenação, mas também podem intensificar dependências, ampliar vulnerabilidades e deslocar problemas humanos e ambientais quando implementadas sem critérios mais amplos de valor (IVANOV, 2023; XIA et al., 2026).

Para os fins deste estudo, a Indústria 5.0 é tratada como camada transversal de valor. Isso significa que ela não aparece como processo adicional da cadeia, nem como bloco teórico isolado, mas como princípio orientador que atravessa os sete processos do SCOR-DS (ASCM, 2025; IVANOV, 2023). Em *Orchestrate e Plan*, essa camada se manifesta na construção de sistemas decisórios mais robustos, transparentes e adaptativos. Em *Order e Fulfill*, aparece na busca por personalização responsável, responsividade e melhor experiência do cliente sem deterioração das condições operacionais (XIA et al., 2026; NAYERI et al., 2023). Em *Source e Return*, reforça critérios de sustentabilidade, rastreabilidade, circularidade e impacto social. Em *Transform*, adquire centralidade máxima ao aproximar tecnologias de manufatura

inteligente da lógica de bem-estar, aprendizagem e complementaridade humano-tecnologia (WANG et al., 2022; HINES et al., 2025; CANNAS et al., 2025).

A literatura sobre manufatura *human-centric* ajuda a detalhar esse movimento, ao mostrar que a transformação industrial passa a depender não apenas da automação, mas da integração entre tecnologias digitais, desenho do trabalho, aprendizagem organizacional e centralidade humana (WANG et al., 2022; HINES et al., 2025; ERIKSSON et al., 2024). A noção de *human-cyber-physical systems* desloca a manufatura inteligente para um paradigma em que o humano não é mero operador residual da automação, mas parte constitutiva do sistema de criação de valor (WANG et al., 2022). Em paralelo, a integração entre *lean*, digitalização e centralidade humana reforça a ideia de que os resultados organizacionais dependem da combinação de capacidades tecnológicas, competências humanas, desenho do trabalho e coerência gerencial (HINES et al., 2025; ERIKSSON et al., 2024).

2.3 COMPLEX ADAPTIVE SYSTEMS (CAS)

Complex Adaptive Systems (CAS) podem ser definidos como sistemas compostos por múltiplos agentes interdependentes que interagem continuamente, adaptam seu comportamento ao ambiente e produzem padrões emergentes que não podem ser plenamente explicados pela análise isolada de suas partes (CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001). Em sistemas dessa natureza, relações não lineares, feedbacks, adaptação e emergência tornam-se elementos centrais de análise (CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001).

Essa lente é particularmente útil para a cadeia de suprimentos porque redes de suprimento não operam como estruturas perfeitamente previsíveis e hierarquicamente controláveis. Ao contrário, operam em contextos de elevada interdependência, nos quais pequenas alterações locais podem produzir efeitos ampliados e deslocamentos inesperados ao longo da rede (CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001). A interpretação da cadeia como CAS é especialmente relevante para compreender fenômenos como visibilidade, integração digital, adaptação, propagação de perturbações, reconfiguração e resposta à incerteza (PADOVANO; IVANOV, 2025).

Na arquitetura analítica adotada neste estudo, o CAS não é tratado como uma teoria abstrata desconectada da operação, mas como uma lente interpretativa aplicada aos processos do SCOR-DS. Em *Orchestrate*, aparece na interdependência entre áreas, parceiros e sistemas de informação. Em *Plan*, ajuda a compreender adaptação proativa, sensibilidade a perturbações e não linearidade decisória. Em *Source*, ilumina complexidade relacional, coevolução com

fornecedores e interdependência de rede. Em *Transform*, é particularmente útil para interpretar emergência operacional, efeitos em cascata e feedback loops homem-máquina. Em *Fulfill e Return*, contribui para entender coordenação adaptativa, malhas logísticas complexas e feedback reverso (DITTFELD; VAN DONK; VAN HUET, 2022; ZHANG et al., 2024; CANNAS et al., 2025).

Ao incorporar CAS, a análise se afasta de abordagens lineares da transformação digital. Em vez de assumir que a adoção de tecnologia gera automaticamente desempenho, reconhece-se que cadeias inteligentes operam sob causalidades distribuídas, múltiplos níveis de interação e efeitos contextuais. Isso torna a análise mais coerente com a realidade organizacional observada nas cadeias atuais e fortalece a leitura da taxonomia como instrumento explicativo, e não apenas classificatório (CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001; PADOVANO; IVANOV, 2025).

2.4 RESOURCE ORCHESTRATION THEORY (ROT)

A *Resource Orchestration Theory* (ROT) pode ser entendida como uma perspectiva segundo a qual a vantagem competitiva não decorre apenas da posse de recursos valiosos, mas da capacidade gerencial de estruturar, combinar e alavancar esses recursos ao longo do tempo. Nessa abordagem, o desempenho superior depende da ação de gestão sobre o portfólio de recursos da firma, especialmente por meio de três mecanismos centrais: *structuring*, *bundling* e *leveraging* (SIRMON; HITT; IRELAND, 2007).

O mecanismo de *structuring* diz respeito à formação, organização e reconfiguração da base de recursos. *Bundling* refere-se à combinação desses recursos em capacidades. *Leveraging*, por sua vez, trata da mobilização e aplicação dessas capacidades para gerar valor e desempenho. Em contextos dinâmicos, o desafio não está apenas em possuir recursos, mas em mobilizá-los de maneira coerente, adaptativa e orientada a objetivos estratégicos (SIRMON; HITT; IRELAND, 2007).

Essa abordagem é particularmente útil porque cadeias de suprimentos inteligentes operam justamente na interseção entre recursos físicos, digitais, humanos e relacionais. Sistemas de dados, plataformas, *analytics*, competências analíticas, práticas colaborativas, capacidades logísticas e redes de fornecedores não produzem valor de forma isolada; seu impacto depende da forma como são organizados e articulados processualmente. Nesse sentido, ROT complementa o SCOR-DS: enquanto o modelo processual mostra onde os fenômenos ocorrem, ROT ajuda a explicar como a ação gerencial transforma ativos dispersos em capacidades

operacionais e, posteriormente, em desempenho e vantagem competitiva (SIRMON; HITT; IRELAND, 2007).

Na arquitetura analítica deste estudo, os mecanismos de ROT se distribuem de forma distinta pelos processos. Em *Orchestrate* e *Source*, prevalece a lógica de *structuring*, ligada à definição de papéis, arquitetura de governança, desenho da base de fornecedores e organização dos recursos informacionais. Em *Plan* e *Transform*, ganha força o *bundling*, pois o valor depende fortemente da combinação entre modelos analíticos, conhecimento humano, rotinas operacionais e ativos digitais. Em *Order*, *Fulfill* e *Return*, aparece com maior intensidade o *leveraging*, já que a questão central passa a ser como mobilizar recursos e capacidades para gerar serviço superior, visibilidade, circularidade e recuperação de valor (SIRMON; HITT; IRELAND, 2007; GOVINDAN et al., 2024; CALLEFI et al., 2024).

A adoção de ROT também contribui para evitar duas simplificações frequentes. A primeira é a visão tecnicista segundo a qual a introdução de novas tecnologias bastaria para tornar a cadeia inteligente. A segunda é a visão excessivamente descritiva segundo a qual a cadeia apenas “responde” a transformações externas. Ao enfatizar a orquestração, o trabalho recoloca a gestão no centro da análise: cadeias inteligentes não emergem apenas da conectividade dos sistemas, mas também da capacidade de direcionar recursos, definir prioridades, combinar competências e transformar possibilidades técnicas em resultados organizacionais.

2.5 MODELO CONCEITUAL PRELIMINAR

A articulação entre SCOR-DS, Indústria 5.0, CAS e ROT leva à formulação de um modelo conceitual preliminar que orienta o restante da pesquisa. Esse modelo parte do SCOR-DS como estrutura processual básica, distribui transversalmente a camada de valor da Indústria 5.0 entre os sete processos, interpreta as dinâmicas emergentes por meio de CAS e explica os mecanismos de geração de valor a partir de ROT (ASCM, 2025; IVANOV, 2023; CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001; SIRMON; HITT; IRELAND, 2007). O resultado não é apenas um framework de categorias, mas um artefato analítico que organiza o fenômeno em torno de seis grandes eixos: objetivo funcional, tecnologias habilitadoras, capacidades de valor, dinâmica sistêmica, orquestração de recursos e atributos de performance (NICKERSON; VARSHNEY; MUNTERMANN, 2013; WEKING et al., 2018).

Nesse modelo, cada processo do SCOR-DS é analisado como uma unidade de observação. Para cada processo, busca-se identificar: qual seu objetivo funcional; quais tecnologias o habilitam ou transformam; como os princípios da Indústria 5.0 se manifestam; quais dinâmicas

sistêmicas são mais relevantes; quais mecanismos de orquestração ajudam a explicar a criação de valor; e quais atributos de performance tendem a ser mais diretamente afetados. Essa estrutura é útil porque transforma um campo fragmentado em uma arquitetura comparável e operacionalizável, permitindo que o referencial teórico alimente diretamente a construção da taxonomia, do questionário e da análise de casos (ASCM, 2025; WEKING et al., 2020).

O modelo também estabelece a base conceitual para a transição entre a revisão teórica e as etapas subsequentes de construção, refinamento e aplicação do artefato. A partir dele, a pesquisa evolui conforme uma lógica iterativa: uma V1 derivada do corpus principal da revisão de literatura e da articulação entre os referenciais teóricos adotados; uma V2 refinada por validação teórica e estruturada na forma de taxonomia e grid de maturidade; e uma versão final ajustada a partir da validação por especialistas, da aplicação exploratória em contexto empresarial e da operacionalização em ferramenta diagnóstica. Nesse percurso, o modelo conceitual preliminar não deve ser entendido como uma estrutura fechada, mas como um ponto de partida explicativo para a construção iterativa da taxonomia analítica de OSCM 5.0, baseada no SCOR-DS (HEVNER et al., 2004; PEFERS et al., 2007; NICKERSON; VARSHNEY; MUNTERMANN, 2013; WEKING et al., 2020).

Em termos analíticos, isso significa que os sete processos do SCOR-DS não são apenas distintos em função, mas também em termos de tecnologias habilitadoras, capacidades de valor e dinâmicas predominantes. Em alguns processos, a inteligência operacional se manifesta mais intensamente por visibilidade e coordenação; em outros, por automação, adaptabilidade, circularidade ou capacidade de resposta. Essa heterogeneidade justifica a necessidade de uma taxonomia analítica orientada por processo, em vez de uma visão homogênea da digitalização em cadeias de suprimentos.

Essa estrutura conceitual não encerra a análise, mas estabelece a base para a construção da taxonomia, do grid de maturidade e da ferramenta diagnóstica desenvolvida no trabalho. Com isso, o referencial teórico cumpre dupla função: sustenta conceitualmente a identificação dos elementos de OSCM 5.0 e prepara sua operacionalização em uma estrutura analítica aplicável à avaliação qualitativa da maturidade de empresas.

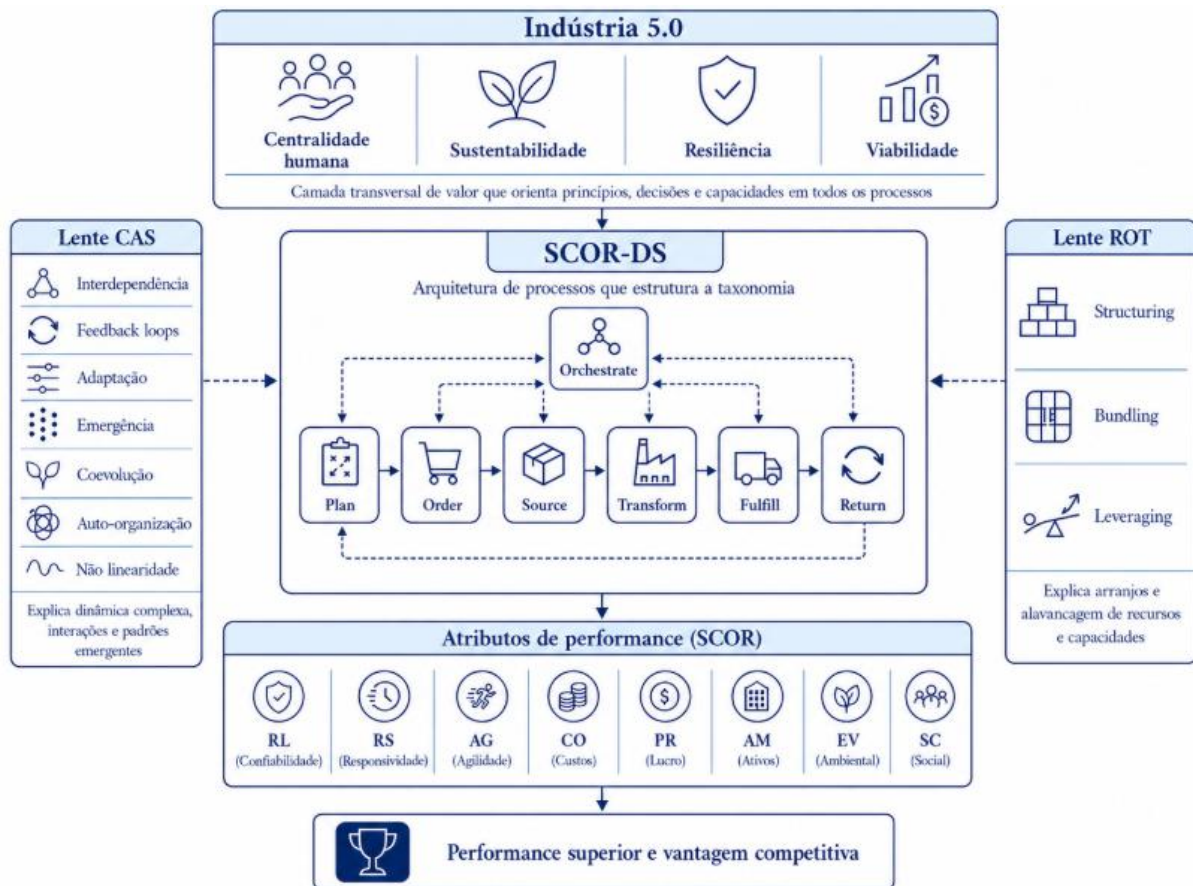


Figura 2.1 – Modelo conceitual preliminar da taxonomia analítica de OSCM inteligente baseada no SCOR-DS

Fonte: Elaboração própria com base em ASCM (2025), Ivanov (2023), Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001), Sirmon, Hitt e Ireland (2007), Nickerson, Varshney e Muntermann (2013) e Weking et al. (2020).

3 METODOLOGIA

3.1 ABORDAGEM GERAL E DESENHO DA PESQUISA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, de finalidade aplicada e objetivo exploratório-descritivo, voltada à construção, refinamento e validação de um artefato analítico para apoiar a compreensão de operações e cadeias de suprimentos inteligentes na era da Indústria 5.0. A escolha por uma abordagem qualitativa justifica-se pela natureza complexa e multidimensional do fenômeno investigado, que envolve processos, tecnologias, capacidades organizacionais, dinâmicas sistêmicas e mecanismos de geração de valor em diferentes contextos empresariais (DUBOIS; GADDE, 2002; YIN, 2018).

Do ponto de vista metodológico, o estudo adota a lógica da *Design Science Research* (DSR), apropriada para pesquisas que buscam desenvolver artefatos com utilidade prática e relevância gerencial (HEVNER et al., 2004; PEFFERS et al., 2007). Essa abordagem é adequada ao trabalho porque a pesquisa não se limita à descrição de um fenômeno, mas busca construir uma taxonomia analítica capaz de organizar conceitos, apoiar diagnóstico gerencial e orientar a análise empírica.

O desenho metodológico da pesquisa segue a lógica da DSR, na medida em que articula etapas de construção, avaliação e refinamento de um artefato voltado ao diagnóstico organizacional (HEVNER et al., 2004; PEFFERS et al., 2007). Ao mesmo tempo, a pesquisa adota uma lógica abdutiva de desenvolvimento e ajuste progressivo do artefato, em linha com a perspectiva de *systematic combining* (DUBOIS; GADDE, 2002). Essa lógica é coerente com a proposta de refinamento progressivo da taxonomia, na qual categorias derivadas da literatura são posteriormente confrontadas com evidências teóricas e empíricas. Nesse sentido, a primeira macroetapa corresponde à construção teórica do artefato, envolvendo a revisão de escopo da literatura, a elaboração da taxonomia analítica, a construção da matriz processo $\times$ performance e o desenvolvimento do grid de maturidade. A segunda macroetapa corresponde à validação e à aplicação empírica, contemplando a avaliação do grid por especialistas, a realização de entrevistas semiestruturadas com informantes-chave e a associação das evidências coletadas às células do grid. Por fim, a terceira macroetapa corresponde à consolidação do artefato, na qual os diagnósticos são analisados comparativamente, são identificados lacunas e *paths* de melhoria, e é realizado o refinamento final da taxonomia e do grid. Essa lógica é sintetizada na Figura 3.1.

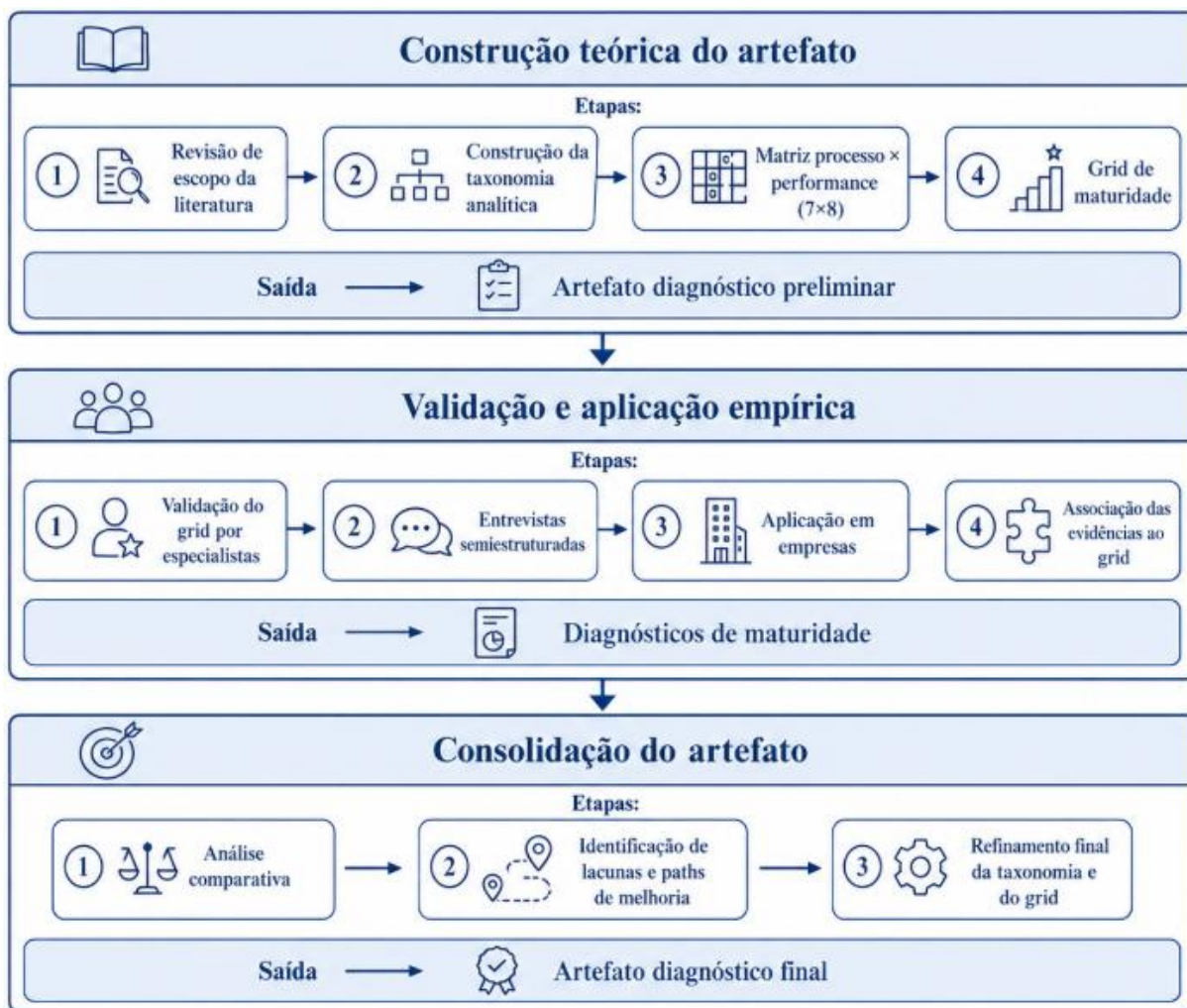


Figura 3.1 – Desenho metodológico da pesquisa e desenvolvimento do artefato diagnóstico baseado em DSR
 Fonte: Elaboração própria com base em Hevner et al. (2004), Peffers et al. (2007) e Dubois e Gadde (2002).

A lógica metodológica representada na Figura 3.1 também evidencia a evolução do artefato ao longo da pesquisa. A primeira versão (V1) resulta da revisão de escopo e da articulação inicial entre SCOR-DS, Indústria 5.0, CAS e ROT. A segunda versão (V2) corresponde ao refinamento teórico da taxonomia e à sua operacionalização em matriz processo × performance e em uma versão inicial do grid de maturidade. Por fim, a terceira versão (V3) corresponde ao artefato consolidado após a avaliação por especialistas, a aplicação exploratória nas empresas e a análise comparativa dos diagnósticos. Nessa etapa, a estrutura do grid foi refinada de três para cinco níveis, com o objetivo de ampliar sua capacidade de diferenciar práticas e processos situados em estágios distintos de maturidade, preservando a continuidade conceitual entre as versões do artefato.

3.2 REVISÃO DE ESCOPO

A primeira etapa da pesquisa consiste em uma revisão de escopo da literatura, com o objetivo de mapear os principais conceitos, abordagens e evidências relacionados à gestão de operações e cadeias de suprimentos inteligentes, especialmente na transição entre a lógica da Supply Chain 4.0 e o OSCM 5.0 (FREDERICO, 2021; IVANOV, 2023; WANG et al., 2022; HINES et al., 2025). Essa abordagem é adequada para campos amplos, interdisciplinares e ainda em consolidação, nos quais se busca identificar conceitos centrais, tipos de evidência disponíveis e lacunas de pesquisa (ARKSEY; O'MALLEY, 2005).

A revisão partiu de um corpus inicial previamente estruturado, composto por materiais indicados no âmbito da orientação acadêmica e relacionados a OSCM 4.0 e 5.0, Indústria 4.0 e 5.0, SCOR-DS, transformação digital, maturidade, tecnologias habilitadoras e desempenho em cadeias de suprimentos. A partir desse conjunto inicial, foi realizado um processo de refinamento com base em critérios de aderência temática, contribuição conceitual, aplicabilidade prática, presença de evidências empíricas ou frameworks aplicados, relação com os processos do SCOR-DS e capacidade de apoiar a construção das dimensões da taxonomia. Estudos com baixa aderência ao objeto, foco excessivamente distante de operações e cadeias de suprimentos ou contribuição marginal para a estrutura analítica foram excluídos ou tratados apenas como apoio secundário (ARKSEY; O'MALLEY, 2005; NICKERSON; VARSHNEY; MUNTERMANN, 2013).

Como apoio operacional à triagem e organização preliminar dos materiais, foram utilizadas ferramentas digitais de apoio à leitura e sistematização documental, especialmente para auxiliar na identificação de temas recorrentes, comparação entre documentos e localização de trechos relacionados às dimensões analíticas do estudo. O uso dessas ferramentas teve caráter auxiliar e não substituiu a avaliação crítica do pesquisador, sendo as decisões finais de inclusão, exclusão e classificação realizadas com base nos critérios metodológicos definidos na pesquisa.

Esse processo resultou em uma base final de 35 documentos, composta por estudos teóricos, metodológicos, institucionais e aplicados. Dentro dessa base, um subconjunto de 16 artigos foi definido como corpus principal da revisão de literatura, por apresentar maior aderência empírica e aplicabilidade direta às dimensões utilizadas na construção da taxonomia. Assim, a base total sustenta o trabalho como um todo, enquanto o corpus de 16 artigos fornece a base principal de extração dos elementos utilizados na estruturação da taxonomia analítica.

A extração sistemática das informações contemplou campos como o processo SCOR-DS focalizado, tecnologias habilitadoras, princípios da Indústria 5.0, atributos de performance,

construtos de Complex Adaptive Systems (CAS), mecanismos da Resource Orchestration Theory (ROT), principais achados e a aplicação na análise. Dessa forma, a revisão de escopo não se limita à síntese bibliográfica, mas constitui a base estruturante para a construção da versão preliminar da taxonomia e para sua posterior operacionalização em grid de maturidade.

Para reforçar a transparência do processo de seleção, o fluxo de identificação, triagem, elegibilidade e consolidação dos documentos foi organizado em formato de diagrama PRISMA adaptado à revisão de escopo. Além disso, os critérios de inclusão e exclusão utilizados para refinar a base inicial foram sistematizados em tabela específica. Esses elementos são apresentados no Apêndice B e permitem explicitar como a base final de 35 documentos e o corpus principal de 16 artigos foram definidos.

A estrutura completa de extração de dados da revisão de escopo encontra-se no Apêndice B, na Tabela B.1. O fluxo de seleção dos documentos e os critérios de inclusão e exclusão são apresentados, respectivamente, na Figura B.1 e na Tabela B.4.

3.3 CONSTRUÇÃO DA TAXONOMIA ANALÍTICA

A segunda etapa consiste na construção da versão preliminar da estrutura analítica (V1), derivada dos resultados da revisão de escopo e da articulação entre os referenciais teóricos adotados. Essa etapa busca transformar o conhecimento sistematizado na literatura em uma arquitetura capaz de organizar os principais elementos associados às operações e cadeias de suprimentos inteligentes.

A construção da taxonomia segue uma lógica iterativa de identificação, agrupamento, diferenciação e refinamento de dimensões, em linha com métodos de desenvolvimento taxonômico voltados à organização de fenômenos complexos e multidimensionais (NICKERSON; VARSHNEY; MUNTERMANN, 2013; WEKING et al., 2018; WEKING et al., 2020; GRÜTZNER; BREITNER, 2025). Essa abordagem é adequada porque o objetivo não é apenas listar tecnologias ou práticas, mas estruturar categorias analíticas capazes de organizar o fenômeno de forma robusta, extensível e aplicável à análise empírica.

O *SCOR Digital Standard 2025* (SCOR-DS) é adotado como eixo estruturante da V1, por organizar a cadeia de suprimentos em sete processos principais — *Orchestrate, Plan, Order, Source, Transform, Fulfill* e *Return* — e oferecer uma base consistente para análise de desempenho, práticas e capacidades (ASCM, 2025). A partir dessa estrutura processual, a construção da V1 incorpora os princípios da Indústria 5.0, os construtos de *Complex Adaptive*

Systems (CAS) e os mecanismos da *Resource Orchestration Theory* (ROT) (CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001; SIRMON; HITT; IRELAND, 2007; IVANOV, 2023).

A integração desses referenciais ocorre de maneira complementar. O SCOR-DS fornece a estrutura processual da análise; a Indústria 5.0 orienta as capacidades de valor a serem observadas; os construtos de CAS permitem interpretar a dinâmica sistêmica das operações; e a ROT contribui para a compreensão da geração de valor a partir da orquestração de recursos. Essa articulação garante coerência interna à estrutura analítica e reduz sobreposições entre as dimensões consideradas.

Cada processo do SCOR-DS é tratado como unidade de observação e analisado segundo seis dimensões principais: objetivo funcional, tecnologias habilitadoras, capacidades de valor, dinâmica sistêmica, orquestração de recursos e atributos de performance. Essa estrutura responde principalmente à QP1, ao sistematizar os elementos que caracterizam OSCM 5.0 e diferenciá-los da lógica predominante da Supply Chain 4.0, e prepara a QP2 ao organizar esses elementos em uma estrutura passível de avaliação de maturidade. As dimensões analíticas utilizadas na construção da V1 são sistematizadas na tabela B.2 do Apêndice B.

3.4 VALIDAÇÃO TEÓRICA DA TAXONOMIA ANALÍTICA

A terceira etapa consiste na validação teórica da estrutura analítica preliminar (V1), com o objetivo de verificar sua coerência conceitual, completude e aderência às evidências disponíveis na literatura aplicada e em fontes institucionais. Essa etapa funciona como momento intermediário de refinamento antes da construção do grid de maturidade e da aplicação exploratória do artefato.

A validação é conduzida por meio do confronto da V1 com dois conjuntos de evidência: estudos aplicados e dados secundários institucionais. Entre as principais fontes utilizadas, destacam-se documentos da *Association for Supply Chain Management* relacionados ao SCOR Digital Standard 2025, referências sobre Indústria 5.0, resiliência, sustentabilidade, centralidade humana, viabilidade, maturidade digital e transformação de operações (ASCM, 2025; IVANOV, 2023; DE CAROLIS et al., 2025; CANNAS et al., 2025; PADOVANO; IVANOV, 2025).

Nessa etapa, os ajustes realizados não se restringem à inclusão ou exclusão de categorias, mas envolvem também a revisão da nomenclatura, a redistribuição de elementos entre processos, a verificação da aderência dos atributos de performance e o alinhamento entre as

dimensões da estrutura analítica, os princípios da Indústria 5.0 e a lógica processual do SCOR-DS.

Esse processo permite identificar lacunas, sobreposições e inconsistências, além de ajustar a terminologia, a distribuição dos elementos entre processos e a representação das dimensões analisadas. Ao incorporar evidências provenientes de diferentes fontes e níveis de aplicação, a transição de V1 para V2 reduz vieses decorrentes de uma construção exclusivamente baseada na revisão de escopo e aumenta a robustez da estrutura analítica. Os procedimentos detalhados de validação teórica encontram-se na Tabela B.3 do Apêndice B.

3.5 CONSTRUÇÃO DO GRID DE MATURIDADE

A partir da versão teoricamente refinada da taxonomia (V2), foi construído um grid de maturidade com o objetivo de operacionalizar a estrutura analítica em uma ferramenta de diagnóstico. O grid traduz as dimensões da taxonomia em níveis avaliativos, permitindo analisar qualitativamente a maturidade de uma organização em cada combinação entre processo SCOR-DS e meta-dimensão. Ao todo, são avaliadas 42 células, resultantes do cruzamento entre os sete processos do SCOR-DS e as seis meta-dimensões da taxonomia.

A versão inicial do grid foi estruturada em três níveis — baixo, médio e alto —, buscando conciliar simplicidade e aplicabilidade qualitativa. Entretanto, a análise dos diagnósticos mostrou que essa escala reunia, em uma mesma categoria, práticas com diferentes graus de formalização e integração, especialmente no nível intermediário. Como refinamento, a versão final foi ampliada para cinco níveis: N1 — Inicial; N2 — Em desenvolvimento; N3 — Estruturado; N4 — Integrado; e N5 — Adaptativo ou benchmark.

O N1 representa práticas fragmentadas, informais e predominantemente reativas. O N2 indica fundamentos em processo de formalização, ainda aplicados de maneira localizada. O N3 corresponde a práticas estruturadas, com responsabilidades definidas, rotinas recorrentes e uso regular de dados. O N4 caracteriza integração entre funções, sistemas e parceiros, com gestão proativa das interdependências. O N5 representa uma configuração sistêmica, adaptativa e orientada por aprendizagem contínua, alinhada aos princípios da Indústria 5.0.

A ampliação preserva a lógica da estrutura inicial: os antigos níveis baixo, médio e alto funcionam como referências aproximadas para N1, N3 e N5, enquanto N2 e N4 representam estágios de transição. Os níveis permanecem ancorados na base conceitual do trabalho e não constituem benchmarks estatísticos nacionais ou setoriais. Porte, setor e contexto são considerados na interpretação das evidências, mas não implicam flexibilização dos descritores.

A construção do grid foi orientada por abordagens de maturidade digital, desenvolvimento taxonômico e frameworks aplicados em operações e cadeias de suprimentos, nos quais a evolução é compreendida como passagem de práticas fragmentadas para configurações integradas, orientadas por dados e alinhadas à criação de valor (NICKERSON; VARSHNEY; MUNTERMANN, 2013; DE CAROLIS et al., 2025; GRÜTZNER; BREITNER, 2025; CANNAS et al., 2025). A versão resumida do grid é apresentada na Seção 4.5, enquanto sua versão completa e base conceitual encontram-se no Apêndice C.

3.6 VALIDAÇÃO DO GRID DE MATURIDADE POR ESPECIALISTAS

Após a construção do grid de maturidade, foi elaborado um instrumento específico para sua avaliação por especialistas. Essa etapa tem como objetivo verificar a qualidade do grid como instrumento diagnóstico, considerando sua clareza, completude, consistência interna, utilidade gerencial e rastreabilidade conceitual.

O instrumento foi estruturado em afirmações avaliadas por escala Likert de cinco pontos, sendo: 1 = discordo totalmente; 2 = discordo; 3 = nem concordo nem discordo; 4 = concordo; e 5 = concordo totalmente. Além das questões fechadas, foram incluídos campos para comentários qualitativos, permitindo que os avaliadores indicassem lacunas, ambiguidades, inconsistências e sugestões de melhoria. Essa lógica é compatível com a avaliação de artefatos em Design Science Research, na qual utilidade, qualidade e adequação devem ser examinadas de forma sistemática por especialistas ou usuários do domínio (HEVNER et al., 2004; PEFFERS et al., 2007).

A avaliação contou com um grupo reduzido de participantes vinculados à pós-graduação e com formação ou atuação em áreas relacionadas a OSCM, transformação digital, maturidade, logística, operações, sustentabilidade e cadeias de suprimentos. Embora essa composição limite a possibilidade de interpretar a etapa como uma validação ampla ou estatisticamente representativa, os participantes realizaram análises detalhadas do artefato, combinando respostas estruturadas e comentários qualitativos.

Os retornos foram predominantemente favoráveis quanto à clareza, completude, consistência interna, utilidade gerencial e rastreabilidade conceitual do grid. As principais oportunidades de melhoria concentraram-se na explicitação das meta-dimensões, na relação entre o grid e a matriz processo $\times$ performance, no detalhamento dos paths de melhoria e no cuidado necessário à comparação entre organizações de diferentes portes e setores. A partir

desses retornos, foram reforçadas a documentação visual, a rastreabilidade entre taxonomia, matriz, grid e roteiro de entrevistas e a interpretação contextual dos resultados.

A avaliação por especialistas incidiu sobre a versão inicial do grid, estruturada em três níveis. Posteriormente, a análise dos diagnósticos da aplicação empírica indicou a necessidade de maior granularidade para distinguir práticas e processos situados em estágios intermediários distintos. Por essa razão, a versão final foi ampliada para cinco níveis, preservando os descritores originais como referências conceituais e introduzindo dois estágios de transição. Essa escala final não foi submetida a uma nova rodada específica com o mesmo grupo de avaliadores, constituindo um refinamento sustentado pela aplicação empírica e pela continuidade conceitual em relação à estrutura anteriormente examinada.

O instrumento de avaliação encontra-se no Apêndice B.2. A síntese dos feedbacks recebidos e das decisões de refinamento adotadas é apresentada na Tabela B.5.

3.7 APLICAÇÃO EXPLORATÓRIA EM CONTEXTO EMPRESARIAL

A etapa empírica da pesquisa é conduzida como uma aplicação exploratória do artefato diagnóstico em contexto empresarial, com o objetivo de verificar sua capacidade de organizar evidências qualitativas e apoiar a geração de diagnósticos de maturidade em organizações reais. Essa lógica é coerente com a Design Science Research, na qual artefatos são avaliados quanto à sua utilidade prática, adequação ao problema e capacidade de apoiar decisões em contextos aplicados (HEVNER et al., 2004; PEFFERS et al., 2007). Essa etapa busca observar como a taxonomia e o grid de maturidade podem auxiliar a interpretação de práticas, tecnologias, capacidades e desafios associados ao OSCM 5.0, além de fornecer evidências para o refinamento final do artefato.

As entrevistas cumprem três funções principais. Primeiro, permitem confrontar a taxonomia e o grid com a linguagem e a realidade prática das empresas. Segundo, fornecem evidências qualitativas para alimentar a ferramenta diagnóstica de maturidade. Terceiro, contribuem para identificar lacunas, ambiguidades ou ajustes necessários ao artefato, reforçando a lógica iterativa da Design Science Research (HEVNER et al., 2004; PEFFERS et al., 2007).

3.7.1 JUSTIFICATIVA DO MÉTODO

A realização de entrevistas justifica-se pela natureza qualitativa, contextual e multidimensional do fenômeno investigado. A transição para OSCM 5.0 envolve processos,

tecnologias, pessoas, recursos, capacidades organizacionais, mecanismos de coordenação e atributos de desempenho, elementos que dificilmente podem ser compreendidos apenas por dados secundários ou análise documental.

Nesse sentido, a aplicação exploratória permite observar como os elementos da taxonomia se manifestam em contextos empresariais reais. A função das entrevistas é avaliar a utilidade prática do grid como instrumento de diagnóstico, identificar evidências associadas aos níveis de maturidade e gerar insumos para a análise qualitativa das organizações. Essa escolha é coerente com a abordagem de Design Science Research, na qual artefatos podem ser avaliados por meio de aplicações situadas, progressivamente refinadas e orientadas à utilidade prática (HEVNER et al., 2004; PEFFERS et al., 2007; YIN, 2018).

3.7.2 SELEÇÃO DAS EMPRESAS PARTICIPANTES

A seleção das empresas participantes seguiu uma lógica intencional e exploratória, orientada pela aderência das organizações ao fenômeno investigado e pelo potencial de contribuição para a aplicação do artefato diagnóstico proposto. Esse tipo de seleção é adequado em pesquisas qualitativas e estudos exploratórios, nos quais os casos são escolhidos por sua capacidade de fornecer evidências relevantes para o fenômeno analisado, e não por representatividade estatística (YIN, 2018; DUBOIS; GADDE, 2002). Foram priorizadas empresas com operações relevantes de planejamento, suprimentos, transformação, logística, atendimento, distribuição ou coordenação da cadeia.

As empresas participantes da aplicação exploratória são: Grupo Rio Ita, organização do setor de transporte rodoviário coletivo de passageiros, com atuação intermunicipal no Estado do Rio de Janeiro; Tamoio Mineração, empresa do setor de mineração e pedreira, voltada à extração, britagem e fornecimento de materiais para a construção civil; Granfino, empresa fluminense do setor alimentício, com atuação em industrialização, beneficiamento, embalagem, distribuição e comercialização de gêneros alimentícios; e Supermercado Feira Nova, rede de varejo alimentício com atuação no Rio de Janeiro, estrutura de lojas físicas, centro de distribuição e canal de vendas online.

A escolha dessas organizações permite contemplar diferentes configurações operacionais e níveis de complexidade. O Grupo Rio Ita contribui com uma operação intensiva em gestão de frota, programação operacional, disponibilidade de ativos e confiabilidade do serviço. A Tamoio Mineração permite observar desafios ligados à transformação física, controle produtivo, manutenção, qualidade e segurança operacional. A Granfino oferece uma

perspectiva associada à cadeia alimentícia, envolvendo processamento, embalagem, distribuição e coordenação entre produção e mercado. O Supermercado Feira Nova representa o varejo alimentar, marcado por gestão de estoques, abastecimento, perecibilidade, relacionamento com fornecedores, operação de lojas e digitalização comercial.

Dessa forma, a etapa empírica é conduzida como uma aplicação exploratória do artefato em empresas reais, buscando compreender como a taxonomia e o grid de maturidade apoiam a leitura qualitativa de práticas, tecnologias, capacidades organizacionais, dinâmicas sistêmicas, mecanismos de orquestração de recursos e atributos de desempenho. A comparação entre as empresas não tem como objetivo estabelecer rankings ou conclusões estatisticamente generalizáveis, mas identificar padrões, diferenças, lacunas e possibilidades de refinamento do instrumento diagnóstico.

3.7.3 PERFIS DOS ENTREVISTADOS E TIPO DE AMOSTRA

A amostra de entrevistados foi definida de forma intencional e não probabilística, em linha com a natureza qualitativa e exploratória da pesquisa. A seleção não buscou representatividade estatística, mas a identificação de informantes-chave capazes de fornecer evidências relevantes sobre práticas, processos, tecnologias, capacidades organizacionais e desafios associados à cadeia de suprimentos das organizações analisadas (YIN, 2018; DUBOIS; GADDE, 2002).

Em cada organização, foi realizada uma entrevista aprofundada com um informante-chave, selecionado com base em sua posição, experiência prática e capacidade de oferecer uma visão ampla sobre operações, planejamento, suprimentos, logística, atendimento, tecnologia ou coordenação interna. Essa estratégia é coerente com o caráter exploratório da aplicação, voltada à avaliação inicial da utilidade da taxonomia e do grid de maturidade em contextos empresariais distintos.

No Grupo Rio Ita, o informante apresentou visão transversal sobre suprimentos, manutenção, frota, tecnologia e coordenação entre unidades. Na Tamoio Mineração, o participante possuía atuação direta na gestão do negócio, especialmente em aspectos comerciais e operacionais. Na Granfino, o entrevistado atuava na logística, com maior profundidade em estoque, WMS, armazenagem e expedição. No Supermercado Feira Nova, o informante apresentou conhecimento sobre compras, abastecimento, central logística, categorias e fornecedores.

A utilização de um único informante por organização permitiu obter relatos densos e contextualizados, mas limitou a cobertura uniforme de todos os processos. Por essa razão, as

classificações foram baseadas nas evidências efetivamente disponíveis, evitando tratar a ausência de informação como comprovação automática da inexistência de determinada prática. Os diagnósticos devem, portanto, ser interpretados como avaliações qualitativas exploratórias, e não como auditorias exaustivas das organizações.

3.7.4 COLETA DE DADOS E ROTEIRO DE ENTREVISTAS

A coleta de dados é realizada por meio de entrevistas semiestruturadas, conduzidas a partir de um roteiro elaborado com base na taxonomia e no grid de maturidade. O roteiro está organizado em blocos associados aos processos do SCOR-DS — Orchestrate, Plan, Order, Source, Transform, Fulfill e Return — além de blocos voltados à caracterização geral da empresa e à avaliação da estrutura analítica proposta. O roteiro completo encontra-se no Apêndice B.4.

As entrevistas têm caráter qualitativo e buscam compreender processos, práticas, tecnologias, capacidades organizacionais, desafios operacionais, mecanismos de coordenação e percepções de maturidade. Não são solicitados dados financeiros, comerciais ou operacionais sensíveis. Quando autorizado pelos participantes, as entrevistas são gravadas para fins de transcrição e análise acadêmica, respeitando princípios de confidencialidade e anonimização. A aplicação exploratória foi estruturada como um estudo de caso múltiplo, envolvendo empresas de diferentes setores e configurações operacionais. Essa escolha permite observar como o artefato diagnóstico se comporta em contextos distintos, sem pretensão de generalização estatística. A caracterização dos casos foi realizada com base nas informações fornecidas pelos próprios entrevistados, contemplando setor de atuação, configuração operacional, porte aproximado ou escala de atuação, processos mais relevantes, perfil dos informantes-chave e fonte empírica utilizada. A Tabela 3.1 sintetiza essas informações.

Organização	Setor	Porte/configuração operacional	Perfil do informante-chave	Fonte empírica
Grupo Rio Ita	Transporte coletivo de passageiros	Operação urbana e intermunicipal, com múltiplas unidades de negócio, frota própria, manutenção, compras de insumos críticos e gestão de suprimentos para operação do serviço	Informantes-chave com visão transversal sobre suprimentos, compras, manutenção, frota, tecnologia, operação e coordenação entre unidades de negócio	Entrevista semiestruturada
Tamoio Mineração	Mineração e agregados para construção civil	Extração, beneficiamento, britagem, controle produtivo, manutenção de equipamentos, expedição e relacionamento comercial com clientes e transportadores	Informante-chave com atuação na gestão direta do negócio, especialmente em relacionamento comercial, operação, atendimento ao mercado, fornecedores, clientes e processos críticos da mineração	Entrevista semiestruturada
Granfino	Indústria alimentícia	Produção de derivados de milho e mandioca, empacotamento de grãos e farináceos, gestão de produtos acabados, separação de pedidos, armazenagem e distribuição	Informante-chave da área de logística, com atuação em gestão de estoque de produtos acabados, WMS, separação de pedidos, armazenagem, expedição e atendimento a clientes com requisitos específicos	Entrevista semiestruturada
Supermercado Feira Nova	Varejo alimentício	Rede varejista com lojas físicas, delivery, central logística, compras, abastecimento, gestão de categorias, distribuição interna, relacionamento com fornecedores e venda ao consumidor final	Informante-chave com atuação na coordenação do fluxo comercial e operacional, acompanhando decisões relacionadas a compras, abastecimento, central logística, tecnologia, gestão de categorias e melhoria dos processos internos	Entrevista semiestruturada

Tabela 3.1 – Caracterização dos casos e dos informantes da aplicação exploratória

Fonte: Elaboração própria com base nas entrevistas realizadas

As evidências obtidas são posteriormente codificadas de acordo com os processos do SCOR-DS e as meta-dimensões da taxonomia, permitindo sua inserção na interface diagnóstica desenvolvida em R/Shiny. A partir dessa sistematização, o grid de maturidade é utilizado para gerar um diagnóstico qualitativo da empresa, destacando níveis de maturidade, pontos fortes, lacunas e possíveis caminhos de melhoria.

3.8 PROTOCOLO DE CODIFICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DAS EVIDÊNCIAS

A análise das entrevistas é conduzida por meio de um protocolo de codificação estruturado, combinando lógica dedutiva e indutiva. A codificação dedutiva utiliza as dimensões previamente definidas na taxonomia e no grid de maturidade, incluindo processos do SCOR-DS, tecnologias habilitadoras, capacidades associadas à Indústria 5.0, construtos de Complex Adaptive Systems (CAS), mecanismos da Resource Orchestration Theory (ROT) e atributos de performance. A codificação indutiva, por sua vez, permite registrar temas emergentes não previstos inicialmente, contribuindo para o refinamento do artefato (DUBOIS; GADDE, 2002; NICKERSON; VARSHNEY; MUNTERMANN, 2013).

As evidências coletadas nas entrevistas são associadas às 42 células do grid de maturidade, permitindo avaliar qualitativamente o nível observado em cada combinação entre processo

SCOR-DS e meta-dimensão. Essa classificação considera a clareza, o detalhamento, a intensidade e a consistência das evidências relatadas, comparando-as aos descritores dos níveis N1 a N5. Quando a evidência é limitada, a classificação é realizada de forma conservadora, sem interpretar automaticamente a ausência de informação como inexistência da prática.

O resultado da análise é interpretado na forma de diagnóstico de maturidade, indicando pontos fortes, lacunas e caminhos de melhoria. Dessa forma, a estratégia analítica não se limita à descrição das entrevistas, mas busca traduzir evidências qualitativas em uma leitura estruturada da maturidade organizacional em relação ao OSCM 5.0.

Para a aplicação no artefato diagnóstico, as entrevistas transcritas são previamente segmentadas conforme o roteiro de pesquisa. Cada pergunta é associada ao respectivo processo SCOR-DS ou ao bloco de contextualização, e as respostas são consolidadas em uma estrutura composta por síntese analítica e trechos literais anonimizados. Esse procedimento permite reduzir ruído textual, preservar evidências empíricas relevantes e alimentar a interface diagnóstica com dados compatíveis com o grid de maturidade. A classificação assistida por IA é posteriormente revisada pelo pesquisador, de modo que o nível final atribuído a cada célula seja resultado da articulação entre evidência empírica, descritor do grid e julgamento interpretativo.

3.9 DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DIAGNÓSTICA

Para operacionalizar a aplicação do grid de maturidade, foi desenvolvida uma interface diagnóstica denominada *OSCM Maturity Analyser*, construída em ambiente R/Shiny, com apoio de rotinas de tratamento de dados e integração com modelo generativo de linguagem via API. A ferramenta tem como objetivo apoiar a transformação das evidências coletadas nas entrevistas em um diagnóstico estruturado da maturidade organizacional em OSCM inteligente, considerando os processos do SCOR-DS e as meta-dimensões da taxonomia proposta.

O instrumento trabalha com uma estrutura de 42 células avaliáveis, resultantes da combinação entre os sete processos do SCOR-DS e as seis meta-dimensões da taxonomia. As respostas das entrevistas são inseridas em formato estruturado, contendo identificação da empresa, código da pergunta e texto da resposta. Para preservar a rastreabilidade da análise, cada resposta é organizada com uma síntese analítica e trechos literais anonimizados da entrevista, permitindo que a classificação esteja vinculada às evidências empíricas efetivamente coletadas.

A classificação assistida por IA é realizada a partir da comparação entre as evidências textuais das entrevistas e os descritores dos níveis N1 a N5 definidos no grid. Essa lógica é coerente com a abordagem de Design Science Research, na qual artefatos podem ser desenvolvidos e avaliados como instrumentos de apoio à solução de problemas organizacionais, desde que sua utilidade, adequação e qualidade sejam examinadas de forma sistemática (HEVNER et al., 2004; PEFFERS et al., 2007). O modelo não atua como fonte autônoma de avaliação, mas como mecanismo de apoio à aplicação do artefato, utilizando a taxonomia e o grid construídos a partir da revisão de literatura e do processo de refinamento teórico e empírico. Para cada célula, a ferramenta gera um nível sugerido, uma justificativa, uma evidência textual e uma medida denominada força da evidência, que indica o grau de aderência entre o relato empírico e o descritor utilizado.

Após a classificação inicial, o pesquisador realiza a revisão interpretativa dentro da própria interface, podendo manter ou ajustar o nível final de maturidade, registrar o status da revisão e inserir observações analíticas. Dessa forma, o diagnóstico final resulta da combinação entre classificação assistida por IA e validação interpretativa do pesquisador, preservando a rastreabilidade entre relato, célula do grid, evidência, justificativa e nível atribuído.

A interface apresenta os resultados por meio de cards de síntese, radar por processo, heatmap processo $\times$ meta-dimensão, gráficos de distribuição e tabela detalhada das células avaliadas. Além disso, permite exportar o diagnóstico em planilha, contendo o nível sugerido pela IA, o nível final revisado, a força da evidência, os trechos utilizados, a justificativa, o path de melhoria e as observações do pesquisador.

3.10 CRITÉRIOS DE QUALIDADE, ÉTICA E LÓGICA DO REFINAMENTO

A qualidade da pesquisa é assegurada por meio da rastreabilidade entre questões de pesquisa, revisão de escopo, dimensões da taxonomia, validação teórica, grid de maturidade, validação por especialistas, roteiro de entrevistas, protocolo de codificação e critérios de geração do diagnóstico. A utilização combinada de literatura, avaliação teórica, validação por especialistas, entrevistas e aplicação em interface diagnóstica contribui para reforçar a coerência interna, a transparência e a utilidade prática do artefato.

No que se refere aos aspectos éticos, a pesquisa observa princípios de consentimento informado, confidencialidade das informações e uso exclusivamente acadêmico dos dados coletados. As entrevistas não buscam dados financeiros, comerciais ou operacionais sensíveis,

concentrando-se na compreensão qualitativa de processos, práticas, tecnologias, capacidades e percepções de maturidade (YIN, 2018; DUBOIS; GADDE, 2002). Quando necessário, nomes de entrevistados, empresas e detalhes organizacionais específicos são preservados.

A lógica de refinamento do artefato é organizada em três versões. A V1 é derivada da revisão de escopo e da articulação entre SCOR-DS, Indústria 5.0, CAS e ROT. A V2 resulta da validação teórica da taxonomia e da estruturação inicial do grid de maturidade. A V3 corresponde à versão consolidada após a avaliação por especialistas, a aplicação exploratória nas empresas, a operacionalização em interface diagnóstica e o refinamento da escala para cinco níveis. Essa evolução preserva o caráter iterativo da Design Science Research e permite que o artefato seja progressivamente ajustado quanto à clareza, capacidade de diferenciação, aplicabilidade e utilidade gerencial (HEVNER et al., 2004; PEFFERS et al., 2007; YIN, 2018).

4 PROPOSTA DA TAXONOMIA E DO GRID DE MATURIDADE

4.1 ESTRUTURA DA TAXONOMIA

Esta seção apresenta a versão teoricamente refinada da taxonomia analítica de OSCM 5.0 baseada no SCOR-DS. Essa versão corresponde à V2 do artefato, resultante da construção preliminar da V1 a partir do corpus principal de 16 artigos da revisão de literatura, da articulação entre SCOR-DS, Indústria 5.0, Complex Adaptive Systems (CAS) e Resource Orchestration Theory (ROT), e do processo de validação teórica descrito na metodologia.

Assim, a V1 é compreendida como a estrutura inicial derivada da literatura e dos referenciais teóricos adotados, enquanto a V2 representa o artefato consolidado nesta etapa do trabalho. Essa versão incorpora ajustes de coerência conceitual, terminologia, distribuição de dimensões, aderência aos processos do SCOR-DS e alinhamento com a lógica de geração de valor e vantagem competitiva.

A taxonomia proposta tem como objetivo oferecer um modelo estruturado para análise de operações e cadeias de suprimentos inteligentes, permitindo compreender como diferentes elementos — tecnologias, capacidades organizacionais e dinâmicas sistêmicas — se combinam ao longo dos processos da cadeia para gerar valor, desempenho e vantagem competitiva.

Como eixo estruturante, adota-se o SCOR Digital Standard 2025, que organiza a cadeia de suprimentos em sete processos principais: *Orchestrate, Plan, Order, Source, Transform, Fulfill* e *Return* (ASCM, 2025). A partir dessa base processual, a estrutura incorpora dimensões analíticas complementares.

A primeira dimensão refere-se ao objetivo funcional de cada processo. A segunda contempla as tecnologias habilitadoras, representando os principais vetores de transformação digital. A terceira corresponde às capacidades de valor associadas à Indústria 5.0, incluindo centralidade humana, sustentabilidade, resiliência e viabilidade sistêmica (IVANOV, 2023; WANG et al., 2022; HINES et al., 2025). A quarta dimensão envolve os construtos de CAS, permitindo interpretar a cadeia como sistema dinâmico caracterizado por interdependência, adaptação, emergência e ciclos de feedback (CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001). A quinta dimensão corresponde aos mecanismos de ROT, que explicam como recursos e capacidades são estruturados, combinados e alavancados ao longo do tempo (SIRMON; HITT; IRELAND, 2007). Por fim, a sexta dimensão incorpora os atributos de performance do SCOR-DS, permitindo avaliar como diferentes configurações impactam resultados operacionais, financeiros, ambientais e sociais (ASCM, 2025).

A Tabela 4.1 sintetiza a estrutura da taxonomia analítica proposta, relacionando os processos do SCOR-DS às dimensões utilizadas para caracterizar OSCM 5.0. A construção da tabela não decorre apenas da organização processual do SCOR-DS, mas também da articulação entre diferentes contribuições da literatura. Os processos de gestão da cadeia são estruturados a partir do SCOR Digital Standard, enquanto as capacidades de valor são fundamentadas nos princípios da Indústria 5.0, especialmente centralidade humana, sustentabilidade, resiliência e viabilidade (ASCM, 2025; IVANOV, 2023; WANG et al., 2022; HINES et al., 2025). As dimensões de dinâmica sistêmica se apoiam na perspectiva de Complex Adaptive Systems, que permite interpretar cadeias de suprimentos como redes interdependentes, adaptativas e sujeitas a feedbacks e efeitos emergentes (CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001). Já a dimensão de orquestração de recursos é sustentada pela Resource Orchestration Theory, segundo a qual a geração de vantagem competitiva depende da forma como recursos são estruturados, combinados e alavancados ao longo do tempo (SIRMON; HITT; IRELAND, 2007). Por fim, a estruturação em dimensões comparáveis e aplicáveis ao diagnóstico dialoga com abordagens de desenvolvimento taxonômico e modelos de maturidade organizacional (NICKERSON; VARSHNEY; MUNTERMANN, 2013; WEKING et al., 2020; DE CAROLIS et al., 2025; GRÜTZNER; BREITNER, 2025).

A versão apresentada no corpo do texto corresponde a uma síntese da taxonomia, com o objetivo de destacar sua lógica estrutural e facilitar a compreensão das dimensões adotadas. A versão expandida da taxonomia, contendo o detalhamento completo dos elementos associados a cada processo do SCOR-DS, encontra-se no Apêndice C.

Processo	Objetivo funcional	Tecnologias habilitadoras	Capacidades de valor (Indústria 5.0)	Construto CAS predominante	Mecanismo ROT predominante	Atributos de performance salientes	Literatura de apoio
Orchestrate	Governança digital, integração de ecossistema e visibilidade 360°	Control towers, digital twin, IA para risco, digital backbone	Resiliência e viabilidade sistêmica	Interdependência massiva e coevolução	Structuring: governança de dados e definição de papéis	Agilidade, confiabilidade, social, ambiental.	ASCM (2025); Ivanov (2023); Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001); Sirmon, Hitt e Ireland (2007).
Plan	Equilíbrio dinâmico oferta/demanda e simulação de cenários proativos	IA/ML para forecasting, analytics prescritivo, digital twins cognitivos	Apoio à decisão e aumento da cognição humana	Adaptação proativa e não linearidade	Bundling: fusão de competência analítica e modelos de dados	Responsividade, agilidade, lucro, ativos.	ASCM (2025); Frederico (2021); Ivanov (2023); Padovano e Ivanov (2025).
Order	Captura inteligente e configuração de pedidos com transparência radical	IA generativa, RFID, sistemas de reconfiguração rápida	Personalização responsável e equidade de canal	Auto-organização local e sistemas sociotécnicos	Leveraging: mobilização de dados de cliente para serviço superior	Confiabilidade, responsividade, social.	ASCM (2025); Frederico (2021); Wang et al. (2022); Govindan et al. (2024).
Source	Aquisição estratégica, responsável e ética em redes resilientes	Blockchain, SRM inteligente, supplier analytics	Sourcing sustentável e impacto social responsável	Complexidade relacional e interdependência de rede	Structuring: organização e seleção da base de fornecimento resiliente	Confiabilidade, agilidade, ambiental, custos.	ASCM (2025); Ivanov (2023); Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001); Sirmon, Hitt e Ireland (2007).
Transform	Manufatura flexível, centrada no humano e circular (10R)	Cobots, IoT, visão computacional, realidade aumentada	Bem-estar operacional, simbiose humano-tecnologia e segurança	Emergência operacional e ciclos de feedback humano-máquina	Bundling: integração de ativos físicos, digitais e humanos	Confiabilidade, custos, social, ambiental.	ASCM (2025); Wang et al. (2022); Hines et al. (2025); Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001).
Fulfill	Logística verde, responsiva e centrada no cliente com visibilidade total	WMS/TMS com IA, roteirização otimizada, plataformas de visibilidade	Logística resiliente com minimização de emissões e última milha humanizada	Efeitos de rede e coordenação adaptativa em malhas complexas	Leveraging: alavancagem da visibilidade para garantir OTIF e serviço	Confiabilidade, responsividade, ambiental, custos.	ASCM (2025); Ivanov (2023); Govindan et al. (2024); Callegi et al. (2024).
Return	Fluxos reversos inteligentes e fechamento de ciclos circulares	Tecnologias 10R, plataformas circulares, monitoramento de condição	Sustentabilidade circular, recuperação de valor e redução de perdas	Ciclos de feedback reversos que alimentam redesign e Transform	Leveraging: recuperação de recursos para vantagem competitiva	Agilidade, ambiental, social, custos.	ASCM (2025); Ivanov (2023); Hines et al. (2025); Callegi et al. (2024).

Tabela 4.1 – Síntese da taxonomia analítica de OSCM inteligente baseada no SCOR-DS

Fonte: Elaboração própria com base em ASCM (2025), Ivanov (2023), Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001), Sirmon, Hitt e Ireland (2007), Nickerson, Varshney e Muntermann (2013) e Weking et al. (2020).

4.2 DESCRIÇÃO DETALHADA POR PROCESSO

4.2.1 ORCHESTRATE

O processo de *Orchestrate* desempenha papel central na coordenação da cadeia de suprimentos, sendo responsável pela integração de dados, governança digital, visibilidade ponta a ponta e alinhamento entre áreas e parceiros. Tecnologias como *control towers*, plataformas integradas e *digital twins* permitem monitoramento em tempo real e suporte à tomada de decisão. Sob a perspectiva de CAS, destacam-se interdependência, coevolução e coordenação entre agentes. Pela ótica da ROT, predominam mecanismos de *structuring*, associados à organização da governança, dos dados e dos recursos informacionais. Esse processo impacta principalmente agilidade, confiabilidade, desempenho ambiental e desempenho social.

4.2.2 PLAN

O processo de *Plan* está associado ao planejamento e à sincronização entre oferta, demanda, capacidade e recursos. Tecnologias como inteligência artificial, aprendizado de máquina, *analytics* preditivo, simulação e cenários apoiam maior antecipação e adaptação decisória (FANI et al., 2023; WANG et al., 2025). Do ponto de vista sistêmico, destacam-se

adaptação, sensibilidade a perturbações e não linearidade. Sob a ótica da ROT, prevalece o *bundling*, pois o valor depende da combinação entre dados, modelos analíticos, conhecimento gerencial e rotinas de planejamento. Os principais impactos concentram-se em responsividade, agilidade, lucro, custos e gestão de ativos.

4.2.3 ORDER

O processo de *Order* envolve a captura, processamento e gestão de pedidos, com forte interface com o cliente. Tecnologias como IA generativa, sistemas inteligentes de recomendação, RFID e plataformas digitais podem ampliar personalização, velocidade e transparência (XIA et al., 2026). Sob a lente de CAS, observam-se auto-organização local e interação sociotécnica. Pela ROT, destaca-se o *leveraging*, uma vez que recursos digitais e informacionais são mobilizados para gerar experiência superior, confiabilidade e responsividade. Os impactos principais recaem sobre confiabilidade, responsividade, agilidade e dimensão social, especialmente quando se considera o uso responsável de dados e a qualidade da interação com clientes.

4.2.4 SOURCE

O processo de *Source* refere-se à aquisição, seleção e gestão de fornecedores. Tecnologias como blockchain, plataformas digitais de compras e sistemas de SRM favorecem rastreabilidade, transparência e coordenação relacional (GOVINDAN et al., 2024; MISHRA et al., 2025). A análise sistêmica evidencia interdependência entre agentes, coevolução com fornecedores e sensibilidade a rupturas na rede. Sob a ótica da ROT, predominam mecanismos de *structuring*, associados à configuração da base de fornecedores e à definição de critérios de seleção, governança e risco. Os efeitos principais são observados em confiabilidade, custos, desempenho ambiental, desempenho social e resiliência da cadeia.

4.2.5 TRANSFORM

O processo de *Transform* abrange as atividades produtivas e representa uma das áreas em que a Indústria 5.0 se manifesta com maior intensidade. Tecnologias como cobots, IoT, visão computacional, sistemas ciberfísicos e automação digital permitem maior eficiência, flexibilidade e integração humano-tecnologia (WANG et al., 2022; HINES et al., 2025; ERIKSSON et al., 2024). Sob a ótica de CAS, emergem dinâmicas de ciclos de feedback, aprendizagem operacional e efeitos em cascata. Pela ROT, destaca-se o *bundling*, pois o desempenho depende da combinação entre ativos digitais, competências humanas, rotinas

produtivas e capacidades organizacionais. Os impactos incluem confiabilidade, custos, gestão de ativos e desempenho social e ambiental.

4.2.6 FULFILL

O processo de *Fulfill* envolve atividades logísticas, distribuição, transporte e entrega ao cliente. Tecnologias como WMS/TMS com IA, roteirização avançada e plataformas de visibilidade contribuem para maior eficiência, rastreabilidade e coordenação logística (CALLEFI et al., 2024; NAYERI et al., 2023). Em termos sistêmicos, observam-se efeitos de rede, coordenação adaptativa e propagação de restrições operacionais. Sob a ótica da ROT, predomina o *leveraging*, pois recursos logísticos, informacionais e analíticos são mobilizados para entregar melhor nível de serviço. Os principais impactos aparecem em responsividade, confiabilidade, custos, gestão de ativos e experiência do cliente.

4.2.7 RETURN

O processo de *Return* trata dos fluxos reversos, devoluções, reaproveitamento, recuperação de valor e economia circular. Tecnologias associadas à rastreabilidade, plataformas digitais e seleção de tecnologias para logística reversa apoiam maior circularidade e redução de perdas (NASEEM et al., 2026; CANNAS et al., 2025; YADAV et al., 2020). Sob a lente de CAS, destacam-se ciclos de feedback reversos que alimentam redesenho de produtos, processos e decisões de planejamento. Pela ROT, predomina o *leveraging*, uma vez que capacidades operacionais e relacionais são mobilizadas para recuperar valor e reduzir impactos ambientais. Os principais impactos concentram-se em desempenho ambiental, custos, agilidade e geração de valor circular.

4.3 MATRIZ PROCESSO X PERFORMANCE (7X8)

A estrutura proposta incorpora uma matriz que relaciona os sete processos do SCOR-DS aos oito atributos de performance — reliability, responsiveness, agility, costs, profit, asset management, environmental e social — definidos pelo próprio modelo como dimensões de desempenho da cadeia (ASCM, 2025). A classificação dos atributos como primários, secundários ou contextuais foi construída a partir da taxonomia analítica proposta e dialoga com a literatura de OSCM inteligente, Indústria 5.0, sistemas adaptativos complexos e orquestração de recursos, ao reconhecer que a geração de valor não ocorre de forma homogênea, mas depende da interação entre processos, tecnologias, capacidades, recursos e objetivos de

desempenho (FREDERICO, 2021; IVANOV, 2023; CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001; SIRMON; HITT; IRELAND, 2007).

A classificação proposta permite compreender que o desempenho da cadeia de suprimentos não é homogêneo, mas distribuído de forma diferenciada ao longo dos processos. Dessa forma, a matriz contribui para uma análise mais precisa e orientada ao diagnóstico de maturidade e à tomada de decisão, permitindo identificar quais dimensões de desempenho devem ser priorizadas em cada processo.

Para facilitar a leitura da matriz, retomam-se as siglas dos atributos de performance do SCOR-DS utilizadas neste trabalho: RL (*reliability* / confiabilidade), RS (*responsiveness* / responsividade), AG (*agility* / agilidade), CO (*costs* / custos), PR (*profit* / lucro), AM (*asset management* / gestão de ativos), EV (*environmental* / ambiental) e SC (*social* / social). Na matriz, cada célula é classificada como P, S ou C, conforme sua relevância relativa para o processo analisado.

Processo SCOR-DS	RL	RS	AG	CO	PR	AM	EV	SC
Orchestrate	P	S	P	S	S	C	P	P
Plan	S	P	P	S	P	P	C	C
Order	P	P	S	S	C	C	C	P
Source	P	S	P	P	S	C	P	S
Transform	P	S	S	P	S	S	P	P
Fulfill	P	P	S	P	S	S	P	C
Return	S	C	P	P	C	C	P	P

 P = Primário
 S = Secundário
 C = Contextual

RL = Reliability
RS = Responsiveness
AG = Agility
CO = Costs
PR = Profit
AM = Assets
EV = Environmental
SC = Social

Tabela 4.2 – Matriz processo x performance da taxonomia analítica proposta

Fonte: Elaboração própria com base em ASCM (2025), Frederico (2021), Ivanov (2023), Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001), Sirmon, Hitt e Ireland (2007) e na taxonomia analítica proposta.

4.4 FRAMEWORK INTEGRADO

O framework integrado consolida a articulação entre a estrutura processual do SCOR-DS, as dimensões analíticas da taxonomia, os atributos de performance e a lógica de maturidade proposta. Sua função é demonstrar como tecnologias habilitadoras, capacidades associadas à Indústria 5.0, dinâmicas sistêmicas e mecanismos de orquestração se distribuem ao longo dos processos da cadeia e se conectam à geração de valor e vantagem competitiva.

No corpo do trabalho, apresenta-se a síntese da estrutura analítica e a matriz processo × performance, de modo a preservar a fluidez da leitura e evitar a sobreposição de tabelas extensas. A versão expandida da taxonomia, contendo a correspondência completa entre processos SCOR-DS, meta-dimensões, dimensões analíticas, perguntas taxonômicas e células por processo, encontra-se no Apêndice C.

Essa organização permite manter o artefato visível no texto principal, ao mesmo tempo em que preserva a rastreabilidade da construção taxonômica em material complementar. Com isso, o framework não atua apenas como representação descritiva, mas como uma ponte entre teoria, diagnóstico gerencial, aplicação exploratória e operacionalização computacional do grid de maturidade.

4.5 GRID DE MATURIDADE E OPERACIONALIZAÇÃO DIAGNÓSTICA DA TAXONOMIA

A taxonomia proposta é operacionalizada por meio de um grid de maturidade, concebido como ferramenta de diagnóstico organizacional. O objetivo do grid é permitir a avaliação qualitativa da maturidade das empresas em relação ao OSCM 5.0, considerando os processos do SCOR-DS, as meta-dimensões da taxonomia, os níveis de desenvolvimento observados e os caminhos de melhoria associados.

O grid funciona como uma camada analítica sobre a taxonomia, permitindo classificar cada célula — definida pela combinação entre processo SCOR-DS e meta-dimensão — em termos de seu nível de maturidade. Dessa forma, a estrutura deixa de ser apenas descritiva e passa a atuar como instrumento de avaliação comparável entre organizações, apoiando a identificação de lacunas, pontos fortes e oportunidades de evolução.

A avaliação é estruturada em cinco níveis: N1 — Inicial, N2 — Em desenvolvimento, N3 — Estruturado, N4 — Integrado e N5 — Adaptativo ou benchmark. Essa lógica é inspirada em abordagens de maturidade digital, desenvolvimento taxonômico e frameworks aplicados em operações e cadeias de suprimentos, nos quais a evolução organizacional é compreendida como passagem de práticas fragmentadas para configurações progressivamente formalizadas,

integradas, orientadas por dados e alinhadas à criação de valor (NICKERSON; VARSHNEY; MUNTERMANN, 2013; DE CAROLIS et al., 2025; GRÜTZNER; BREITNER, 2025; CIANO et al., 2021; CANNAS et al., 2025). A Tabela 4.3 sintetiza a lógica geral dos níveis utilizados no grid.

Nível	Caracterização geral	Interpretação	Base conceitual / literatura de apoio
N1 — Inicial	Práticas fragmentadas, informais e reativas, com baixa integração entre processos, dados, recursos e decisões.	Maturidade inicial	Nickerson, Varshney e Muntermann (2013); De Carolis et al. (2025)
N2 — Em desenvolvimento	Fundamentos começam a ser formalizados em processos críticos, mas permanecem locais, descontínuos ou pouco conectados.	Maturidade inicial em estruturação	De Carolis et al. (2025); Grützner e Breitner (2025)
N3 — Estruturado	Práticas e responsabilidades estão definidas nas principais áreas, com coordenação periódica, integração parcial e uso regular de dados.	Maturidade intermediária	Grützner e Breitner (2025); Ciano et al. (2021)
N4 — Integrado	Processos, dados, recursos e decisões são integrados entre funções e parceiros críticos, com gestão proativa e análise de <i>trade-offs</i> .	Maturidade avançada em integração	De Carolis et al. (2025); Cannas et al. (2025)
N5 — Adaptativo (<i>benchmark</i>)	A cadeia opera de forma <i>end-to-end</i> , sistêmica e adaptativa, com aprendizagem contínua e capacidades da Indústria 5.0 incorporadas à geração de valor.	Maturidade de referência	Cannas et al. (2025); De Carolis et al. (2025)

Tabela 4.3 – Níveis do grid de maturidade para aplicação da taxonomia de OSCM 5.0 baseada no SCOR-DS

Fonte: Elaboração própria com base em Nickerson, Varshney e Muntermann (2013), De Carolis et al. (2025), Grützner e Breitner (2025), Ciano et al. (2021) e Cannas et al. (2025).

A aplicação do grid pressupõe a análise das evidências associadas a cada dimensão, tais como práticas organizacionais, uso de tecnologias, estruturas de governança, mecanismos de coordenação, integração entre processos e resultados operacionais percebidos. A partir dessa análise, cada processo pode apresentar níveis distintos de maturidade em diferentes meta-dimensões, refletindo a natureza heterogênea e adaptativa das cadeias de suprimentos.

Os paths de melhoria foram estruturados como trajetórias progressivas entre níveis adjacentes — N1→N2, N2→N3, N3→N4 e N4→N5 —, e não como prescrições únicas de implementação. Em estágios iniciais, os caminhos privilegiam organização, padronização e formalização; nos níveis intermediários, priorizam integração, monitoramento e uso sistemático de dados; e, nos níveis superiores, envolvem integração interorganizacional, aprendizagem contínua, análise de trade-offs e adaptação proativa. Sua interpretação considera o porte, o setor,

a complexidade operacional e a capacidade de investimento da organização, sem alterar os descritores conceituais do grid.

Para apoiar sua operacionalização, o grid é posteriormente aplicado às evidências qualitativas coletadas nas entrevistas e estruturado em uma interface diagnóstica desenvolvida em R/Shiny. Essa interface permite organizar as respostas, associá-las às dimensões da taxonomia e gerar uma visualização estruturada da maturidade da empresa por processo e meta-dimensão. Assim, a ferramenta não substitui a interpretação do pesquisador, mas contribui para tornar a aplicação do grid mais rastreável, clara e útil para fins gerenciais.

A Tabela 4.4 apresenta exemplos de aplicação do grid diretamente conectados a células específicas da taxonomia. Esses exemplos evidenciam como a estrutura pode ser operacionalizada na prática, conectando processos, meta-dimensões, níveis de maturidade, caminhos de evolução e bases conceituais. Foram selecionados exemplos associados a Plan, Source, Transform, Fulfill e Return, por representarem diferentes tipos de desafios: planejamento adaptativo, sourcing sustentável, aprendizagem produtiva, visibilidade logística e circularidade.

Exemplo de célula	N1	N2	N3	N4	N5	Trajetória de melhoria	Base conceitual
Plan — Infraestrutura digital Tecnologias habilitadoras	Uso pontual de planilhas e dados fragmentados.	Bases padronizadas e relatórios digitais básicos.	Sistemas integrados e <i>analytics</i> descritivo.	<i>Forecasting</i> preditivo, simulação e otimização nos fluxos críticos.	IA/ML, <i>analytics</i> prescritivo e planejamento adaptativo.	Padronizar dados → integrar sistemas → incorporar predição e otimização → avançar para adaptação contínua.	Fani et al. (2023); Nayeri et al. (2023); Padovano e Ivanov (2025)
Source — Capacidades de valor Pilar da Indústria 5.0	Critério dominante de custo.	Qualidade, risco e conformidade começam a complementar o custo.	Risco e sustentabilidade incorporados em fornecedores críticos.	Crítérios ambientais, sociais e de rastreabilidade integrados às decisões.	Sourcing resiliente, rastreável e sustentável.	Ampliar critérios → formalizar avaliações → integrar <i>trade-offs</i> → consolidar aprendizagem com fornecedores.	Zhang et al. (2024); Mishra et al. (2025); Cannas et al. (2025)
Transform — Dinâmica sistêmica Construto CAS	Baixa visibilidade de efeitos em cascata.	Falhas e paradas são registradas, com feedbacks básicos.	Feedback periódico entre equipes, máquinas e gestão.	Ciclos humano-máquina e aprendizagem entre áreas estruturados.	Aprendizagem contínua e adaptação dinâmica da produção.	Registrar falhas → estruturar feedbacks → analisar efeitos sistêmicos → operar aprendizagem contínua.	Dittfeld et al. (2022); Wang et al. (2025); Eriksson et al. (2024)
Fulfill — Infraestrutura digital Tecnologias habilitadoras	WMS/TMS ausentes ou pouco integrados; roteirização manual.	Dados digitalizados e sistemas básicos em fluxos limitados.	WMS/TMS e roteirização utilizados em parte da rede.	Sistemas integrados, visibilidade em tempo real e <i>analytics</i> preditivo.	WMS/TMS com IA, roteirização dinâmica e visibilidade <i>end-to-end</i> .	Digitalizar dados → integrar armazenagem e transporte → ampliar visibilidade → adaptar decisões continuamente.	Callefi et al. (2024); Nayeri et al. (2023); Matey et al. (2024)
Return — Capacidades de valor Pilar da Indústria 5.0	Recuperação de valor e circularidade pouco exploradas.	Oportunidades de reaproveitamento e redução de perdas são identificadas.	Reaproveitamento e recuperação de valor em fluxos específicos.	Circularidade integrada às decisões dos principais fluxos e parceiros.	Recuperação sistêmica de valor e redução contínua de perdas.	Identificar oportunidades → estruturar fluxos → integrar circularidade → fechar ciclos de valor.	Naseem et al. (2026); Cannas et al. (2025)

Tabela 4.4 – Exemplos de aplicação do grid de maturidade de cinco níveis por processo e meta-dimensão

Fonte: Elaboração própria com base em Fani et al. (2023), Govindan et al. (2024), Wang et al. (2022), Hines et al. (2025), Callefi et al. (2024), Nayeri et al. (2023), Cannas et al. (2025), Naseem et al. (2026) e Yadav et al. (2020).

Os exemplos possuem caráter ilustrativo e demonstram como a avaliação de maturidade pode ser utilizada para identificar lacunas e orientar decisões gerenciais. Em particular, observa-se que a transição entre níveis envolve a evolução de práticas fragmentadas para práticas integradas, orientadas por dados e alinhadas aos princípios da Indústria 5.0.

A versão completa do grid de maturidade, organizada por processo SCOR-DS, e sua base conceitual encontram-se no Apêndice C. A estrutura apresentada nesta seção corresponde à versão final do artefato, consolidada após o refinamento teórico, a avaliação por especialistas, a aplicação exploratória nas empresas e a ampliação da escala para cinco níveis. Esse processo fortalece a capacidade do grid de diferenciar práticas e processos em trajetórias distintas de maturidade, preservando a coerência entre taxonomia, diagnóstico e paths de melhoria.

Na aplicação computacional do artefato diagnóstico, cada célula do grid é avaliada a partir das evidências extraídas das entrevistas e comparada aos descritores dos níveis N1 a N5. O resultado não corresponde a uma pontuação exclusivamente quantitativa, mas a uma classificação qualitativa estruturada, apoiada por evidência textual e revisão interpretativa. Assim, o grid funciona como ponte entre a taxonomia teórica e o diagnóstico organizacional, permitindo transformar relatos qualitativos em uma leitura sistemática de maturidade, lacunas e caminhos de evolução.

5 APLICAÇÃO EMPÍRICA DO ARTEFATO DIAGNÓSTICO

Esta seção apresenta a aplicação empírica do artefato diagnóstico desenvolvido neste trabalho. O objetivo é verificar como a taxonomia e o grid de maturidade podem ser utilizados para organizar evidências qualitativas e gerar diagnósticos estruturados de maturidade em cadeias de suprimentos inteligentes.

A aplicação foi realizada a partir de entrevistas semiestruturadas com organizações de diferentes setores, selecionadas por apresentarem processos relevantes de operação, suprimentos, transformação, logística, relacionamento com fornecedores, atendimento a clientes e coordenação organizacional. As entrevistas foram tratadas e inseridas no OSCM Maturity Analyser, ferramenta desenvolvida em R/Shiny para operacionalizar o grid de maturidade.

O artefato trabalha com 42 células avaliáveis, resultantes da combinação entre os sete processos do SCOR-DS e as seis meta-dimensões da taxonomia proposta. A partir das respostas das entrevistas, a ferramenta compara os relatos aos descritores dos níveis N1 a N5, gerando uma classificação inicial assistida por IA. Em seguida, o pesquisador revisa as classificações, as evidências e as justificativas, consolidando o nível final de maturidade de cada célula.

Os resultados são apresentados por organização e, posteriormente, analisados de forma comparativa. A leitura dos casos considera os níveis finais de maturidade, os principais pontos fortes, as lacunas identificadas, as evidências empíricas e os caminhos de melhoria sugeridos pelo grid.

5.1 PREPARAÇÃO DAS EVIDÊNCIAS DAS ENTREVISTAS

As entrevistas foram transcritas e cruzadas com o roteiro de pesquisa, de modo a associar cada trecho ao respectivo código de pergunta e ao processo SCOR-DS correspondente. Como as entrevistas seguiram formato semiestruturado, algumas respostas anteciparam temas de perguntas posteriores ou trouxeram exemplos relacionados a mais de um processo. Por isso, foi necessário organizar analiticamente as falas antes da inserção no artefato.

Para cada organização, foi criado um arquivo estruturado com três campos principais: identificação da empresa, código da pergunta e texto consolidado da resposta. Esse texto combinou uma síntese analítica curta com trechos literais anonimizados da entrevista. Dessa forma, a ferramenta recebeu tanto uma interpretação organizada da resposta quanto evidências textuais diretamente extraídas da fala dos entrevistados.

A anonimização dos trechos foi adotada para preservar a identidade individual dos respondentes, mantendo apenas o conteúdo empírico necessário à análise. Assim, o diagnóstico gerado pelo artefato pôde se apoiar em evidências reais das entrevistas, sem depender apenas de resumos produzidos pelo pesquisador.

Esse procedimento foi aplicado às entrevistas tratadas nesta pesquisa, permitindo transformar relatos extensos em entradas compatíveis com o OSCM Maturity Analyser. Com isso, cada caso passa a ser analisado a partir de uma base padronizada de evidências, preservando a rastreabilidade entre roteiro, fala dos entrevistados, processo SCOR-DS e classificação de maturidade.

5.2 APLICAÇÃO DO OSCM MATURITY ANALYSER

Após a preparação dos arquivos de entrevista, os dados foram inseridos no OSCM Maturity Analyser. Para cada organização, o artefato recebeu o arquivo estruturado com as respostas consolidadas e a versão correspondente da taxonomia e do grid de maturidade. A ferramenta então processou as evidências por processo SCOR-DS, comparando os relatos aos descritores dos níveis N1 a N5 definidos no grid.

A classificação inicial foi realizada com apoio de IA generativa, utilizando exclusivamente as evidências das entrevistas e os descritores definidos no grid de maturidade. Para cada célula processo × meta-dimensão, a ferramenta gerou um nível sugerido, uma justificativa, um trecho de evidência, uma medida de força da evidência e um path de melhoria associado ao grid.

Em seguida, os resultados foram revisados manualmente na própria interface. Essa revisão permitiu confirmar ou ajustar o nível final de maturidade de cada célula, registrar o status da revisão e inserir observações quando necessário. Assim, o diagnóstico final de cada organização não corresponde apenas à classificação automática, mas ao resultado consolidado entre apoio computacional, evidência empírica e julgamento interpretativo do pesquisador.

5.3 CRITÉRIOS DE LEITURA DOS RESULTADOS

A leitura dos resultados gerados pelo OSCM Maturity Analyser foi realizada a partir do nível final de maturidade atribuído a cada célula do grid, após a revisão interpretativa do pesquisador. Embora a ferramenta apresente também o nível inicialmente sugerido pela IA, a análise empírica considera como resultado consolidado o nível final revisado, por refletir a combinação entre evidência textual, critérios do grid e julgamento analítico.

Cada célula avaliada corresponde ao cruzamento entre um processo do SCOR-DS e uma meta-dimensão da taxonomia. A classificação pode assumir cinco níveis: N1 — Inicial, N2 — Em desenvolvimento, N3 — Estruturado, N4 — Integrado e N5 — Adaptativo ou benchmark. Esses níveis representam, respectivamente, práticas fragmentadas; fundamentos em formalização; práticas estruturadas; integração entre funções e parceiros; e uma configuração sistêmica e adaptativa. O score médio por processo sintetiza as seis células, mas sua leitura é complementada pela distribuição interna dos níveis, evitando que médias semelhantes ocultem perfis distintos.

Além do nível de maturidade, a análise considera a força da evidência, entendida como o grau de aderência entre os trechos da entrevista e o descritor utilizado para sustentar a classificação. Esse indicador não representa uma medida estatística, mas um apoio interpretativo para avaliar se a evidência textual é direta, suficiente ou ambígua. Nos casos de evidência fraca, incompleta ou contraditória, a classificação foi tratada de forma conservadora e acompanhada de observação interpretativa, sem assumir que ausência de informação equivale à inexistência da prática.

Os resultados visuais foram utilizados como apoio à interpretação. O radar por processo permite identificar, de forma sintética, quais processos apresentam maior ou menor maturidade relativa. O heatmap processo $\times$ meta-dimensão permite observar lacunas específicas, evidenciando em quais combinações a organização apresenta maior fragilidade ou desenvolvimento. Já os gráficos de distribuição indicam a concentração de células classificadas entre os níveis N1 e N5.

A tabela detalhada do diagnóstico foi utilizada como base principal da análise, pois reúne, para cada célula, o nível sugerido pela IA, o nível final revisado, a evidência textual, a justificativa, a força da evidência, o path de melhoria e eventuais observações do pesquisador. Dessa forma, a interpretação dos resultados não se limita às visualizações agregadas, mas considera a rastreabilidade entre relato empírico, critério do grid e classificação final.

Com base nesses critérios, os diagnósticos individuais são apresentados nas subseções seguintes, destacando os principais pontos fortes, lacunas de maturidade e caminhos de evolução de cada organização analisada.

A comparação entre organizações é interpretada de forma exploratória e contextual, considerando diferenças de setor, porte, configuração operacional e nível de complexidade. Essas características orientam a interpretação da forma como as capacidades se manifestam em cada organização, mas não alteram os descritores conceituais dos níveis N1 a N5. Assim, os

resultados não devem ser lidos como um ranking absoluto entre empresas, mas como uma forma de identificar padrões, lacunas e trajetórias distintas de maturidade em relação ao OSCM 5.0.

5.4 DIAGNÓSTICOS DAS ORGANIZAÇÕES

Esta seção apresenta os diagnósticos individuais das organizações analisadas a partir da aplicação do OSCM Maturity Analyser. Os resultados são interpretados com base na classificação final revisada das 42 células do grid de maturidade, organizadas pela combinação entre os sete processos do SCOR-DS e as seis meta-dimensões da taxonomia. A análise considera os níveis N1 a N5, as evidências textuais extraídas das entrevistas, as justificativas produzidas pela ferramenta e a revisão interpretativa do pesquisador.

A leitura dos resultados não tem como objetivo estabelecer um ranking absoluto entre empresas, mas compreender como diferentes configurações organizacionais apresentam trajetórias distintas de maturidade em OSCM inteligente. Assim, cada caso é analisado em função de seu setor, porte, papel na cadeia, complexidade operacional, disponibilidade de recursos e estágio de digitalização. Em cada organização, são destacados o perfil geral de maturidade, os principais pontos fortes, as lacunas mais relevantes e os caminhos de melhoria sugeridos pelo diagnóstico.

5.4.1 GRUPO RIO ITA

O Grupo Rio Ita atua no setor de transporte coletivo de passageiros, operando múltiplas unidades de negócio, frota própria, estrutura de manutenção e processos de suprimentos voltados principalmente à aquisição de diesel, peças, serviços e ativos necessários à continuidade da operação. No contexto da cadeia de suprimentos, a empresa apresenta elevada criticidade operacional, pois falhas em abastecimento, manutenção, disponibilidade de frota ou coordenação das linhas impactam diretamente a prestação do serviço ao passageiro.

O diagnóstico indica maturidade predominantemente classificada como N2 — Em desenvolvimento, com capacidades localizadas em N3 — Estruturado. Das 42 células avaliadas, 4 foram classificadas em N1, 29 em N2 e 9 em N3, sem ocorrências de N4 ou N5. O score global foi de 2,12 em uma escala de 1 a 5. Embora a empresa não configure um caso benchmark de OSCM 5.0, os resultados indicam que ela já superou o estágio inicial na maior parte das dimensões, mantendo, contudo, integração ainda parcial entre processos, dados e decisões.

A Tabela 5.1 apresenta o score final de maturidade por processo no caso do Grupo Rio Ita, permitindo detalhar a leitura do diagnóstico para além da classificação geral das células.

Processo SCOR-DS	Score final	Nível agregado
Orchestrate	2,50	N3 — Estruturado
Order	2,33	N2 — Em desenvolvimento
Fulfill	2,33	N2 — Em desenvolvimento
Source	2,17	N2 — Em desenvolvimento
Plan	2,00	N2 — Em desenvolvimento
Transform	2,00	N2 — Em desenvolvimento
Return	1,50	N2 — Em desenvolvimento

Tabela 5.1 – Score final e nível agregado de maturidade por processo do Grupo Rio Ita

Fonte: Elaboração própria com base na aplicação do OSCM Maturity Analyser.

A tabela evidencia que Orchestrate apresenta o maior nível de maturidade, com score 2,50 e classificação N3. Order e Fulfill alcançam 2,33; Source, 2,17; Plan e Transform, 2,00; e Return, 1,50, permanecendo agregados em N2. A distribuição interna das células mostra, entretanto, diferentes graus de estruturação: Orchestrate reúne três células N2 e três N3, enquanto Return combina três células N1 e três N2.

A Figura 5.1 apresenta a síntese visual do diagnóstico do Grupo Rio Ita, reunindo os principais resultados da aplicação do artefato em termos de distribuição das células, radar de maturidade por processo, heatmap processo $\times$ meta-dimensão e distribuição geral das classificações.



Figura 5.1 – Síntese visual do diagnóstico do Grupo Rio Ita

Fonte: Elaboração própria com base na aplicação do OSCM Maturity Analyser.

A leitura conjunta da tabela e da figura evidencia uma organização que já superou um estágio predominantemente reativo de gestão da cadeia. A empresa possui processos funcionais, sistemas digitais em uso, práticas de coordenação entre áreas, preocupação com itens críticos de segurança e capacidade de resposta operacional. O uso de BI próprio, plataforma de e-procurement, Centro de Controle Operacional apoiado por GPS e iniciativas iniciais de inteligência artificial indica uma base tecnológica relevante para o porte e o setor analisado.

Entre os principais pontos fortes, destaca-se Orchestrate, sustentado por responsáveis definidos, articulação entre áreas e unidades e mecanismos de acompanhamento da operação. Em Source, observa-se o uso de plataforma de compras, fornecedores homologados, contratos específicos e critérios de avaliação que não se restringem ao preço. Em Fulfill, o Centro de Controle Operacional permite monitorar a frota e coordenar a prestação do serviço em tempo real. Plan e Transform apresentam práticas consistentes em N2, apoiadas, respectivamente, por dados de demanda oriundos dos validadores e por atividades de manutenção, preparação da frota, capacitação técnica e adaptação a novas tecnologias.

As principais lacunas concentram-se em três pontos. Primeiro, apesar da existência de práticas de coordenação, ainda há fragilidade na consolidação de indicadores integrados de desempenho e na conexão entre riscos, recursos e decisões. Segundo, em Order, embora existam fluxos internos estruturados, a dimensão voltada ao passageiro permanece menos desenvolvida, com limitações em CRM, personalização, governança de dados e uso das informações para ampliar a experiência do usuário. Terceiro, Return aparece como o processo de menor maturidade relativa, pois práticas de devolução, reaproveitamento e reciclagem ainda não estão integradas a um sistema formal de logística reversa e aprendizagem.

Os caminhos de melhoria sugeridos indicam que a evolução da empresa deve ocorrer pela integração de práticas já existentes. No curto prazo, destacam-se registros digitais para fluxos reversos, indicadores compartilhados, formalização de ciclos interfuncionais de planejamento e consolidação da governança dos dados do passageiro. No médio e longo prazo, a empresa pode avançar para S&OP/IBP, gestão estruturada de riscos de fornecedores críticos, ampliação da manutenção preditiva, roteirização dinâmica, economia circular rastreável e maior integração digital ponta a ponta.

Dessa forma, o caso do Grupo Rio Ita evidencia uma organização com fundamentos relevantes de OSCM inteligente, predominantemente em N2 e com capacidades estruturadas em Orchestrate. Sua principal oportunidade estratégica está em converter práticas operacionais já existentes em capacidades integradas, conectando tecnologia, pessoas, dados e processos em uma arquitetura mais sistêmica de gestão da cadeia.

5.4.2 TAMOIO MINERAÇÃO

A Tamoio Mineração atua no setor de mineração e produção de agregados minerais, com atividades relacionadas à extração, britagem, armazenagem e expedição de produtos como brita, pó de pedra e derivados. Sua cadeia está fortemente associada à produção de matéria-prima, à venda de cargas de agregados e à articulação com clientes, obras, freteiros e fornecedores de serviços técnicos. Trata-se de uma organização com forte componente operacional, gestão presencial, tomada de decisão centralizada e elevado peso do conhecimento tácito acumulado.

O diagnóstico indica maturidade predominantemente classificada como N1 — Inicial, com capacidades localizadas em N2 — Em desenvolvimento. Das 42 células avaliadas, 28 foram classificadas em N1 e 14 em N2, sem ocorrências de N3, N4 ou N5. O score global foi de 1,33 em uma escala de 1 a 5. Esse resultado posiciona a empresa em estágio inicial de estruturação

em OSCM inteligente, especialmente em relação à integração digital, formalização de processos, indicadores de desempenho, gestão de fornecedores e coordenação sistêmica da cadeia. Ainda assim, a classificação em N1 não deve ser interpretada como ausência de operação funcional, mas como predominância de práticas baseadas em experiência prática, relações interpessoais, adaptação local e mecanismos informais de coordenação.

A Tabela 5.2 apresenta o score final de maturidade por processo no caso da Tamoio Mineração, permitindo observar as diferenças internas entre os processos avaliados.

Processo SCOR-DS	Score final	Nível agregado
Plan	1,83	N2 — Em desenvolvimento
Orchestrate	1,50	N2 — Em desenvolvimento
Transform	1,50	N2 — Em desenvolvimento
Fulfill	1,33	N1 — Inicial
Return	1,17	N1 — Inicial
Order	1,00	N1 — Inicial
Source	1,00	N1 — Inicial

Tabela 5.2 – Score final e nível agregado de maturidade por processo da Tamoio Mineração

Fonte: Elaboração própria com base na aplicação do OSCM Maturity Analyser.

A tabela mostra que Plan apresenta o maior score relativo, seguido por Orchestrate e Transform, todos agregados em N2. Fulfill e Return permanecem em N1, embora com alguma presença de células em N2, enquanto Order e Source aparecem como os processos de menor maturidade, ambos com score 1,00. Essa distribuição indica que a empresa possui capacidades operacionais relevantes e alguma adaptação frente às demandas do negócio, mas ainda sem formalização, digitalização ou integração suficientes para caracterizar processos estruturados.

A Figura 5.2 apresenta a síntese visual do diagnóstico da Tamoio Mineração, reunindo a distribuição das células avaliadas, o radar de maturidade por processo, o heatmap processo × meta-dimensão e a distribuição geral das classificações.



Figura 5.2 – Síntese visual do diagnóstico da Tamoio Mineração

Fonte: Elaboração própria com base na aplicação do OSCM Maturity Analyser.

A leitura conjunta da tabela e da figura evidencia uma empresa cuja maturidade ainda depende fortemente de práticas presenciais, relações pessoais e conhecimento empírico. A governança ocorre de maneira predominantemente informal, com decisões centralizadas e articulação direta entre diretoria, áreas técnicas, operação e administração. Os sistemas digitais existentes são limitados e não configuram uma infraestrutura integrada de gestão da cadeia.

Entre os pontos positivos, destaca-se Plan, processo de maior maturidade relativa. A empresa demonstra capacidade de adaptação frente a ciclos de mercado, sazonalidade, clima, obras públicas e variações de demanda. A criação de um parque industrial consumidor de parte da produção também representa uma resposta estratégica à volatilidade do mercado. Orchestrate e Transform também apresentam capacidades localizadas em N2. Em Orchestrate, há articulação entre produção, engenharia, financeiro e diretoria, além de atenção relevante à segurança, às normas regulatórias e ao relacionamento com a comunidade do entorno. Em Transform, a empresa demonstra conhecimento sobre sua operação produtiva, reconhece efeitos em cascata e possui alguma tecnologia embarcada associada à produção mineral.

As lacunas mais críticas concentram-se em Order e Source. Em Order, a gestão de pedidos é manual e relacional, sem CRM, OMS, portal de pedidos, rastreabilidade da jornada do cliente ou indicadores estruturados de responsividade e confiabilidade. Em Source, a seleção e contratação de fornecedores são orientadas principalmente por preço, disponibilidade, capacidade de execução e conformidade básica, sem segmentação formal por criticidade, risco ou contribuição estratégica. Em Fulfill e Return, embora existam práticas operacionais funcionais, faltam maior formalização, registros estruturados, indicadores e integração com os demais processos da cadeia.

Os caminhos de melhoria sugeridos para a Tamoio devem seguir uma lógica de construção gradual de fundamentos. No curto prazo, as prioridades envolvem formalizar papéis decisórios, documentar processos críticos, criar indicadores básicos de desempenho, padronizar a captura de pedidos, estruturar cadastros de clientes e fornecedores e registrar falhas operacionais, devoluções e efeitos em cascata. No médio e longo prazo, a empresa pode avançar para ciclos formais de planejamento, digitalização gradual de pedidos e compras, monitoramento logístico, desenvolvimento de fornecedores críticos, planejamento preditivo, automação e integração digital.

Dessa forma, o caso da Tamoio Mineração evidencia uma organização em estágio inicial de maturidade OSCM, mas com ativos operacionais e culturais relevantes. Seu principal desafio não é criar uma operação do zero, mas formalizar, medir e digitalizar práticas que hoje dependem fortemente da experiência de pessoas-chave.

5.4.3 GRANFINO

A Granfino atua no setor alimentício, com operações voltadas à industrialização, armazenagem, expedição e distribuição de produtos derivados de milho e itens correlatos, além de atividades associadas à montagem de cestas básicas e ao atendimento de clientes varejistas. A empresa possui infraestrutura fabril própria, centro de distribuição, processos de separação e expedição apoiados por sistemas operacionais e uma estrutura logística orientada ao cumprimento de prazos de entrega. Trata-se de uma organização operacionalmente funcional, mas ainda com baixa integração sistêmica entre os processos da cadeia.

O diagnóstico indica maturidade predominantemente classificada como N1 — Inicial, com capacidades localizadas em N2 — Em desenvolvimento. Das 42 células avaliadas, 26 foram classificadas em N1 e 16 em N2, sem ocorrências de N3, N4 ou N5. O score global foi de 1,38 em uma escala de 1 a 5. Esse resultado posiciona a empresa em estágio inicial de maturidade

em OSCM inteligente, especialmente quanto à governança integrada, ao planejamento estruturado, à gestão de fornecedores, à digitalização analítica e ao uso sistêmico de indicadores. Ainda assim, a organização apresenta capacidades operacionais relevantes, principalmente em Fulfill e, em menor grau, em Transform e Return.

A Tabela 5.3 apresenta o score final de maturidade por processo no caso da Granfino, permitindo observar as diferenças internas entre os processos avaliados.

Processo SCOR-DS	Score final	Nível agregado
Fulfill	2,00	N2 — Em desenvolvimento
Transform	1,50	N2 — Em desenvolvimento
Return	1,50	N2 — Em desenvolvimento
Order	1,33	N1 — Inicial
Orchestrate	1,17	N1 — Inicial
Plan	1,17	N1 — Inicial
Source	1,00	N1 — Inicial

Tabela 5.3 – Score final e nível agregado de maturidade por processo da Granfino

Fonte: Elaboração própria com base na aplicação do OSCM Maturity Analyser.

A tabela mostra que Fulfill apresenta o maior score, com 2,00 e classificação N2. Transform e Return alcançam 1,50 e também são classificados em N2. Order, com 1,33, permanece em N1, assim como Orchestrate e Plan, ambos com 1,17, e Source, com 1,00. Essa distribuição evidencia uma maturidade assimétrica: a empresa possui uma operação logística mais desenvolvida, mas ainda carece de capacidades integradas de governança, planejamento, fornecimento e coordenação sistêmica da cadeia.

A Figura 5.3 apresenta a síntese visual do diagnóstico da Granfino, reunindo a distribuição das células avaliadas, o radar de maturidade por processo, o heatmap processo × meta-dimensão e a distribuição geral das classificações.

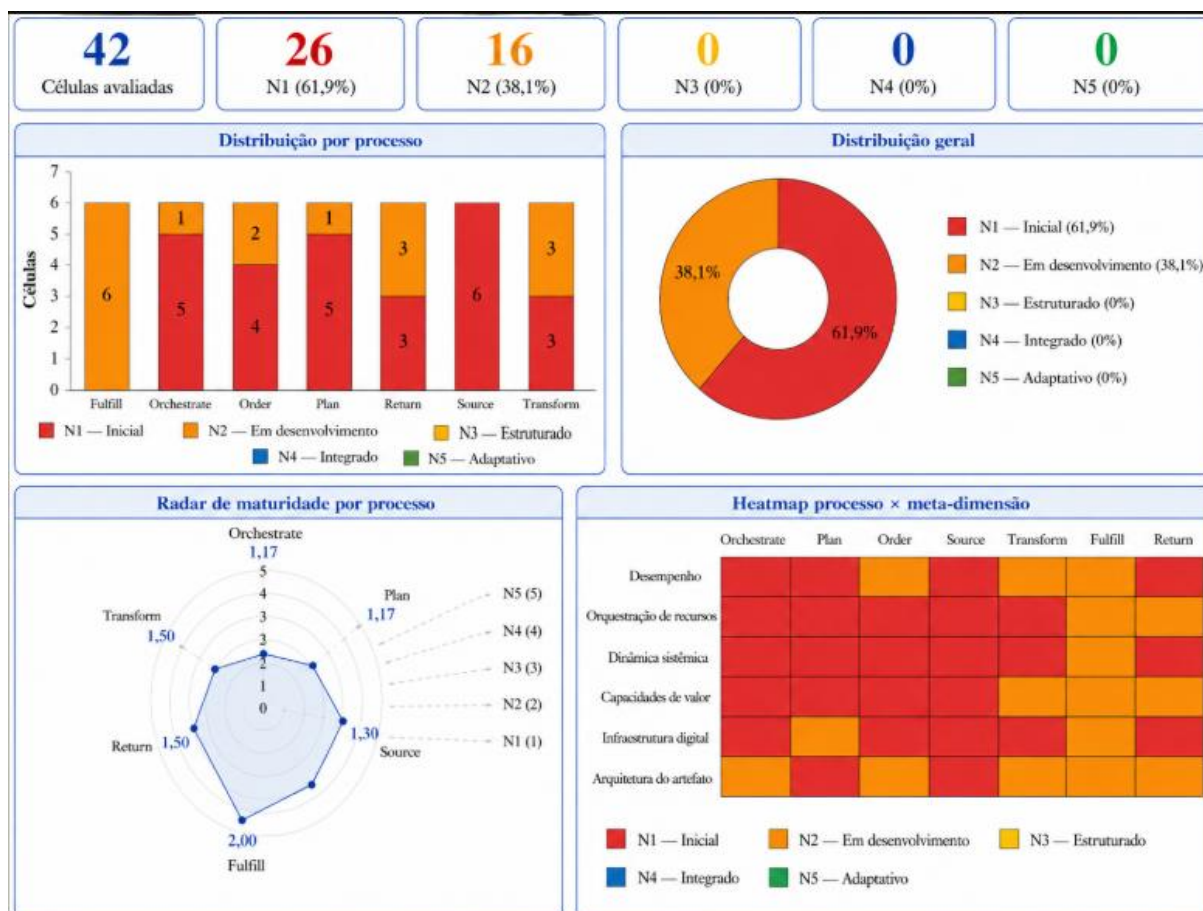


Figura 5.3 – Síntese visual do diagnóstico da Granfino

Fonte: Elaboração própria com base na aplicação do OSCM Maturity Analyser.

A leitura conjunta da tabela e da figura evidencia uma empresa com capacidades operacionais localizadas, mas ainda sem uma arquitetura integrada de gestão da cadeia. O principal ponto forte está em Fulfill, que apresenta todas as seis células classificadas em N2. O uso de WMS, coletores de radiofrequência, boxes por rota, conferência de carregamento e lógica FEFO para controle de validade demonstra uma operação logística mais estruturada do que a observada nos demais processos. Entretanto, a maturidade permanece limitada pela ausência de TMS, roteirização otimizada, indicadores integrados de nível de serviço e conexão plena entre logística, planejamento e experiência do cliente.

Transform e Return também apresentam capacidades em desenvolvimento. Em Transform, a empresa possui infraestrutura fabril, equipamentos e rotinas produtivas estabelecidas, mas ainda com baixa integração entre dados de produção, manutenção, qualidade e planejamento. Em Return, foram identificadas práticas de reaproveitamento, reembalagem, reciclagem de materiais e destinação de produtos avariados para usos alternativos, como cestas básicas, quando possível. Contudo, os fluxos reversos ainda são tratados predominantemente como

ocorrências operacionais, sem rastreabilidade digital, indicadores de recuperação de valor ou ciclos formais de feedback.

As maiores fragilidades aparecem em Orchestrate, Plan e Source. Em Orchestrate, a governança é verticalizada e pouco apoiada por fóruns interfuncionais, painéis integrados ou mecanismos robustos de governança de dados. Em Plan, a empresa opera de forma predominantemente reativa, com produção orientada pela carteira de pedidos em aberto, sem rotinas formais de previsão de demanda, planejamento integrado ou simulação de cenários. Em Source, a gestão de fornecedores é centrada principalmente em preço, prazo de entrega e condições de pagamento, com pouca evidência de critérios formais de sustentabilidade, resiliência, rastreabilidade, risco ou desenvolvimento de parceiros.

Order apresenta score ligeiramente superior aos demais processos em N1, indicando algumas práticas localizadas, mas ainda sem integração suficiente entre pedidos, planejamento, produção e logística. A transmissão e o acompanhamento dos pedidos permanecem parcialmente dependentes de controles manuais e comunicação entre áreas, limitando a rastreabilidade, a responsividade e o uso dos dados para geração de valor ao cliente.

Os caminhos de melhoria sugeridos para a Granfino devem seguir uma lógica de construção de fundamentos antes da adoção de tecnologias avançadas. No curto prazo, destacam-se a formalização de fóruns interfuncionais, a definição de indicadores básicos de desempenho, a estruturação de uma rotina mínima de planejamento de demanda e capacidade, o mapeamento de fornecedores críticos e o registro estruturado de retornos. No médio e longo prazo, a empresa pode avançar para S&OP, integração digital entre pedidos e operação, homologação e avaliação formal de fornecedores, coleta de dados de produção e manutenção, TMS, roteirização otimizada, analytics preditivo e economia circular estruturada.

Dessa forma, o caso da Granfino evidencia uma organização em estágio inicial de maturidade geral, mas com uma ilha operacional mais desenvolvida em Fulfill e capacidades emergentes em Transform e Return. Seu desafio central não é apenas adquirir novas tecnologias, mas integrar capacidades já existentes, formalizar a governança, ampliar o uso de indicadores e conectar dados e decisões entre as áreas.

5.4.4 SUPERMERCADO FEIRA NOVA

O Supermercado Feira Nova atua no setor varejista alimentar, operando uma rede de lojas abastecidas por uma central logística própria. A empresa possui atividades típicas do varejo supermercadista, como compra, armazenagem, distribuição, reposição em loja e atendimento

ao consumidor final, além de operações internas de transformação, como padaria, açougue, confeitaria, restaurante e montagem de cestas básicas. Sua cadeia apresenta elevada complexidade operacional, pois envolve grande variedade de produtos, alta sensibilidade a validade, ruptura, preço, sazonalidade, comportamento do consumidor e relacionamento com fornecedores.

O diagnóstico indica maturidade predominantemente classificada como N2 — Em desenvolvimento, com lacunas relevantes em N1 — Inicial e capacidades localizadas em N3 — Estruturado. Das 42 células avaliadas, 16 foram classificadas em N1, 21 em N2 e 5 em N3, sem ocorrências de N4 ou N5. O score global foi de aproximadamente 1,74 em uma escala de 1 a 5. Esse resultado posiciona a empresa em uma zona de transição: há processos com fundamentos operacionais relevantes, especialmente Return, Fulfill, Orchestrate e Plan, mas também existem fragilidades críticas em Order e Transform.

A Tabela 5.4 apresenta o score final de maturidade por processo no caso do Supermercado Feira Nova, permitindo observar as diferenças internas entre os processos avaliados.

Processo SCOR-DS	Score final	Nível agregado
Return	2,33	N2 — Em desenvolvimento
Fulfill	2,17	N2 — Em desenvolvimento
Orchestrate	2,00	N2 — Em desenvolvimento
Plan	2,00	N2 — Em desenvolvimento
Source	1,67	N2 — Em desenvolvimento
Order	1,00	N1 — Inicial
Transform	1,00	N1 — Inicial

Tabela 5.4 – Score final e nível agregado de maturidade por processo do Supermercado Feira Nova

Fonte: Elaboração própria com base na aplicação do OSCM Maturity Analyser.

A tabela evidencia a assimetria do diagnóstico. Return apresenta o maior score, com 2,33, seguido por Fulfill, com 2,17. Orchestrate e Plan alcançam 2,00, enquanto Source registra 1,67. Order e Transform permanecem em N1, ambos com score 1,00. Essa distribuição mostra que a maturidade da empresa é mais forte na central logística, na gestão de retornos e na coordenação

gerencial do que na digitalização da interface com clientes e na estruturação das atividades internas de transformação.

A Figura 5.4 apresenta a síntese visual do diagnóstico do Supermercado Feira Nova, reunindo a distribuição das células avaliadas, o radar de maturidade por processo, o heatmap processo × meta-dimensão e a distribuição geral das classificações.



Figura 5.4 – Síntese visual do diagnóstico do Supermercado Feira Nova

Fonte: Elaboração própria com base na aplicação do OSCM Maturity Analyser.

A leitura conjunta da tabela e da figura mostra uma empresa com uma espinha dorsal logística e gerencial relativamente estruturada, mas ainda com pontos de fragilidade na ponta comercial, na gestão digital de fornecedores e nas operações internas de transformação. A Feira Nova possui sistemas, rotinas e práticas que sustentam sua operação diária, especialmente na central logística, no planejamento de cobertura e giro e na gestão de avarias. No entanto, a visibilidade digital não se distribui igualmente por toda a cadeia, havendo diferença relevante entre a central, mais controlada e sistematizada, e as lojas e processos internos menos digitalizados.

Entre os principais pontos fortes, destacam-se Return, Fulfill, Orchestrate e Plan. Em Return, a empresa apresenta práticas de reaproveitamento interno, doações por meio do Mesa Brasil, devoluções a fornecedores e uso da malha logística existente para fluxos reversos, o que explica a presença de células em N3. Em Fulfill, a central logística opera com ERP, WMS, disparos automatizados de ressuprimento e entrega diária às lojas, configurando uma base operacional relevante. Em Orchestrate e Plan, há papéis gerenciais definidos, gestores de categoria, uso de histórico de vendas, giro, cobertura, sazonalidade e comparação entre períodos equivalentes para apoiar decisões de compra e abastecimento.

As principais lacunas concentram-se em Order, Transform e parte de Source. Em Order, a relação com clientes B2B ainda é fortemente manual e relacional, com baixa participação do e-commerce, ausência de CRM ou OMS estruturado e pouca transparência digital da jornada do pedido. Em Transform, as atividades internas, como padaria, açougue, confeitaria, restaurante e montagem de cestas, são predominantemente manuais, pouco digitalizadas e com baixa presença de indicadores específicos de produtividade, qualidade, segurança ou desperdício. Em Source, embora existam fornecedores estratégicos e gestão por relacionamento, ainda faltam infraestrutura digital específica, critérios formais de risco, sustentabilidade, rastreabilidade e avaliação periódica estruturada.

Os caminhos de melhoria sugeridos para a Feira Nova devem priorizar a integração entre central logística, lojas, clientes e fornecedores. No curto prazo, destacam-se a digitalização mínima dos pedidos B2B, a organização de dados de clientes e pedidos, a formalização de critérios de avaliação de fornecedores, o mapeamento das atividades de Transform e a criação de rastreabilidade digital para retornos. No médio e longo prazo, a empresa pode avançar para S&OP/IBP, extensão da visibilidade digital às lojas, implantação de CRM ou OMS, e-procurement ou SRM, automação básica em Transform, analytics preditivo, roteirização otimizada e circularidade integrada aos processos de planejamento, fornecedores e operações.

Dessa forma, o caso do Supermercado Feira Nova evidencia uma organização em estágio intermediário-baixo de maturidade OSCM, com capacidades relevantes em Return, Fulfill, Orchestrate e Plan, mas lacunas importantes na digitalização do relacionamento com clientes, na gestão estruturada de fornecedores e na transformação interna. Seu principal desafio estratégico está em estender a maturidade existente na central logística e nos fluxos de retorno para as demais partes da cadeia, especialmente lojas, clientes, fornecedores e operações internas de transformação.

5.5 ANÁLISE COMPARATIVA (CROSS-CASE) E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a apresentação individual dos quatro diagnósticos, esta seção realiza uma análise comparativa dos resultados, buscando identificar padrões comuns, diferenças setoriais e implicações teóricas e gerenciais da aplicação do artefato diagnóstico. A comparação cross-case não tem como objetivo estabelecer um ranking absoluto entre as organizações, uma vez que os casos pertencem a setores distintos e apresentam diferentes modelos operacionais, estruturas de cadeia e pressões competitivas. O objetivo é compreender como a maturidade em OSCM inteligente se manifesta em diferentes contextos organizacionais e como a taxonomia proposta, operacionalizada pelo grid de maturidade, permite revelar lacunas, capacidades e trajetórias de evolução.

A Tabela 5.5 sintetiza os principais achados comparativos dos quatro casos analisados.

Organização	Perfil de maturidade	Processos mais fortes	Processos mais frágeis	Principal interpretação	Prioridade de evolução
Grupo Rio Ita	Predominância em N2, com capacidades localizadas em N3	Orchestrate, Order, Fulfill e Source	Return e lacunas em Order voltado ao passageiro	Possui fundamentos digitais, operacionais e humanos relevantes, mas ainda com integração parcial entre dados, indicadores e decisões	Integrar indicadores, ampliar governança de dados, estruturar Return e desenvolver inteligência voltada ao passageiro
Tamoio Mineração	Predominância em N1, com capacidades localizadas em N2	Plan, Orchestrate e Transform	Order, Source, Return e Fulfill	Opera de forma funcional, mas baseada em conhecimento tácito, relações pessoais, baixa formalização e digitalização limitada	Formalizar processos, indicadores, fornecedores, pedidos e infraestrutura digital básica
Granfino	Predominância em N1, com ilha operacional em N2	Fulfill, Transform e Return	Source, Orchestrate e Plan	Possui operação logística estruturada, mas desconectada de planejamento, governança, sourcing e integração sistêmica	Implantar governança interfuncional, S&OP, gestão de fornecedores e integração dos dados logísticos
Supermercado Feira Nova	Predominância em N2, com lacunas em N1 e células em N3	Return, Fulfill, Orchestrate e Plan	Order, Transform e parte de Source	Tem central logística, planejamento tático e retorno relativamente estruturados, mas lacunas na ponta comercial, fornecedores e transformação interna	Estender visibilidade digital às lojas, estruturar CRM/Order, Source e atividades internas de Transform

Tabela 5.5 – Síntese comparativa dos diagnósticos das organizações

Fonte: Elaboração própria com base nos diagnósticos gerados pelo OSCM Maturity Analyser.

A comparação geral evidencia quatro perfis distintos de maturidade. O Grupo Rio Ita representa o caso mais consolidado, com predominância expressiva de células em N2 e

presença relevante de N3, especialmente em Orchestrate. A empresa apresenta uma base relativamente estruturada de governança, suprimentos, manutenção, controle operacional e uso de sistemas digitais, ainda que sem atingir N4 ou N5 em nenhuma célula. A Feira Nova ocupa uma posição intermediária-baixa, combinando maturidade relevante em Return, Fulfill, Orchestrate e Plan com fragilidades importantes em Order, Transform e parte de Source. A Granfino apresenta maturidade geral inicial, mas com uma ilha clara de estruturação em Fulfill, sustentada por WMS, coletores, controle de validade e práticas logísticas formalizadas. A Tamoio, por sua vez, apresenta estágio inicial de maturidade formal, embora possua conhecimento operacional relevante e capacidade adaptativa baseada em experiência prática.

Um primeiro achado transversal é a ausência de células em N4 e N5 nos quatro casos. Esse resultado sugere que, no conjunto analisado, as organizações ainda não atingiram um patamar integrado ou adaptativo de OSCM inteligente alinhado à Indústria 5.0. Mesmo nos casos com maior estruturação, como Grupo Rio Ita e Feira Nova, as práticas identificadas concentram-se em N2 e N3, indicando trajetórias de formalização, digitalização e integração ainda em desenvolvimento. Isso não significa ausência de capacidades, mas mostra que tecnologias, pessoas, processos e dados ainda não estão plenamente articulados em uma arquitetura sistêmica de geração de valor.

Um segundo padrão comum refere-se ao caráter localizado da digitalização. Nos quatro casos, foram identificadas tecnologias ou sistemas em uso, mas raramente de forma integrada ponta a ponta. No Grupo Rio Ita, há BI, e-procurement, GPS e Centro de Controle Operacional; na Feira Nova, ERP, WMS e automações de ressuprimento; na Granfino, WMS, coletores e sistemas operacionais de expedição; e na Tamoio, controles digitais pontuais associados à produção e à administração. No entanto, essas tecnologias tendem a operar de forma parcial, setorial ou insular, sem configurar uma infraestrutura digital integrada de OSCM. Assim, a maturidade não depende apenas da presença de ferramentas digitais, mas da capacidade de conectá-las a rotinas decisórias, indicadores, governança de dados e coordenação interfuncional.

Um terceiro achado recorrente é a fragilidade da governança integrada e dos indicadores multidimensionais. Mesmo quando existem dados disponíveis, eles nem sempre são convertidos em informação gerencial estruturada, painéis integrados ou mecanismos sistemáticos de tomada de decisão. As empresas tendem a monitorar indicadores locais, associados a produtividade, entrega, estoque, avarias ou custos específicos, mas ainda apresentam dificuldade em conectar confiabilidade, responsividade, agilidade, custos, ativos,

sustentabilidade, dimensão social e vantagem competitiva em uma visão única de desempenho da cadeia. Essa lacuna limita a capacidade de avaliar trade-offs entre processos e dificulta a passagem de uma gestão operacional para uma gestão efetivamente sistêmica.

Na análise por processo, Fulfill aparece como um dos processos mais desenvolvidos em parte dos casos, especialmente quando há pressão operacional direta sobre entrega, abastecimento ou prestação do serviço. No Grupo Rio Ita, o Centro de Controle Operacional e o monitoramento da frota sustentam a entrega do serviço ao passageiro. Na Feira Nova, a central logística, o WMS e o abastecimento diário estruturam a distribuição às lojas. Na Granfino, Fulfill é o processo de maior maturidade, apoiado por WMS, coletores, boxes por rota e lógica FEFO. A exceção é a Tamoio, cuja logística depende fortemente de clientes e freteiros, reduzindo a presença de uma estrutura interna mais formalizada de fulfillment. Esse padrão indica que processos submetidos a pressão operacional imediata tendem a receber maior atenção gerencial e tecnológica.

Em contraste, Order e Source aparecem como processos frágeis em diferentes graus nos quatro casos. Em Order, as lacunas envolvem baixa digitalização da interface com clientes, ausência ou limitação de CRM/OMS, pouca personalização, baixa rastreabilidade da jornada do pedido e uso restrito de dados para geração de valor ao cliente. Essa fragilidade assume formas diferentes: no transporte coletivo, aparece na baixa exploração dos dados do passageiro; na mineração, na gestão manual e relacional dos pedidos; na indústria alimentícia, na transmissão parcial e pouco integrada dos pedidos; e no varejo, na baixa digitalização do relacionamento B2B e no e-commerce ainda residual. Em Source, a fragilidade recorrente está na baixa formalização da gestão de fornecedores. Mesmo quando há fornecedores relevantes e relações comerciais estáveis, ainda são pouco observados mecanismos como SRM, e-procurement, scorecards, avaliação de risco, critérios de sustentabilidade, rastreabilidade e desenvolvimento estruturado de parceiros.

O processo Transform apresentou forte dependência do contexto setorial. No Grupo Rio Ita, Transform está associado à manutenção, preparação da frota, capacitação e confiabilidade operacional, sendo classificado em N2. Na Tamoio, Transform também aparece entre os processos de maior maturidade relativa, por estar diretamente conectado ao coração produtivo da mineração. Na Granfino, apesar do parque fabril e de rotinas produtivas estabelecidas, a transformação ainda carece de integração digital, indicadores multidimensionais e conexão com planejamento e qualidade. Na Feira Nova, Transform é um dos processos mais frágeis, pois as atividades internas de padaria, açougue, confeitaria, restaurante e montagem de cestas

permanecem predominantemente manuais e pouco digitalizadas. Esse resultado reforça a importância de interpretar o grid de maturidade de forma contextualizada, considerando a natureza do processo em cada setor.

Return também apresentou variação relevante entre os casos. Na Feira Nova, o processo apresenta o maior score da organização, apoiado por reaproveitamento interno, gestão de avarias, doações e uso da malha logística existente para fluxos reversos. No Grupo Rio Ita, embora existam práticas pontuais de reciclagem, devolução e reaproveitamento, o processo permanece como a menor maturidade relativa pela ausência de rastreabilidade digital e integração dos fluxos reversos à melhoria contínua. Na Granfino, Return revela práticas emergentes de reaproveitamento, reembalagem e destinação alternativa de produtos avariados, mas ainda pouco sistematizadas. Na Tamoio, o processo é menos central em função da natureza do produto, embora ainda exista oportunidade de registrar exceções, perdas e retornos como fonte de aprendizado. Assim, Return mostra que a maturidade não pode ser avaliada apenas pela frequência operacional do processo, mas pela capacidade de transformar fluxos reversos em recuperação de valor, sustentabilidade e aprendizagem sistêmica.

As diferenças setoriais ajudam a explicar parte das assimetrias observadas. O transporte coletivo exige confiabilidade da frota, segurança, controle operacional e resposta a eventos em tempo real. A mineração analisada opera com forte dependência de ativos produtivos, demanda cíclica, relações locais e conhecimento técnico-operacional. A indústria alimentícia combina produção, validade, expedição, atendimento a varejistas e dependência de matérias-primas. O varejo supermercadista, por sua vez, lida com variedade elevada, perecibilidade, ruptura, sortimento, lojas, fornecedores e comportamento do consumidor. Portanto, a comparação entre casos deve ser entendida como analítica e exploratória, não como hierarquia direta de desempenho entre empresas. O valor do artefato está justamente em permitir uma leitura comparável sem eliminar as especificidades de cada contexto.

Do ponto de vista teórico, os resultados reforçam a utilidade do SCOR-DS como estrutura processual para organizar diagnósticos em setores distintos. Os sete processos funcionaram como uma linguagem comum para comparar empresas com modelos operacionais diferentes, permitindo observar em quais partes da cadeia a maturidade está mais consolidada e onde se concentram as lacunas. Ao mesmo tempo, a análise mostra que o SCOR-DS, isoladamente, não é suficiente para compreender a transição para OSCM inteligente. A incorporação das meta-dimensões da taxonomia permitiu avaliar não apenas a existência dos processos, mas também

sua infraestrutura digital, suas capacidades de valor, sua dinâmica sistêmica, sua orquestração de recursos e sua contribuição para desempenho.

Os achados também reforçam a distinção entre Supply Chain 4.0 e a lógica ampliada da Indústria 5.0. A presença de sistemas digitais, automações ou bases de dados não garante, por si só, maturidade avançada. Nos casos analisados, a digitalização aparece como condição habilitadora, mas não suficiente. A maturidade em OSCM inteligente exige que tecnologias sejam combinadas com centralidade humana, sustentabilidade, resiliência, capacidade adaptativa, aprendizagem organizacional e geração de valor. Essa leitura é especialmente evidente nos casos em que há tecnologia localizada, mas baixa integração com pessoas, rotinas decisórias e indicadores de desempenho.

A perspectiva de Complex Adaptive Systems (CAS) também se mostrou relevante para interpretar os resultados. As entrevistas revelaram que as empresas reconhecem interdependências, perturbações e efeitos em cascata em suas operações. No entanto, esse reconhecimento é geralmente empírico e reativo, e não necessariamente apoiado por modelos, indicadores ou sistemas de monitoramento. A Tamoio percebe efeitos em cascata na produção mineral; a Granfino reconhece gargalos produtivos e impactos na expedição; a Feira Nova identifica relações entre validade, gôndola, loja e central logística; e o Grupo Rio Ita observa interdependências entre frota, manutenção, demanda, suprimentos e operação das linhas. Ainda assim, a gestão dessas interdependências permanece limitada por baixa formalização, pouca simulação de cenários e ausência de mecanismos avançados de antecipação.

A Resource Orchestration Theory (ROT) contribui para explicar por que a posse de recursos não se traduz automaticamente em maturidade. Os casos mostram que empresas podem possuir sistemas, dados, equipamentos, fornecedores e pessoas qualificadas, mas ainda assim não gerar capacidades plenamente integradas. O desafio está em estruturar, combinar e alavancar esses recursos. A Granfino, por exemplo, possui WMS e dados operacionais, mas ainda carece de governança e planejamento integrado. A Feira Nova possui conhecimento gerencial e central logística estruturada, mas precisa estender essa maturidade às lojas, fornecedores e clientes. O Grupo Rio Ita possui ativos digitais e humanos relevantes, mas ainda precisa conectá-los em uma arquitetura mais integrada. A Tamoio possui conhecimento tácito e proximidade operacional, mas precisa formalizar e digitalizar essa base para torná-la replicável e escalável.

A análise comparativa também confirma a utilidade do artefato diagnóstico. O grid permitiu diferenciar empresas e processos que, em uma análise superficial, poderiam ser tratados de forma homogênea. Ele mostrou, por exemplo, que a maturidade inicial da Tamoio não tem o

mesmo significado que a maturidade inicial da Granfino; que a Feira Nova possui capacidades estruturadas em processos específicos, mas lacunas críticas em outros; e que o Grupo Rio Ita, embora seja o caso mais avançado, ainda não apresenta integração suficiente para ser classificado em N4 ou N5. O artefato também permitiu revelar ilhas de maturidade, como Fulfill na Granfino, capacidades localizadas em Return na Feira Nova e lacunas transversais em Order e Source.

Além disso, os paths de melhoria derivados do diagnóstico indicam que a evolução para OSCM inteligente deve seguir uma lógica gradual. Nos casos de menor maturidade, como Tamoio e Granfino, a prioridade não deve ser a adoção imediata de tecnologias avançadas, mas a construção de fundamentos: formalização de processos, definição de responsáveis, criação de indicadores, padronização de dados, estruturação de fornecedores e integração mínima entre áreas. Nos casos em transição, como Grupo Rio Ita e Feira Nova, o desafio passa a ser integrar sistemas já existentes, fortalecer governança de dados, ampliar capacidades analíticas, estruturar feedbacks sistêmicos e conectar sustentabilidade, centralidade humana e resiliência à tomada de decisão.

Assim, a aplicação empírica do artefato responde às perguntas de pesquisa ao demonstrar que a taxonomia proposta permite organizar os elementos da OSCM inteligente em uma estrutura avaliável e aplicável a organizações reais. A combinação entre SCOR-DS, Indústria 5.0, CAS e ROT mostrou-se útil para diagnosticar não apenas o grau de digitalização das empresas, mas a maturidade de suas capacidades de coordenação, adaptação, orquestração de recursos e geração de valor. Os resultados indicam que a transição para OSCM 5.0, no contexto dos casos analisados, não depende apenas de tecnologia, mas da capacidade de transformar práticas operacionais, dados, pessoas e recursos em capacidades integradas, mensuráveis e orientadas por desempenho multidimensional.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver, refinar e aplicar de forma exploratória uma taxonomia analítica de Operations and Supply Chain Management (OSCM) inteligente baseada no SCOR-DS, operacionalizada por meio de um grid de maturidade e de uma ferramenta diagnóstica. As questões de pesquisa foram endereçadas ao demonstrar que a transição para uma OSCM 5.0 não se limita à adoção de tecnologias digitais, mas envolve a articulação entre processos, dados, pessoas, sustentabilidade, resiliência, adaptação sistêmica e geração de valor. A construção e aplicação do artefato permitiram combinar os processos do SCOR-DS com meta-dimensões associadas à infraestrutura digital, capacidades de valor, dinâmica sistêmica, orquestração de recursos e desempenho, traduzindo esses elementos em uma estrutura avaliativa composta por 42 células e cinco níveis de maturidade.

Do ponto de vista teórico, a principal contribuição do trabalho está na proposição de uma taxonomia integrada para OSCM inteligente. O SCOR-DS forneceu a estrutura processual do artefato; a Indústria 5.0 ampliou a análise para centralidade humana, sustentabilidade, resiliência e viabilidade; a lente de Complex Adaptive Systems (CAS) permitiu interpretar interdependências, efeitos em cascata e adaptação; e a Resource Orchestration Theory (ROT) contribuiu para explicar que recursos tecnológicos, humanos e informacionais só geram valor quando são estruturados, combinados e alavancados em capacidades organizacionais. Assim, a taxonomia contribui para integrar conceitos que frequentemente aparecem de forma fragmentada na literatura sobre digitalização, maturidade, adaptação e desempenho em cadeias de suprimentos.

Do ponto de vista prático e metodológico, o trabalho contribui ao transformar a taxonomia em um grid de maturidade aplicável, composto por células avaliativas associadas aos sete processos do SCOR-DS e às meta-dimensões propostas. A criação do OSCM Maturity Analyser permitiu operacionalizar esse grid em uma interface diagnóstica com apoio de IA generativa, capaz de organizar evidências qualitativas, sugerir classificações, justificar avaliações, indicar força da evidência e gerar caminhos de melhoria. A ferramenta não substitui a interpretação do pesquisador, mas apoia a análise qualitativa, a comparação entre processos e a construção de roadmaps gerenciais. A escala final em cinco níveis — N1 Inicial, N2 Em desenvolvimento, N3 Estruturado, N4 Integrado e N5 Adaptativo ou benchmark — ampliou a capacidade discriminante do diagnóstico, especialmente para diferenciar organizações e processos em estágios intermediários.

Os resultados empíricos indicaram que as organizações analisadas ainda se encontram em trajetórias de transição para OSCM inteligente. Nenhuma delas atingiu N4 ou N5 nas células avaliadas, o que sugere que integração sistêmica, uso avançado de dados, governança multidimensional, circularidade, resiliência e centralidade humana ainda estão em desenvolvimento. O Grupo Rio Ita apresentou o perfil mais consolidado, com predominância em N2 e capacidades localizadas em N3; o Supermercado Feira Nova apresentou maturidade intermediária-baixa, com forças em Return, Fulfill, Orchestrate e Plan; a Granfino revelou predominância em N1, mas com uma ilha operacional em Fulfill e capacidades emergentes em Transform e Return; e a Tamoio Mineração apresentou maturidade inicial, fortemente apoiada em conhecimento tácito, práticas relacionais e adaptação local. Em conjunto, os casos reforçam que a maturidade em OSCM 5.0 depende menos da simples presença de tecnologia e mais da capacidade de integrar tecnologia, processos, pessoas, dados e desempenho em uma arquitetura organizacional coerente.

Como limitações, destaca-se o caráter exploratório da aplicação empírica, restrita a quatro organizações e baseada principalmente em entrevistas com informantes-chave. Os diagnósticos não devem ser interpretados como auditorias operacionais, rankings absolutos ou medições estatísticas generalizáveis, mas como avaliações qualitativas apoiadas pelas evidências disponíveis. Além disso, o N5 foi tratado como referência conceitual de maturidade adaptativa e benchmark, não como parâmetro estatístico calibrado para o contexto brasileiro ou para setores específicos. Para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar a aplicação do artefato a mais empresas e setores, incorporar múltiplos respondentes por organização, combinar entrevistas com indicadores quantitativos e documentos internos, testar pesos diferenciados por processo ou setor, avaliar a sensibilidade das classificações e acompanhar a evolução das empresas de forma longitudinal. Também se sugere aprofundar a calibração setorial do grid, investigando como porte, setor e complexidade operacional influenciam a manifestação das capacidades sem alterar os descritores conceituais dos níveis de maturidade.

REFERÊNCIAS

ARKSEY, Hilary; O'MALLEY, Lisa. Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 19-32, 2005.

ASSOCIATION FOR SUPPLY CHAIN MANAGEMENT (ASCM). SCOR Digital Standard. Chicago: ASCM, 2025.

CALLEFI, Mario Henrique; GANGA, Gilberto Miller Devós; GODINHO FILHO, Moacir; RIBEIRO DA SILVA, Elias; OSIRO, Lauro; REIS, Vasco. Illuminating the road ahead: unlocking the potential of ICTs for enhanced data visibility in road transportation. *Industrial Management & Data Systems*, [s. l.], v. 124, n. 2, p. 786-819, 2024.

CANNAS, Violetta Giada; POZZI, Rossella; SAPORITI, Nicolò; URBINATI, Andrea. Unveiling the interaction among circular economy, industry 4.0, and lean production: a multiple case study analysis and an empirically based framework. *International Journal of Production Economics*, [s. l.], v. 279, 109537, 2025.

CHOI, Thomas Y.; DOOLEY, Kevin J.; RUNGTUSANATHAM, Manus. Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence. *Journal of Operations Management*, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 351-366, 2001.

CIANO, Maria Pia; DALLASEGA, Patrick; ORZES, Guido; ROSSI, Tommaso. One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and Lean Production techniques: a multiple case study. *International Journal of Production Research*, [s. l.], v. 59, n. 5, p. 1386-1410, 2021.

DE CAROLIS, Anna; SASSANELLI, Claudio; ACERBI, Federica; MACCHI, Marco; TERZI, Sergio; TAISCH, Marco. The Digital REadiness Assessment MaturitY (DREAMY) framework to guide manufacturing companies towards a digitalisation roadmap. *International Journal of Production Research*, [s. l.], v. 63, n. 15, p. 5555-5581, 2025.

DITTFELD, Hendryk; VAN DONK, Dirk Pieter; VAN HUET, Sam. The effect of production system characteristics on resilience capabilities: a multiple case study. *International Journal of Operations & Production Management*, [s. l.], v. 42, n. 13, p. 103-127, 2022.

DUBOIS, Anna; GADDE, Lars-Erik. Systematic combining: an abductive approach to case research. *Journal of Business Research*, [s. l.], v. 55, n. 7, p. 553-560, 2002.

ERIKSSON, Kristina M. et al. Digital automation and Industry 5.0 in manufacturing. *Technological Sustainability*, [s. l.], 2024.

FANI, Virginia; AN TOMARIONI, Sara; BANDINELLI, Romeo; BEVILACQUA, Maurizio. Data-driven decision support tool for production planning: a framework combining association rules and simulation. *Computers in Industry*, [s. l.], v. 144, 103800, 2023.

FREDERICO, Guilherme F. From Supply Chain 4.0 to Supply Chain 5.0: findings from a systematic literature review and research directions. *Logistics*, [s. l.], v. 5, n. 3, 49, 2021.

GOVINDAN, Kannan; JAIN, Preeti; SINGH, Rajesh Kr.; MISHRA, Ruchi. Blockchain technology as a strategic weapon to bring procurement 4.0 truly alive: literature review and future research agenda. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, [s. l.], v. 181, 103352, 2024.

GRÜTZNER, Lukas; BREITNER, Michael H. Bridging the implementation gap in MCABC inventory management from a maturity perspective: a taxonomy-based approach. *International Transactions in Operational Research*, [s. l.], 2025.

HEVNER, Alan R.; MARCH, Salvatore T.; PARK, Jinsoo; RAM, Sudha. Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HINES, Peter; MAGNANI, Florian; MULA, Josefa; SANCHIS, Raquel. Toward lean industry 5.0: a human-centered model for integrating lean and industry 4.0 in an automotive supplier. *International Journal of Production Research*, [s. l.], 2025.

IVANOV, Dmitry. The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. *International Journal of Production Research*, [s. l.], v. 61, n. 5, p. 1683-1695, 2023.

LATINO, Maria Elena et al. The digital and sustainable transition of the agri-food sector: maturity and Operator 5.0. *Technological Forecasting and Social Change*, [s. l.], 2025.

MANTRAVADI, Soujanya; SINGH SRAI, Jagjit; MØLLER, Charles. Application of MES/MOM for Industry 4.0 supply chains: a cross-case analysis. *Computers in Industry*, [s. l.], v. 148, 103907, 2023.

MATEY, Shweta V.; RAUT, Dadarao N.; PANSARE, Rajesh B.; KANT, Ravi. A hybrid framework to prioritize the performance metrics for blockchain technology adoption in manufacturing industries. *Journal of Modelling in Management*, [s. l.], 2024.

MISHRA, Ruchi et al. Blockchain technology in sustainable procurement. *Journal of Business & Industrial Marketing*, [s. l.], 2025.

NASEEM, Muhammad Hamza; GUO, Jiequn; HUI, Shu; CALLEFI, Mario Henrique; ZIQUAN, Xiang; GODINHO FILHO, Moacir. A decision framework for selecting Industry 4.0 technologies in perishable goods reverse logistics. *Journal of Enterprise Information Management*, [s. l.], 2026.

NAYERI, Sina; SAZVAR, Zeinab; HEYDARI, Jafar. Towards a responsive supply chain based on the Industry 5.0 dimensions: a novel method. *Expert Systems with Applications*, [s. l.], 2023.

NICKERSON, Robert C.; VARSHNEY, Upkar; MUNTERMANN, Jan. A method for taxonomy development and its application in information systems. *European Journal of Information Systems*, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 336-359, 2013.

PADOVANO, Antonio; IVANOV, Dmitry. Towards resilient and viable supply chains: a multidimensional model and empirical analysis. *International Journal of Production Research*, [s. l.], v. 63, n. 17, p. 6252-6290, 2025.

PEFFERS, Ken; TUUNANEN, Tuure; ROTHENBERGER, Marcus A.; CHATTERJEE, Samir. A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

SIRMON, David G.; HITT, Michael A.; IRELAND, R. Duane. Managing firm resources in dynamic environments to create value: looking inside the black box. *Academy of Management Review*, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 273-292, 2007.

WANG, Baicun; ZHENG, Pai; YIN, Yue; SHIH, Albert; WANG, Lihui. Toward human-centric smart manufacturing: a human-cyber-physical systems (HCPS) perspective. *Journal of Manufacturing Systems*, [s. l.], v. 63, p. 471-490, 2022.

WANG, Miao; TONG, Yifei; ZHUANG, Cunbo. Towards resilience in Industry 5.0: application of system dynamics in matrix-structured manufacturing. *International Journal of Production Research*, [s. l.], 2025.

WEKING, Jörg; STÖCKER, Maria; KOWALKIEWICZ, Marek; BÖHM, Markus; KRCMAR, Helmut. Archetypes for Industry 4.0 business model innovations. In: *AMERICAS CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS*, 24., 2018, New Orleans. Proceedings [...] [S. l.]: Association for Information Systems, 2018.

WEKING, Jörg; HEIN, Andreas; BÖHM, Markus; KRCMAR, Helmut. A hierarchical taxonomy of business model patterns. *Electronic Markets*, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 447-468, 2020.

XIA, Yanfang; QIU, Yong; GU, Zhuoyu; ZHANG, Liang; YANG, Jiayu. Leveraging generative AI and circular innovation for equitable and resilient supply chains: the mediating role of transparency and sustainability-oriented decision empowerment. *Technological Forecasting and Social Change*, [s. l.], v. 225, 124556, 2026.

YADAV, Gunjan; LUTHRA, Sunil; JAKHAR, Suresh Kumar; MANGLA, Sachin Kumar; RAI, Dhiraj P. A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: an automotive case. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 254, 120112, 2020.

YIN, Robert K. *Case study research and applications: design and methods*. 6. ed. Thousand Oaks: Sage, 2018.

ZHANG, Xiyi; VAN DONK, Dirk Pieter; XIAO, Cheng-Yong; PULLMAN, Mellie. Finding the right one: understanding the supplier selection process of social enterprises. *International Journal of Operations & Production Management*, [s. l.], v. 44, n. 13, p. 195-228, 2024.

APÊNDICE A – ELEMENTOS CONCEITUAIS COMPLEMENTARES

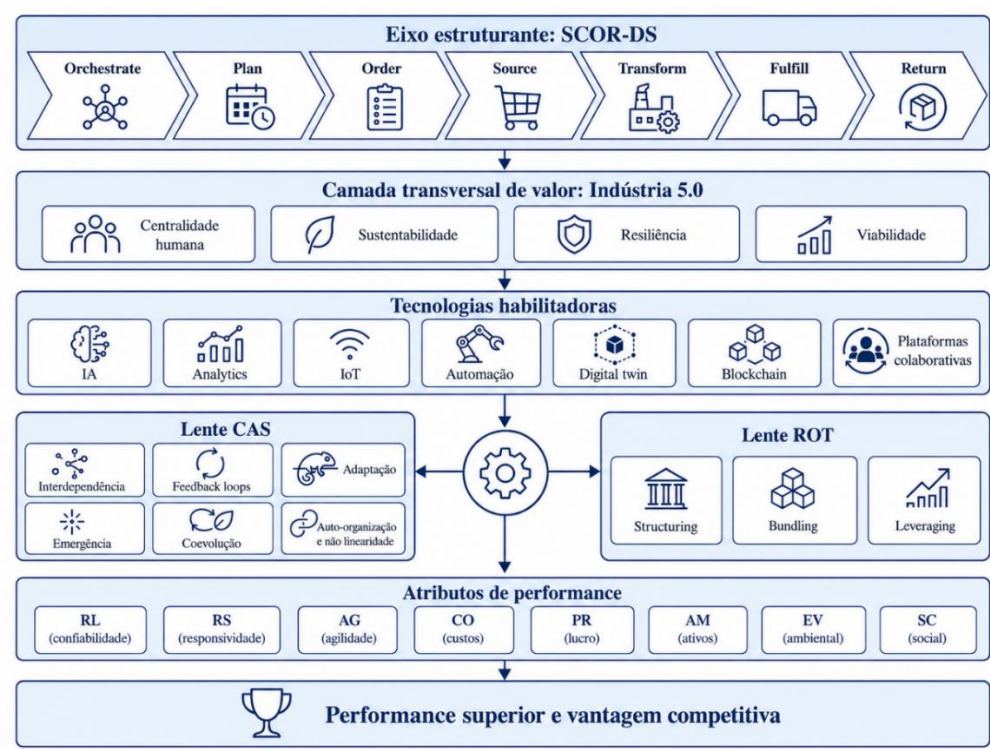


Figura A.1 – Estrutura conceitual preliminar da taxonomia de OSCM inteligente na era da Indústria 5.0

Fonte: Elaboração própria com base em ASCM (2025), Ivanov (2023), Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001) e Sirmon, Hitt e Ireland (2007).

Base teórica/analítica	Papel no framework	Contribuições principais para o estudo	Principais referências
SCOR-DS	Espinha dorsal processual do framework	Organiza o OSCM em sete processos integrados e oito atributos de performance.	ASCM (2025)
Indústria 5.0	Camada transversal de valor	Introduz centralidade humana, sustentabilidade, resiliência e viabilidade como princípios que requalificam a transformação digital e a performance.	Ivanov (2023); Wang et al. (2022); Hines et al. (2025)
Complex Adaptive Systems (CAS)	Lente de dinâmica sistêmica	Explica interdependência, ciclos de feedback, adaptação, emergência, coevolução, auto-organização e não linearidade entre processos, atores e tecnologias.	Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001)
Resource Orchestration Theory (ROT)	Lente de orquestração de recursos e criação de valor	Explica como a ação gerencial estrutura, combina e alavanca recursos tangíveis, intangíveis, digitais e humanos para gerar capacidades e valor.	Sirmon, Hitt e Ireland (2007)
Atributos de performance do SCOR-DS	Base analítica para avaliação de resultados	Permitem analisar o desempenho por processo a partir de confiabilidade, responsividade, agilidade, custos, lucro, ativos, ambiental e social.	ASCM (2025)

Tabela A.1 – Bases teóricas e analíticas da taxonomia proposta

Fonte: Elaboração própria com base em ASCM (2025), Ivanov (2023), Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001), Sirmon, Hitt e Ireland (2007), Nickerson, Varshney e Muntermann (2013) e Weking et al. (2020).

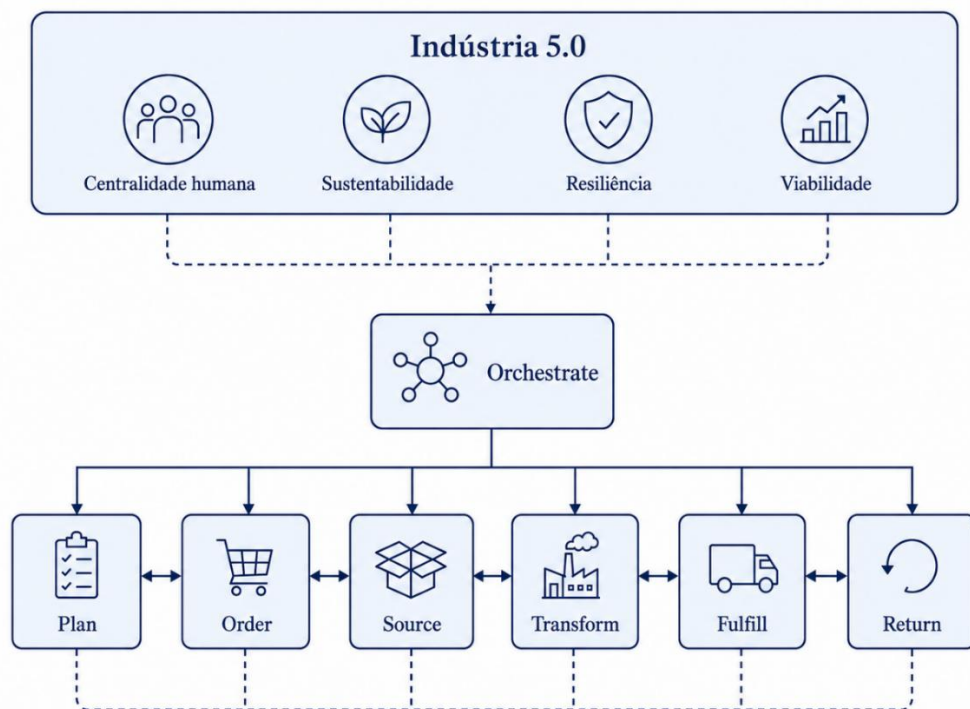


Figura A.2 – Indústria 5.0 como camada transversal de valor sobre os processos do SCOR-DS

Fonte: Elaboração própria com base em ASCM (2025), Ivanov (2023), Wang et al. (2022) e Hines et al. (2025).

Processo SCOR-DS	Atributos de performance mais relevantes	Síntese analítica
Orchestrate	AG, RL, EV, SC	Governança, alinhamento interfuncional, visibilidade, risco e direção da cadeia.
Plan	RS, AG, PR, AM	Balanceamento entre demanda, capacidade, materiais, riscos e cenários.
Order	RL, RS, SC	Captura, configuração, promessa e gestão do pedido.
Source	RL, AG, CO, EV	Abastecimento estratégico e operacional, seleção e desenvolvimento de fornecedores.
Transform	RL, CO, EV, SC	Transformação de materiais, serviços ou MRO em outputs úteis ao cliente.
Fulfill	RL, RS, CO, EV	Separação, expedição, transporte, atendimento e entrega.
Return	AG, CO, EV, SC	Devoluções, reverse logistics, reaproveitamento, MRO e circularidade.

Tabela A.2 – Atributos de performance primários por processo SCOR-DS

Fonte: Elaboração própria com base em ASCM (2025).

Construto CAS	Definição operacional	Processos SCOR-DS mais aderentes	Exemplo de aplicação em OSCM
Interdependência	Conexões mútuas entre processos, atores e decisões	Orchestrate, Source, Fulfill	Uma decisão de sourcing afeta a capacidade de Transform e o desempenho de Fulfill.
Feedback loops	Sinais de retorno que amplificam ou amortecem comportamentos	Orchestrate, Transform, Return	Dados de falha e retorno alimentam ajustes em Source, Transform e planejamento.
Adaptação	Ajuste de comportamento em resposta a mudanças no ambiente	Plan, Source, Fulfill	Replanejamento em Plan diante de ruptura de fornecedor ou mudança na demanda.
Emergência	Propriedades do sistema que não derivam de partes isoladas	Orchestrate, Transform, Fulfill	O nível de serviço emerge da interação entre Plan, Source, Transform e Fulfill.
Coevolução	Mudança simultânea e mutuamente influenciada entre atores	Orchestrate, Source	Fornecedor e comprador evoluem juntos em capacidades de sustentabilidade e rastreabilidade.
Auto-organização	Padrões emergentes sem direção central explícita	Order, Transform	Operadores e equipes ajustam localmente rotinas diante de exceções ou variabilidade.
Não linearidade	Pequenas causas podem gerar grandes efeitos, e vice-versa	Plan, Source, Fulfill	Um atraso pontual em Source gera cascata de reprogramação em toda a cadeia.

Tabela A.3 – Construtos centrais de CAS e sua aplicação aos processos SCOR-DS

Fonte: Elaboração própria com base em Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001), Dittfeld, Van Donk e Van Huet (2022), Padovano e Ivanov (2025), Zhang et al. (2024) e Cannas et al. (2025).

Mecanismo ROT	Definição operacional	Processos SCOR-DS mais aderentes	Exemplos de aplicação
Structuring	Adquirir, selecionar, acumular, realocar e proteger recursos.	Orchestrate, Source	Governança de dados, definição de papéis, reorganização da base de fornecedores e estruturação de ativos e relacionamentos críticos.
Bundling	Combinar recursos em capacidades operacionais e gerenciais.	Plan, Transform	Integração de dados, modelos analíticos e competências; combinação de IA/ML, gêmeos digitais, IoT e know-how operacional para planejamento e execução adaptativos.
Leveraging	Mobilizar e implantar capacidades para capturar valor competitivo.	Order, Fulfill, Return	Uso da visibilidade ponta a ponta e de capacidades digitais para melhorar promessa de entrega, nível de serviço, OTIF e recuperação de valor nos fluxos reversos.

Tabela A.4 – Mecanismos de ROT e sua distribuição predominante nos processos do SCOR-DS

Fonte: Elaboração própria com base em Sirmon, Hitt e Ireland (2007), Govindan et al. (2024), Calfe et al. (2024) e Zhang et al. (2024).

APÊNDICE B – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS



Figura B.1 – Fluxo de seleção dos documentos da revisão de escopo

Fonte: Elaboração própria

Campo de extração	Descrição detalhada	Finalidade analítica no estudo
Referência do estudo	Autores, ano, periódico e contexto do artigo analisado	Garantir rastreabilidade e organização estruturada do corpus
Processo SCOR-DS	Identificação do processo da cadeia (Orchestrate, Plan, Order, Source, Transform, Fulfill, Return)	Classificar evidências segundo a lógica processual do SCOR-DS
Objetivo funcional	Papel desempenhado pelo processo no contexto da cadeia	Identificar a função gerencial e operacional associada a cada processo
Tecnologias habilitadoras	Tecnologias digitais utilizadas (IA/ML, IoT, analytics, blockchain, digital twins, WMS/TMS etc.)	Mapear vetores de transformação digital nas operações
Capacidades de valor (Indústria 5.0)	Associação com centralidade humana, sustentabilidade, resiliência e viabilidade	Conectar práticas aos princípios da Indústria 5.0
Atributos de performance	Dimensões de desempenho analisadas (RL, RS, AG, CO, PR, AM, EV, SC)	Avaliar impacto sobre o desempenho da cadeia
Construto CAS predominante	Elementos como interdependência, feedback loops, adaptação, emergência, coevolução, auto-organização e não linearidade	Interpretar a dinâmica sistêmica das cadeias
Mecanismo ROT predominante	Structuring, bundling e leveraging dos recursos organizacionais	Compreender geração de valor e vantagem competitiva a partir da orquestração de recursos
Principais achados	Resultados empíricos e contribuições centrais do estudo	Identificar padrões, convergências e evidências relevantes
Aplicação na análise	Como o artigo contribui para a estrutura analítica	Alimentar diretamente a construção da VI

Tabela B.1 – Estrutura de extração de dados da revisão de escopo

Fonte: Elaboração própria com base em Arksey e O'Malley (2005).

Dimensão analítica	Descrição detalhada	Referencial teórico associado
Objetivo funcional	Define o papel e a função do processo dentro da cadeia de suprimentos	SCOR-DS (ASCM, 2025)
Tecnologias habilitadoras	Ferramentas digitais que suportam ou transformam o processo	Literatura de OSCM inteligente
Capacidades de valor	Capacidades associadas à Indústria 5.0 (humano, sustentável, resiliente e viável)	Ivanov (2023); Wang et al. (2022); Hines et al. (2025)
Dinâmica sistêmica	Comportamentos emergentes como adaptação, interdependência e feedback	CAS (Choi, Dooley e Rungtusanatham, 2001)
Orquestração de recursos	Como recursos são estruturados, combinados e alavancados	ROT (Sirmon, Hitt e Ireland, 2007)
Atributos de performance	Impactos no desempenho (eficiência, responsividade, sustentabilidade, etc.)	SCOR-DS (ASCM, 2025)

Tabela B.2 – Dimensões analíticas utilizadas na construção da V1

Fonte: Elaboração própria com base em ASCM (2025), Ivanov (2023), Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001), Sirmon, Hitt e Ireland (2007), Nickerson, Varshney e Muntermann (2013) e Weking et al. (2020).

Elemento avaliado	Fonte de validação	Objetivo da validação	Tipo de ajuste esperado
Estrutura processual (SCOR-DS)	ASCM (2025)	Verificar aderência ao modelo padrão e consistência da organização por processos	Ajustes de escopo, nomenclatura e delimitação dos processos
Dimensões da Indústria 5.0	Ivanov (2023); Wang et al. (2022); Hines et al. (2025)	Validar alinhamento com princípios de centralidade humana, sustentabilidade, resiliência e viabilidade	Refinamento das capacidades de valor associadas a cada processo
Construtos de CAS	Literatura acadêmica (Choi, Dooley e Rungtusanatham, 2001)	Confirmar coerência na interpretação da cadeia como sistema adaptativo complexo	Ajustes na leitura de interdependência, adaptação, feedback e emergência
Mecanismos de ROT	Literatura acadêmica (Sirmon, Hitt e Ireland, 2007)	Validar lógica de orquestração de recursos ao longo dos processos	Refinamento das categorias de <i>structuring</i> , <i>bundling</i> e <i>leveraging</i>
Atributos de performance	SCOR-DS (ASCM, 2025) e literatura aplicada	Garantir consistência na análise de desempenho e sua distribuição por processo	Ajustes na classificação como primário, secundário ou contextual

Tabela B.3 – Procedimentos de validação teórica da estrutura analítica

Fonte: Elaboração própria com base em Hevner et al. (2004), Peffers et al. (2007), Dubois e Gadde (2002), Nickerson, Varshney e Muntermann (2013) e Weking et al. (2020).

Critério	Inclusão	Exclusão
Aderência temática	Estudos relacionados a OSCM, Supply Chain 4.0/5.0, Indústria 5.0, SCOR-DS, maturidade, tecnologias habilitadoras ou desempenho em cadeias de suprimentos.	Estudos fora do escopo de operações e cadeias de suprimentos.
Contribuição conceitual	Estudos capazes de apoiar categorias, dimensões ou fundamentos da taxonomia.	Estudos com contribuição marginal para a estrutura analítica.
Aplicabilidade prática	Estudos com <i>frameworks</i> , evidências empíricas, modelos aplicados ou implicações gerenciais.	Estudos excessivamente genéricos ou sem relação clara com aplicação organizacional.
Relação com processos	Estudos conectáveis a um ou mais processos SCOR-DS.	Estudos sem possibilidade de associação aos processos analisados.
Relação com dimensões analíticas	Estudos que contribuam para tecnologias, Indústria 5.0, CAS, ROT, desempenho ou maturidade.	Estudos que não contribuam para nenhuma dimensão da taxonomia.

Tabela B.4 – Critérios de inclusão e exclusão da revisão de escopo

Fonte: Elaboração própria

APÊNDICE B.1 – ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

Este roteiro de entrevista semiestruturada foi elaborado a partir da taxonomia proposta neste trabalho. Cada questão aplicada às empresas está associada a uma pergunta taxonômica, permitindo conectar diretamente a coleta empírica às dimensões analíticas da taxonomia e do grid de maturidade. As perguntas principais são identificadas de Q1 a Q29, enquanto as sondas adicionais são identificadas por S-A, S-B, S-D e S-H, podendo ser utilizadas conforme a aderência do caso, o perfil do entrevistado e a profundidade da entrevista.

As entrevistas têm caráter qualitativo e acadêmico. O roteiro não busca coletar dados financeiros, comerciais ou operacionais sensíveis, nem indicadores numéricos internos. O objetivo é compreender processos, práticas, tecnologias, capacidades organizacionais, desafios operacionais e percepções de maturidade associados à cadeia de suprimentos.

Bloco A – Caracterização geral e transformação em OSCM inteligente

Q1 – Descreva brevemente a organização, seu papel na cadeia e os processos de OSCM mais relevantes para a empresa.

Pergunta taxonômica associada: Qual é o papel da organização na cadeia e quais processos SCOR-DS são mais críticos?

Q2 – Como a organização tem buscado tornar seu OSCM mais inteligente nos últimos anos?

Pergunta taxonômica associada: Como a empresa vem evoluindo de operações tradicionais para OSCM inteligente?

Q3 – Quais objetivos estratégicos estão por trás dessas iniciativas?

Pergunta taxonômica associada: Quais objetivos de valor orientam a transformação?

S-A – Como o porte da organização e a maturidade digital atual influenciam a velocidade ou profundidade dessa transformação?

Pergunta taxonômica associada: Como porte e maturidade digital influenciam a adoção?

Bloco B – Orchestrate

Q4 – Como são coordenadas as decisões entre operações, suprimentos, logística, TI, planejamento e demais áreas da cadeia?

Pergunta taxonômica associada: Como são coordenadas governança, integração e decisão interfuncional?

Q5 – Quando surgem perturbações relevantes, como a empresa percebe, interpreta e responde a esses eventos?

Pergunta taxonômica associada: Como a empresa percebe, interpreta e responde a perturbações?

Q6 – O que precisa estar disponível e bem-organizado para que essa coordenação funcione adequadamente?

Pergunta taxonômica associada: O que precisa estar organizado para que a coordenação funcione?

S-B – Até que ponto a infraestrutura de dados da empresa é resiliente o suficiente para apoiar decisões em situações de ruptura ou instabilidade?

Pergunta taxonômica associada: A infraestrutura de dados sustenta a governança em ruptura?

Bloco C – Plan

Q7 – Como a organização planeja demanda, capacidade, suprimentos, produção e distribuição de forma integrada?

Pergunta taxonômica associada: Como a organização estrutura o planejamento integrado?

Q8 – O processo de planejamento consegue se adaptar rapidamente a mudanças de mercado, demanda, capacidade ou suprimentos?

Pergunta taxonômica associada: Quão adaptativo é o processo de planejamento?

Q9 – Como as tecnologias digitais apoiam — ou limitam — a qualidade do planejamento?

Pergunta taxonômica associada: Como tecnologias digitais apoiam ou limitam o planejamento?

Bloco D – Order

Q10 – Como a empresa captura, configura e promete pedidos aos clientes?

Pergunta taxonômica associada: Como pedidos são capturados, configurados e prometidos?

Q11 – Existem tensões entre customização, velocidade, confiabilidade e carga de trabalho das equipes envolvidas?

Pergunta taxonômica associada: Quais trade-offs existem entre serviço, personalização e bem-estar?

Q12 – O que precisa funcionar em conjunto para que esse processo tenha bom desempenho?

Pergunta taxonômica associada: O que precisa funcionar em conjunto para Order performar bem?

S-D – De que maneira ferramentas de IA, como LLMs ou GenAI, têm sido testadas para melhorar transparência, personalização ou interação com clientes?

Pergunta taxonômica associada: Como GenAI amplia transparência e empoderamento do cliente?

Bloco E – Source

Q13 – Como a empresa identifica, seleciona e desenvolve fornecedores estratégicos?

Pergunta taxonômica associada: Como a empresa estrutura o sourcing estratégico?

Q14 – Até que ponto o desempenho de sourcing depende da qualidade das relações e da adaptação conjunta com fornecedores?

Pergunta taxonômica associada: Quanto o sourcing depende de interdependência e adaptação relacional?

Q15 – Como a empresa organiza parceiros, contratos, dados e capacidades externas para gerar valor ou vantagem competitiva?

Pergunta taxonômica associada: Como recursos externos são mobilizados para gerar vantagem?

Bloco F – Transform

Q16 – Como tecnologias digitais e práticas avançadas estão sendo usadas para transformar processos produtivos ou operacionais?

Pergunta taxonômica associada: Como tecnologias e práticas avançadas geram valor na transformação?

Q17 – Que mudanças essas iniciativas trouxeram para o trabalho humano, as rotinas e o aprendizado das equipes?

Pergunta taxonômica associada: Como a transformação afeta trabalho, rotinas e aprendizagem?

Q18 – Quando há falhas ou mudanças, costumam surgir efeitos inesperados ou em cascata em outros processos?

Pergunta taxonômica associada: Há efeitos inesperados ou em cascata quando o processo varia?

Bloco G – Fulfill

Q19 – Como a empresa gerencia armazenagem, expedição, transporte e entrega?

Pergunta taxonômica associada: Como a empresa estrutura armazenagem, expedição, transporte e entrega?

Q20 – Onde estão hoje os principais trade-offs entre custo, velocidade, confiabilidade, sustentabilidade e nível de serviço?

Pergunta taxonômica associada: Onde estão os trade-offs mais fortes em Fulfill?

Q21 – Que recursos e capacidades foram mais decisivos para elevar o desempenho logístico?

Pergunta taxonômica associada: Quais recursos e capacidades mais elevaram o desempenho logístico?

Bloco H – Return

Q22 – Como a empresa gerencia devoluções, pós-venda, reaproveitamento, reparo, MRO ou fluxos reversos?

Pergunta taxonômica associada: Como a empresa estrutura o processo de retorno?

Q23 – O processo de retorno é tratado como custo operacional ou como fonte de aprendizado, melhoria e recuperação de valor?

Pergunta taxonômica associada: O retorno é custo ou fonte de aprendizagem e valor?

Q24 – Como a organização integra objetivos ambientais, sociais e econômicos na gestão de retornos, reaproveitamento ou circularidade?

Pergunta taxonômica associada: Como objetivos ambientais, sociais e econômicos entram em Return?

S-H – Existem barreiras culturais internas para tratar o produto retornado como um recurso valioso, e não apenas como problema operacional?

Pergunta taxonômica associada: Há barreiras culturais para enxergar retorno como recurso valioso?

Bloco I – Avaliação geral do artefato diagnóstico

Q25 – Ao olhar para esta estrutura analítica baseada 7 processos SCOR-DS, ele representa bem a realidade da organização?

Pergunta taxonômica associada: A taxonomia representa bem a realidade da organização?

Q26 – Quais relações e interdependências entre processos são mais críticas e menos visíveis na prática?

Pergunta taxonômica associada: Quais relações entre processos são mais críticas e menos visíveis?

Q27 – Em quais processos a empresa mais cria vantagem competitiva ao combinar recursos, tecnologias e pessoas?

Pergunta taxonômica associada: Em quais processos a empresa cria vantagem combinando recursos, tecnologias e pessoas?

Q28 – O que precisaria ser alterado, adicionado ou removido para que a taxonomia fosse mais útil na prática?

Pergunta taxonômica associada: O que deve ser alterado, adicionado ou removido para o framework ser útil?

Q29 – Que recomendações práticas você daria para organizações que estão iniciando esse tipo de transformação?

Pergunta taxonômica associada: Que recomendações práticas emergem para quem inicia essa transformação?

APÊNDICE B.2 – INSTRUMENTO DE VALIDAÇÃO DO GRID DE MATURIDADE

Este apêndice apresenta o instrumento elaborado para a avaliação inicial do grid de maturidade por especialistas. O questionário foi direcionado a alunos de pós-graduação com atuação ou formação em áreas relacionadas ao escopo do estudo, incluindo Operations and Supply Chain Management (OSCM), modelos de referência em supply chain, transformação digital em cadeias de suprimentos, Indústria 4.0 e Indústria 5.0, planejamento, logística, compras, produção, operações, sustentabilidade, circularidade, ESG, resiliência, maturidade digital, avaliação de capacidades, roadmapping e pesquisa acadêmica em gestão de operações e supply chain. O instrumento teve como objetivo avaliar a clareza, completude, consistência, utilidade gerencial e rastreabilidade conceitual da versão inicial do grid, então estruturada em três níveis: baixo, médio e alto. Posteriormente, a partir da aplicação empírica exploratória e do refinamento interpretativo dos diagnósticos, a escala final foi ampliada para cinco níveis: N1 Inicial, N2 Em desenvolvimento, N3 Estruturado, N4 Integrado e N5 Adaptativo/benchmark. Assim, as questões deste apêndice devem ser interpretadas como registro da etapa inicial de avaliação, e não como reprodução da escala final consolidada no Apêndice C. As questões foram organizadas em escala Likert de cinco pontos e, ao final de cada seção, os respondentes puderam registrar comentários, críticas e sugestões de melhoria.

SEÇÃO A – Dimensões gerais de validação

A1. Clareza

Avalia se os conceitos, níveis e relações do grid são compreensíveis e não ambíguos.

#	Afirmação	1	2	3	4	5
A1.1	A terminologia utilizada no grid de maturidade é clara e adequada ao contexto de OSCM inteligente.	☐	☐	☐	☐	☐
A1.2	A distinção entre os três níveis de maturidade — baixo (fraco), médio (razoável) e alto (benchmark) — é compreensível.	☐	☐	☐	☐	☐
A1.3	As meta-dimensões do grid são apresentadas de forma suficientemente clara para orientar a avaliação dos processos SCOR-DS.	☐	☐	☐	☐	☐
A1.4	A relação entre processo SCOR-DS, meta-dimensão, dimensão da taxonomia e célula avaliada é fácil de entender.	☐	☐	☐	☐	☐
A1.5	Os paths de melhoria são descritos de forma objetiva e compreensível para uso acadêmico e gerencial.	☐	☐	☐	☐	☐
A1.6	A documentação do grid permite que especialistas e profissionais de empresas compreendam sua lógica de aplicação.	☐	☐	☐	☐	☐

Escala: 1 = Discordo totalmente; 2 = Discordo; 3 = Nem concordo nem discordo; 4 = Concordo; 5 = Concordo totalmente.

A2. Completude

Avalia se o grid cobre adequadamente os elementos necessários para diagnosticar maturidade em OSCM inteligente.

#	Afirmação	1	2	3	4	5
A2.1	O grid contempla adequadamente os sete processos do SCOR-DS: Orchestrate, Plan, Order, Source, Transform, Fulfill e Return (ASCM, 2025).	☐	☐	☐	☐	☐
A2.2	As meta-dimensões do grid são suficientes para avaliar a maturidade da taxonomia de OSCM inteligente.	☐	☐	☐	☐	☐
A2.3	As tecnologias habilitadoras consideradas no grid são adequadas para representar a transformação digital dos processos da cadeia.	☐	☐	☐	☐	☐
A2.4	As capacidades de valor associadas à Indústria 5.0 — centralidade humana, sustentabilidade, resiliência e viabilidade — estão suficientemente contempladas (IVANOV, 2023; WANG et al., 2022; HINES et al., 2025).	☐	☐	☐	☐	☐
A2.5	Os construtos de CAS utilizados no grid representam adequadamente dinâmicas como interdependência, adaptação, emergência e ciclos de feedback (CHOI; DOOLEY; RUNGTUSANATHAM, 2001).	☐	☐	☐	☐	☐
A2.6	Os mecanismos de ROT — structuring, bundling e leveraging — são suficientes para explicar a orquestração de recursos no grid (SIRMON; HITT; IRELAND, 2007).	☐	☐	☐	☐	☐

Escala: 1 = Discordo totalmente; 2 = Discordo; 3 = Nem concordo nem discordo; 4 = Concordo; 5 = Concordo totalmente.

A3. Consistência

Avalia a coerência interna do grid e seu alinhamento com as bases teóricas do trabalho.

#	Afirmação	1	2	3	4	5
A3.1	O grid é internamente coerente, sem contradições relevantes entre processos, dimensões e níveis de maturidade.	☐	☐	☐	☐	☐
A3.2	A distribuição dos mecanismos de ROT entre os processos SCOR-DS é teoricamente coerente.	☐	☐	☐	☐	☐
A3.3	A associação dos construtos de CAS aos processos SCOR-DS é coerente com a lógica de cadeias de suprimentos como sistemas adaptativos complexos.	☐	☐	☐	☐	☐
A3.4	A progressão entre baixo, médio e alto representa uma evolução lógica de práticas fragmentadas para práticas integradas e orientadas por dados.	☐	☐	☐	☐	☐
A3.5	A relação entre Indústria 5.0 e atributos de performance do SCOR-DS é logicamente consistente.	☐	☐	☐	☐	☐
A3.6	A base conceitual indicada no grid sustenta adequadamente as células, níveis e paths de melhoria.	☐	☐	☐	☐	☐

Escala: 1 = Discordo totalmente; 2 = Discordo; 3 = Nem concordo nem discordo; 4 = Concordo; 5 = Concordo totalmente.

A4. Utilidade gerencial

Avalia a relevância prática do grid para diagnóstico, comparação e planejamento de melhorias.

#	Afirmação	1	2	3	4	5
A4.1	O grid é útil para diagnosticar a maturidade de processos de cadeia de suprimentos em organizações reais.	☐	☐	☐	☐	☐
A4.2	O grid ajuda a identificar lacunas de integração, tecnologia, capacidades de valor, dinâmica sistêmica, orquestração de recursos e desempenho.	☐	☐	☐	☐	☐
A4.3	Os paths de melhoria oferecem orientação prática para priorizar capacidades e iniciativas de transformação.	☐	☐	☐	☐	☐
A4.4	O grid pode apoiar comparação entre processos dentro de uma mesma organização.	☐	☐	☐	☐	☐
A4.5	O grid pode apoiar comparação entre organizações de diferentes portes, setores ou níveis de maturidade.	☐	☐	☐	☐	☐
A4.6	O grid contribui para analisar como OSCM inteligente pode gerar valor, desempenho superior e vantagem competitiva.	☐	☐	☐	☐	☐

Escala: 1 = Discordo totalmente; 2 = Discordo; 3 = Nem concordo nem discordo; 4 = Concordo; 5 = Concordo totalmente.

SEÇÃO B – Validação dos componentes do grid

B1. Processos SCOR-DS e atributos de performance

Avalia se o grid representa adequadamente os processos e atributos de performance utilizados na taxonomia.

#	Afirmação	1	2	3	4	5
B1.1	Os sete processos SCOR-DS estão adequadamente representados como unidades de análise do grid (ASCM, 2025).	☐	☐	☐	☐	☐
B1.2	A distinção entre Orchestrate como camada de governança e os demais processos como processos operacionais é adequada.	☐	☐	☐	☐	☐
B1.3	Os atributos de performance do SCOR-DS são adequados para avaliar resultados operacionais, financeiros, ambientais e sociais.	☐	☐	☐	☐	☐
B1.4	A classificação dos atributos como primários, secundários ou contextuais contribui para interpretar a geração de valor por processo.	☐	☐	☐	☐	☐

Escala: 1 = Discordo totalmente; 2 = Discordo; 3 = Nem concordo nem discordo; 4 = Concordo; 5 = Concordo totalmente.

B2. Meta-dimensões da taxonomia

Avalia se as meta-dimensões utilizadas no grid são adequadas para representar o artefato.

#	Afirmação	1	2	3	4	5
B2.1	A meta-dimensão Arquitetura do artefato é adequada para representar objetivo funcional e papel de cada processo.	☐	☐	☐	☐	☐
B2.2	A meta-dimensão Infraestrutura digital é adequada para representar tecnologias habilitadoras e integração de dados.	☐	☐	☐	☐	☐
B2.3	A meta-dimensão Capacidades de valor é adequada para representar os princípios da Indústria 5.0.	☐	☐	☐	☐	☐
B2.4	A meta-dimensão Dinâmica sistêmica é adequada para representar interdependência, adaptação, emergência e ciclos de feedback.	☐	☐	☐	☐	☐
B2.5	A meta-dimensão Orquestração de recursos é adequada para representar structuring, bundling e leveraging.	☐	☐	☐	☐	☐
B2.6	A meta-dimensão Desempenho é adequada para conectar a taxonomia aos atributos de performance e à vantagem competitiva.	☐	☐	☐	☐	☐

Escala: 1 = Discordo totalmente; 2 = Discordo; 3 = Nem concordo nem discordo; 4 = Concordo; 5 = Concordo totalmente.

B3. Níveis de maturidade

Avalia se os três níveis do grid são claros, diferenciáveis e úteis.

#	Afirmação	1	2	3	4	5
B3.1	O nível baixo (fraco) representa adequadamente práticas fragmentadas, baixa integração e uso pontual de tecnologia.	☐	☐	☐	☐	☐
B3.2	O nível médio (razoável) representa adequadamente processos parcialmente integrados e uso seletivo de sistemas e analytics.	☐	☐	☐	☐	☐
B3.3	O nível alto (benchmark) representa adequadamente processos integrados, decisões orientadas por dados e capacidades alinhadas à Indústria 5.0.	☐	☐	☐	☐	☐
B3.4	Os três níveis são suficientemente distintos para permitir avaliação qualitativa consistente.	☐	☐	☐	☐	☐
B3.5	A escala de três níveis é adequada para o estágio atual do artefato e para aplicação em entrevistas e estudos de caso.	☐	☐	☐	☐	☐

Escala: 1 = Discordo totalmente; 2 = Discordo; 3 = Nem concordo nem discordo; 4 = Concordo; 5 = Concordo totalmente.

B4. Paths de melhoria

Avalia se os caminhos de evolução propostos no grid são compreensíveis e acionáveis.

#	Afirmação	1	2	3	4	5
B4.1	Os paths de melhoria indicam trajetórias coerentes de evolução entre os níveis baixo, médio e alto.	☐	☐	☐	☐	☐
B4.2	Os paths de melhoria são suficientemente específicos para orientar reflexão gerencial.	☐	☐	☐	☐	☐
B4.3	Os paths de melhoria conectam adequadamente tecnologia, processos, capacidades organizacionais e desempenho.	☐	☐	☐	☐	☐
B4.4	Os paths de melhoria são aplicáveis a organizações com diferentes níveis de maturidade digital.	☐	☐	☐	☐	☐
B4.5	Os paths de melhoria ajudam a transformar o grid em uma ferramenta de diagnóstico e roadmap, e não apenas em uma estrutura classificatória.	☐	☐	☐	☐	☐

Escala: 1 = Discordo totalmente; 2 = Discordo; 3 = Nem concordo nem discordo; 4 = Concordo; 5 = Concordo totalmente.

B5. Base conceitual e rastreabilidade

Avalia se o grid está fundamentado na base conceitual e bibliográfica do trabalho.

#	Afirmação	1	2	3	4	5
B5.1	As referências indicadas no grid são adequadas para sustentar as dimensões e os níveis de maturidade.	☐	☐	☐	☐	☐
B5.2	A combinação entre literatura teórica, estudos aplicados e SCOR-DS é suficiente para sustentar o grid.	☐	☐	☐	☐	☐
B5.3	O grid é rastreável em relação à taxonomia, à matriz processo x performance e ao roteiro de entrevistas.	☐	☐	☐	☐	☐
B5.4	O grid está alinhado com a proposta metodológica de construção, validação teórica e posterior validação empírica do artefato.	☐	☐	☐	☐	☐

Escala: 1 = Discordo totalmente; 2 = Discordo; 3 = Nem concordo nem discordo; 4 = Concordo; 5 = Concordo totalmente.

SEÇÃO C – Questões abertas

C1. Que modificações você sugeriria para melhorar a clareza do grid de maturidade?

C2. Há alguma dimensão, processo, capacidade ou critério de maturidade que deveria ser incluído, removido ou redefinido?

C3. Você identifica alguma inconsistência entre SCOR-DS, Indústria 5.0, CAS, ROT e sua operacionalização no grid?

C4. Como o grid poderia ser mais útil para aplicação prática em organizações?

C5. Os níveis baixo (fraco), médio (razoável) e alto (benchmark) são adequados? Algum deles deveria ser ajustado?

C6. Os paths de melhoria são úteis e acionáveis? Que ajustes você sugeriria?

C7. Há comentários adicionais ou recomendações para aprimorar o grid de maturidade e sua aplicação em estudos de caso?

Ponto avaliado	Síntese do feedback	Decisão tomada	Impacto no artefato
1. Clareza geral do grid	Sugestão de maior apoio visual e melhor explicitação da lógica do artefato.	Criação de guia visual complementar do artefato.	Melhora da compreensão e do nivelamento conceitual.
2. Meta-dimensões	Necessidade de maior explicitação conceitual das meta-dimensões.	Reforço das explicações no guia visual e no texto metodológico.	Aumento da transparência conceitual e da consistência de aplicação.
3. Relação entre grid e matriz 7×8	A classificação P/S/C não estava suficientemente evidente.	Inclusão explícita da matriz 7×8 no material visual, com legenda para P, S e C.	Maior rastreabilidade entre matriz processo × performance e grid.
4. Escala de maturidade	A escala de três níveis foi considerada adequada, com sugestão de maior granularidade em estudos futuros.	Registro da adequação da escala inicial e posterior ampliação para cinco níveis a partir da aplicação empírica exploratória.	Preservação da simplicidade na avaliação inicial e aumento da capacidade discriminante na versão final do grid.
5. Terminologia dos níveis	Preferência por linguagem mais neutra na nomeação dos níveis.	Revisão da terminologia da escala, com adoção da nomenclatura final N1 a N5.	Linguagem mais precisa, progressiva e adequada à aplicação acadêmica e empresarial.
6. <i>Paths</i> de melhoria	Necessidade de <i>paths</i> mais claros, específicos e acionáveis.	Revisão dos 42 <i>paths</i> de melhoria, reescritos como trajetórias progressivas entre os níveis N1 a N5.	Fortalecimento da utilidade gerencial e da aplicabilidade do grid.
7. Comparação entre empresas	Comparações entre empresas de portes e setores distintos exigem cautela.	Tratamento da análise comparativa como exploratória e contextual.	Maior adequação a diferentes realidades organizacionais, sem perder comparabilidade estrutural.
8. Rastreabilidade conceitual	Sugestão de reforçar a conexão entre taxonomia, matriz, grid, entrevistas e diagnóstico.	Reforço da documentação, das referências cruzadas e da lógica de codificação das evidências.	Aumento do rigor metodológico, da transparência e da replicabilidade.
9. Aplicação prática	Sugestão de tornar o grid mais útil por meio de exemplos, evidências e protocolo de uso.	Manutenção da operacionalização no <i>OSCM Maturity Analyser</i> , com classificação assistida por IA e revisão do pesquisador.	Maior capacidade de transformar o grid em ferramenta aplicada de diagnóstico.
10. Coerência teórica geral	Não foram identificadas inconsistências estruturais relevantes.	Manutenção da arquitetura central do grid.	Confirmação da robustez conceitual do artefato.

Tabela B.5 – Síntese dos feedbacks da validação por especialistas e decisões de refinamento do artefato

Fonte: Elaboração própria com base nos feedbacks recebidos na validação por especialistas.

APÊNDICE C – TAXONOMIA EXPANDIDA E INSTRUMENTOS DE APLICAÇÃO

Fonte: Elaboração própria com base em ASCM (2025), Ivanov (2023), Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001), Simron, Hitt e Ireland (2007), Nickerson, Varshney e Muntermann (2013), Weking et al. (2020), De Carolis et al. (2025) e Grützner e Breitner (2025).

Meta-Dim.	Dimensões	Pergunta taxonômica	Orchestrate	Plan
Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Qual é a finalidade central de cada processo na cadeia inteligente?	Governança digital, integração de ecossistema e visibilidade 360°.	Equilíbrio dinâmico oferta/demanda e simulação de cenários proativos.
Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras (IA-based)	Quais tecnologias, dados e sistemas tornam o processo mais inteligente?	Control towers, digital twin, IA para risco, digital backbone (ERP/MES).	IA/ML para forecasting, analytics prescritivo, digital twins cognitivos.
Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0 (camada transversal)	Que valor Industry 5.0 o processo busca produzir?	Resiliência e viabilidade sistêmica.	Apoio à decisão e aumento da cognição humana.
Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Que dinâmicas de rede e adaptação caracterizam o processo?	Interdependência massiva e coevolução de parceiros digitais.	Adaptação proativa e não linearidade em turbulência.
Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Como recursos e capacidades precisam ser orquestrados?	Structuring: governança de dados e definição de papéis.	Bundling: fusão de competência analítica e modelos de dados.
Desempenho	Atributos de performance	Quais atributos de performance são mais salientes?	Agilidade, confiabilidade, social, ambiental.	Responsividade, agilidade, lucro, ativos.
Validação empírica	Questões-chave do roteiro	Quais perguntas do roteiro capturam melhor essa célula da taxonomia?	Q4, Q5, Q6, sonda B.	Q7, Q8, Q9.

Tabela C.1 – Taxonomia expandida (Parte 1)

Meta-Dim.	Dimensões	Pergunta taxonômica	Order	Source	Transform
Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Qual é a finalidade central de cada processo na cadeia inteligente?	Captura inteligente e configuração de pedidos com transparência radical.	Aquisição estratégica, responsável e ética em redes resilientes.	Manufatura flexível, centrada no humano e circular (10R).
Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras (IA-based)	Quais tecnologias, dados e sistemas tornam o processo mais inteligente?	IA generativa, RFID, sistemas de reconfiguração rápida.	Blockchain para rastreabilidade, SRM inteligente, supplier analytics.	Cobots, IoT, visão computacional, realidade aumentada.
Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0 (camada transversal)	Que valor Industry 5.0 o processo busca produzir?	Personalização responsável e equidade de canal.	Sourcing sustentável e impacto social responsável.	Bem-estar operacional, simbiose humano-tecnologia e segurança.
Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Que dinâmicas de rede e adaptação caracterizam o processo?	Auto-organização local e sistemas sócio-técnicos.	Complexidade relacional e interdependência de rede.	Emergência operacional e ciclos de feedback humano-máquina.
Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Como recursos e capacidades precisam ser orquestrados?	Leveraging: mobilização de dados de cliente para serviço superior.	Structuring: organização e seleção da base de fornecimento resiliente.	Bundling: integração de ativos físicos, digitais e humanos.
Desempenho	Atributos de performance	Quais atributos de performance são mais salientes?	Confiabilidade, responsividade, social.	Confiabilidade, agilidade, ambiental, custos.	Confiabilidade, custos, social, ambiental.
Validação empírica	Questões-chave do roteiro	Quais perguntas do roteiro capturam melhor essa célula da taxonomia?	Q10, Q11, Q12, sonda D.	Q13, Q14, Q15.	Q16, Q17, Q18.

Tabela C.2 – Taxonomia expandida (Parte 2)

Meta-Dim.	Dimensões	Pergunta taxonômica	Fulfill	Return
Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Qual é a finalidade central de cada processo na cadeia inteligente?	Logística verde, responsiva e centrada no cliente com visibilidade total.	Fluxos reversos inteligentes e fechamento de loops circulares.
Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras (IA-based)	Quais tecnologias, dados e sistemas tornam o processo mais inteligente?	WMS/TMS com IA, roteirização otimizada, plataformas de visibilidade.	Tecnologias 10R, plataformas circulares, monitoramento de condição.
Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0 (camada transversal)	Que valor Industry 5.0 o processo busca produzir?	Logística resiliente com minimização de emissões e última milha humanizada.	Sustentabilidade circular, recuperação de valor e redução de perdas.
Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Que dinâmicas de rede e adaptação caracterizam o processo?	Efeitos de rede e coordenação adaptativa em malhas complexas.	Ciclos de feedback reversos que alimentam redesign e Transform.
Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Como recursos e capacidades precisam ser orquestrados?	Leveraging: alavancagem da visibilidade para garantir OTIF e serviço.	Leveraging: recuperação de recursos para vantagem competitiva.
Desempenho	Atributos de performance	Quais atributos de performance são mais salientes?	Confiabilidade, responsividade, ambiental, custos.	Agilidade, ambiental, social, custos.
Validação empírica	Questões-chave do roteiro	Quais perguntas do roteiro capturam melhor essa célula da taxonomia?	Q19, Q20, Q21.	Q22, Q23, Q24, sonda H.

Tabela C.3 – Taxonomia expandida (Parte 3)

Referência / base	Uso no grid
ASCM (2025) – SCOR Digital Standard	Estrutura processual do SCOR-DS e atributos de performance
Ivanov (2023); Padovano e Ivanov (2025)	Viabilidade sistêmica, resiliência e sustentabilidade em cadeias
Wang et al. (2022); Hines et al. (2025); Eriksson et al. (2024); Latino et al. (2025)	Centralidade humana, HCPS, Operator 5.0 e integração humano-tecnologia
Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001); Dittfeld et al. (2022)	Interdependência, emergência, adaptação e capacidades de resiliência em operações e cadeias
Sirmon, Hitt e Ireland (2007)	Structuring, bundling e leveraging como mecanismos de orquestração
Nickerson, Varshney e Muntermann (2013); Weking et al. (2018; 2020); Grützner e Breitner (2025)	Desenvolvimento taxonômico, refinamento, estruturação hierárquica e perspectiva de maturidade
De Carolis et al. (2025); Latino et al. (2025)	Maturidade digital, roadmap e transição digital/sustentável
Fani et al. (2023); Mantravadi, Srari e Møller (2023); Wang et al. (2025)	Analytics, simulação, MES/MOM, planejamento adaptativo e integração operacional
Govindan et al. (2024); Mishra et al. (2025); Zhang et al. (2024)	Blockchain, procurement, rastreabilidade e sourcing sustentável/relacional
Ciano et al. (2021); Hines et al. (2025); Eriksson et al. (2024)	Integração entre tecnologias digitais, lean, automação e centralidade humana
Callefi et al. (2024); Nayeri et al. (2023)	Visibilidade logística, responsividade, trade-offs de entrega e desempenho
Cannas et al. (2025); Naseem et al. (2026); Yadav et al. (2020)	Circularidade, logística reversa, sustentabilidade e recuperação de valor

Tabela C.4 – Base conceitual utilizada na construção do grid de maturidade

Tabela C.5 – Grid completo de maturidade – Orchestra (Parte 1)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Orchestrate	Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Governança digital, integração de ecossistema e visibilidade 360°.	Governança informal, papéis pouco claros, decisões locais e baixa visão ponta a ponta.	Responsáveis e interfaces são identificados em áreas críticas, com rotinas básicas de alinhamento, mas a coordenação ainda depende de iniciativas locais.	Governança definida nos principais processos, com fóruns de alinhamento, papéis parcialmente formalizados e visibilidade ainda parcial da cadeia.	Governança integrada entre áreas e parceiros críticos, com decisões coordenadas, responsabilidades compartilhadas e visão end-to-end dos fluxos prioritários.	Governança integrada e adaptativa do ecossistema, com papéis claros, decisões coordenadas, visibilidade 360° e revisão contínua diante de riscos e mudanças.	N1 → N2: Mapear papéis, decisões e interfaces dos processos críticos, formalizar responsáveis e rotinas mínimas de alinhamento. N2 → N3: Instituir fóruns interfuncionais recorrentes, critérios de escalonamento e mecanismos básicos de acompanhamento das decisões. N3 → N4: Integrar a governança entre áreas e parceiros críticos, compartilhar responsabilidades e ampliar a visibilidade dos fluxos ponta a ponta. N4 → N5: Evoluir para governança adaptativa do ecossistema, com direitos decisórios revistos conforme riscos, dados compartilhados e coordenação contínua. N5 → Consolidação: Manter ciclos de avaliação da governança, aprendizagem entre parceiros e atualização das regras de decisão.	Padovano e Ivanov (2025); De Carolis et al. (2025)
Orchestrate	Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	Control towers, digital twin, IA para risco, digital backbone (ERP/MES).	Dados dispersos, dashboards manuais, sistemas isolados e baixa integração entre fontes.	Dados críticos começam a ser digitalizados e consolidados em painéis por área, ainda com interoperabilidade limitada e atualização pouco padronizada.	Control tower ou painéis integrados para áreas críticas, com integração parcial de sistemas e uso seletivo de analytics.	Digital backbone conectando os principais processos, control tower ampliada e analytics preditivo para riscos e desvios.	Digital backbone end-to-end, control tower avançada, digital twin e IA apoiando antecipação de riscos, simulação e adaptação contínua das decisões.	N1 → N2: Consolidar fontes críticas de dados, padronizar registros e substituir controles dispersos por painéis básicos nas áreas prioritárias. N2 → N3: Integrar ERP e sistemas operacionais nos processos-chave, definir padrões de qualidade dos dados e disponibilizar dashboards compartilhados. N3 → N4: Estruturar um digital backbone para os fluxos prioritários, ampliar o control tower e incorporar analytics preditivo para riscos e desvios. N4 → N5: Ampliar a integração para o ecossistema, conectar digital twins e IA aos ciclos de decisão e estabelecer mecanismos contínuos de simulação e adaptação. N5 → Consolidação: Revisar arquitetura, interoperabilidade e modelos analíticos conforme mudanças da rede e das tecnologias disponíveis.	Padovano e Ivanov (2025); De Carolis et al. (2025)
Orchestrate	Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Resiliência e viabilidade sistêmica.	Resiliência tratada de forma reativa, com pouca visão sistêmica; impactos humanos, sociais e ambientais permanecem periféricos às decisões.	Riscos críticos e impactos humanos e socioambientais são identificados, com planos básicos de contingência e iniciativas ainda isoladas.	Planos de contingência e sustentabilidade são parcialmente integrados à governança, com critérios de centralidade humana aplicados em processos críticos.	Resiliência proativa e critérios humanos, sociais, ambientais e econômicos são integrados às decisões dos principais processos e parceiros, com análise de trade-offs.	Viabilidade sistêmica, resiliência proativa e governança orientada a valor humano e sustentável guiam o ecossistema por meio de aprendizagem e adaptação contínuas.	N1 → N2: Identificar riscos críticos e impactos humanos, sociais e ambientais relevantes, definindo planos mínimos de contingência e responsáveis. N2 → N3: Incorporar esses critérios aos fóruns de governança e às decisões dos processos prioritários, com revisão periódica dos planos. N3 → N4: Integrar resiliência, sustentabilidade e centralidade humana às decisões dos principais processos e parceiros, avaliando trade-offs de valor. N4 → N5: Operar com lógica de viabilidade sistêmica, revisando vulnerabilidades, capacidades e impactos de forma contínua em todo o ecossistema. N5 → Consolidação: Manter mecanismos de aprendizagem, monitoramento e geração de valor e institucionalizar continuamente mudanças da rede e das tecnologias disponíveis.	Padovano e Ivanov (2025); De Carolis et al. (2025)

Tabela C.6 – Grid completo de maturidade – Orchestra (Parte 2)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Orchestra	Dinâmica sistêmica	Constructo CASI	Interdependência massiva e coevolução de parceiros digitais.	Interdependência pouco mapeadas, reações locais a rupturas e baixa aprendizagem entre ocorrências.	Dependências e vulnerabilidades críticas são mapeadas com registros básicos de incidentes e feedback ainda concentrados em áreas isoladas.	Interdependências relevantes são identificadas e monitorizadas nos fluxos principais, respostas coordenadas mas sem gestão dinâmica completa.	Efeitos em cascata são analisados sistematicamente, com feedbacks compartilhados, uso de cenários e capacidade proativa para evitar parceiros críticos.	Coevolução coordenada com parceiros, leitura sistêmica de sinais em cascata e adaptação contínua apoiada por feedbacks preditivos e reconfiguração dinâmica.	N1 → N2: Mapear interdependências, vulnerabilidades e efeitos em cascata nos fluxos críticos, registrando incidentes e respostas adotadas. N2 → N3: Criar rotinas de monitoramento e perendização entre áreas, com protocolos de resposta coordenada e ampliar estudos recorrentes. N3 → N4: Ampliar a análise sistêmica para parceiros críticos, compartilhar feedbacks e utilizar cenários para antecipar efeitos em cascata. N4 → N5: Desenvolver mecanismos de coevolução, reconfiguração dinâmica e aprender com cenários em ecossistemas adaptativos de maneira contínua. Consolidação: Atualizar mapas de interdependências, cenários e indicadores de resposta conforme a rede evolui.	Padovano e Ivanov (2025); De Carolis et al. (2025)
Orchestra	Orquestração de recursos	Mecanismo RC	Structuring: governança de dados e definição de papéis.	Governança de dados, papéis, ativos e responsabilidades pouco formalizada e administrados de forma isolada.	Responsáveis e donos de dados são definidos nos processos críticos, com inventário básico de recursos e padrões ainda locais.	Papéis, dados e recursos físicos, digitais e humanos são parcialmente estruturados em matriz de fluxos, regras de governança e uso definidas.	Recursos são estruturados em camadas de funções e parceiros críticos, com responsabilidades, claras e mecanismos de relactação integrados.	Structuring robusto, flexível, papéis, responsabilidades e recursos são organizados e dinamicamente reconfigurados, com a orquestração do ecossistema e a entrega contínua de valor.	N1 → N2: Formalizar papéis, responsabilidades e donos de dados nos processos críticos, mapeando os recursos físicos, digitais, humanos e relacionais disponíveis. N2 → N3: Definir padrões de governança nos casos-chave, uso de recursos nas áreas-chave, reduzir duplicidades e lacunas de responsabilidade. N3 → N4: Integrar e estruturar os recursos por níveis e funções e parceirar críticos, estabelecer mecanismos de relação e alinhar recursos às prioridades da cadeia. N4 → N5: Desenvolver capacidade dinâmica de reconfigurar o portfólio de recursos do ecossistema conforme riscos, oportunidades e objetivos de valor. N5 → Consolidação: Revisar continuamente a orquestração, complementaridade e governança dos recursos.	Padovano e Ivanov (2025); De Carolis et al. (2025)
Orchestra	Desempenho	Atributos de performance	Agilidade, confiabilidade, social, ambiental.	Performance acompanhada por indicadores isolados e pouco conectados à estratégia, com baixa leitura de impactos sociais e ambientais.	Indicadores básicos de confiabilidade e agilidade são definidos para processos críticos, com acompanhamento de indicadores ambientais ainda separados.	Indicadores de confiabilidade e agilidade são monitorados nos principais processos com painéis compartilhados e acompanhamento parcial das dimensões social e ambiental.	Indicadores multidimensionais são integrados entre processos e parceiros críticos, com análises de trade-offs e uso sistêmico nas decisões de governança.	Indicadores integrados de confiabilidade, agilidade, impacto social e ambiental orientam decisões de rede em um sistema evolutivo e adaptativo.	N1 → N2: Selecionar indicadores básicos de confiabilidade, agilidade e impactos sociais e ambientais para os processos críticos. N2 → N3: Consolidar e correlacionar indicadores de confiabilidade e agilidade com painéis compartilhados e abordar as rotinas de análise e decisões da rede. N3 → N4: Integrar indicadores multi-criteriais e evolutivos e combinar trade-offs entre-offs, sociais e prioritários, e objetivar recursos e serviços para as prioridades. N4 → N5: Evoluir para monitoramento end-to-end, preditivo e adaptativo, usando resultados e feedbacks para aprendizagem sistêmica e melhoria contínua. Consolidação: Revisar rotinas, indicadores e metas, alinhando-os às diretrizes do valor.	Padovano e Ivanov (2025); De Carolis et al. (2025)

Tabela C.7 – Grid completo de maturidade – Plan (Parte 1)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Plan	Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Equilíbrio dinâmico oferta/demanda e simulação de cenários proativos.	Planejamento reativo, com pouca integração entre demanda, capacidade e riscos.	Rotinas básicas de planejamento são formalizadas por área, com responsáveis e calendários definidos, mas demanda, capacidade, suprimentos e riscos ainda são analisados separadamente.	S&OP/IBP parcialmente estruturado e balanceamento regular de oferta e demanda, com participação recorrente das principais áreas e integração ainda limitada.	S&OP/IBP integrado entre comercial, operações, suprimentos e finanças, com análise regular de riscos, restrições, cenários e trade-offs.	Planejamento adaptativo, baseado em cenários, riscos e simulação proativa, com replanejamento contínuo e coordenação end-to-end diante de perturbações.	N1 → N2: Formalizar uma rotina mínima de planejamento de demanda, capacidade e suprimentos, definir responsáveis, calendários e dados básicos, e registrar premissas e restrições relevantes. N2 → N3: Instituir ciclos recorrentes de S&OP/IBP, integrar as principais áreas e consolidar uma visão comum de demanda, capacidade, estoques e riscos. N3 → N4: Conectar planejamento operacional e financeiro, incorporar cenários, restrições e indicadores de risco e estabelecer mecanismos formais de decisão sobre trade-offs. N4 → N5: Evoluir para planejamento adaptativo, com simulação contínua, replanejamento orientado por sinais, integração end-to-end e respostas coordenadas a perturbações. N5 — Consolidação: Revisar modelos, premissas, cenários e regras de decisão conforme mudanças no ambiente, na estratégia e na rede.	Padovano e Ivanov (2025); Dittfeld et al. (2022); Fani et al. (2023); Nayeri et al. (2023)
Plan	Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	IA/ML para forecasting, analytics prescritivo, digital twins cognitivos.	Uso pontual de planilhas e dados fragmentados.	Bases de demanda, estoque, capacidade e histórico operacional são padronizadas e compartilhadas, com relatórios digitais básicos e automações ainda locais.	Uso de sistemas integrados e analytics descritivo nos processos-chave de planejamento, com dados periódicos e visibilidade parcial das variáveis críticas.	Forecasting preditivo, simulação e otimização apoiam decisões em fluxos críticos, com integração entre sistemas e atualização mais frequente dos dados.	IA/ML, cenários preditivos, analytics prescritivo e digital twins cognitivos sustentam planejamento adaptativo e decisões contínuas diante de mudanças.	N1 → N2: Padronizar bases de demanda, estoque, capacidade, suprimentos e histórico operacional, definir responsáveis pelos dados e substituir controles dispersos por relatórios compartilhados. N2 → N3: Integrar os sistemas utilizados pelas áreas de planejamento, estabelecer regras de qualidade e atualização e disponibilizar dashboards de analytics descritivo. N3 → N4: Incorporar forecasting preditivo, simulação e otimização nos fluxos críticos, conectando os resultados às rotinas de S&OP/IBP e à análise de riscos. N4 → N5: Evoluir para analytics prescritivo, IA/ML e digital twins cognitivos, com replanejamento contínuo e recomendações adaptativas orientadas por eventos. N5 — Consolidação: Recalibrar modelos, revisar fontes de dados e monitorar desempenho, explicabilidade e aderência das recomendações analíticas.	Fani et al. (2023); Padovano e Ivanov (2025); Nayeri et al. (2023)
Plan	Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Apoio à decisão e aumento da cognição humana.	Decisão centrada apenas em custo/volume, com pouca participação humana estruturada.	Riscos, restrições humanas e impactos socioambientais básicos começam a ser considerados, ainda de forma pontual e sem critérios comuns entre áreas.	Apoio analítico parcial à decisão e incorporação pontual de sustentabilidade ou risco, com participação humana recorrente nos processos críticos.	Decisões são aumentadas por dados e combinam julgamento humano, resiliência, sustentabilidade e desempenho, com critérios explícitos e análise de trade-offs.	Decisão aumentada por dados, com cognição humana ampliada e equilíbrio sistêmico entre desempenho, resiliência, sustentabilidade e viabilidade.	N1 → N2: Ampliar os critérios de planejamento além de custo e volume, registrando riscos, restrições humanas e impactos socioambientais relevantes para os processos críticos. N2 → N3: Incorporar esses critérios às reuniões de planejamento, definir responsabilidades e utilizar análises básicas para apoiar o julgamento das equipes. N3 → N4: Integrar desempenho, resiliência, sustentabilidade e centralidade humana aos cenários e decisões, explicitando trade-offs e mantendo supervisão humana sobre recomendações analíticas. N4 → N5: Estruturar decisão aumentada por dados em toda a cadeia, combinando modelos, experiência humana, aprendizagem e critérios de viabilidade sistêmica. N5 — Consolidação: Revisar critérios de valor, mecanismos de participação humana e limites de uso dos modelos conforme novas condições e prioridades.	Padovano e Ivanov (2025); Dittfeld et al. (2022); Nayeri et al. (2023)

Tabela C.8 – Grid completo de maturidade – Plan (Parte 2)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Plan	Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Adaptação proativa e não linearidade em turbulência.	Pouca leitura de não linearidades e baixa capacidade de antecipar rupturas.	Variações de demanda, suprimento e capacidade são registradas, com gatilhos e respostas básicas para eventos conhecidos, ainda predominantemente reativos.	Replanejamento periódico e resposta a variações conhecidas, com aprendizagem baseada em ocorrências passadas e coordenação parcial entre áreas.	Cenários, feedbacks e simulações são utilizados para antecipar efeitos em cascata e coordenar respostas proativas entre áreas e parceiros críticos.	Adaptação proativa a turbulências, aprendizagem contínua com cenários e sensibilidade a efeitos não lineares e sistêmicos em toda a rede.	N1 → N2: Registrar variações relevantes de demanda, suprimento e capacidade, identificar gatilhos recorrentes e documentar as respostas adotadas. N2 → N3: Estabelecer ciclos periódicos de replanejamento, protocolos para variações conhecidas e rotinas de aprendizagem entre as áreas envolvidas. N3 → N4: Utilizar cenários, simulações e feedbacks compartilhados para antecipar efeitos em cascata e coordenar respostas com parceiros críticos. N4 → N5: Desenvolver adaptação contínua baseada em sinais, aprendizagem histórica e reconfiguração dinâmica dos planos diante de turbulências e não linearidades. N5 — Consolidação: Atualizar gatilhos, cenários e padrões de resposta à medida que novas perturbações e interdependências surgem.	Dittfeld et al. (2022); Fani et al. (2023); Padovano e Ivanov (2025)
Plan	Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Bundling: fusão de competência analítica e modelos de dados.	Dados, modelos e competências analíticas desconectados.	Dados essenciais, modelos simples e conhecimento da equipe começam a ser organizados em processos críticos, mas permanecem dependentes de iniciativas individuais.	Integração parcial entre dados, sistemas e equipe de planejamento, com competências e rotinas analíticas aplicadas regularmente em áreas-chave.	Dados, modelos, competências e rotinas decisórias são combinados entre funções, com papéis definidos e realocação coordenada de recursos conforme cenários.	Bundling avançado de dados, modelos, competências humanas e rotinas decisórias sustenta planejamento adaptativo e geração contínua de valor.	N1 → N2: Identificar dados, modelos e competências essenciais ao planejamento, organizar responsáveis e aproximar conhecimento analítico e experiência operacional. N2 → N3: Integrar sistemas, analistas e equipes de negócio em ciclos formais de planejamento, padronizando modelos, premissas e responsabilidades. N3 → N4: Combinar recursos analíticos e operacionais entre funções, desenvolver competências avançadas e estabelecer mecanismos de realocação conforme cenários e prioridades. N4 → N5: Consolidar bundling dinâmico de dados, modelos, tecnologia e cognição humana para reconfigurar decisões e capacidades de planejamento continuamente. N5 — Consolidação: Atualizar competências, modelos e combinações de recursos conforme mudanças estratégicas, tecnológicas e do ambiente.	Fani et al. (2023); Padovano e Ivanov (2025); Nayeri et al. (2023)
Plan	Desempenho	Atributos de performance	Responsividade, agilidade, lucro, ativos.	Foco limitado em cumprir plano, com baixa leitura de trade-offs.	Indicadores básicos de aderência ao plano, previsão, estoque, capacidade e nível de serviço são acompanhados separadamente, com análise periódica.	Monitoramento de responsividade, agilidade e alguns indicadores financeiros, com leitura parcial de impactos sobre estoques e ativos.	Responsividade, agilidade, lucro e gestão de ativos são analisados de forma integrada em cenários, com trade-offs explícitos orientando decisões.	Otimização integrada e adaptativa de responsividade, agilidade, lucro e ativos, com metas recalibradas continuamente diante de riscos e mudanças.	N1 → N2: Definir indicadores básicos de aderência ao plano, previsão, estoque, capacidade, nível de serviço e custos, com responsáveis e periodicidade. N2 → N3: Consolidar os indicadores em painéis de planejamento e conectá-los às rotinas de S&OP/IBP e à análise das causas dos desvios. N3 → N4: Integrar indicadores operacionais, financeiros e de ativos, simular trade-offs e vincular os resultados às decisões de alocação de recursos. N4 → N5: Evoluir para otimização contínua e adaptativa, com metas dinâmicas, cenários e feedbacks orientando ajustes dos planos. N5 — Consolidação: Revisar indicadores, pesos e metas conforme mudanças de estratégia, restrições e condições da rede.	Padovano e Ivanov (2025); Dittfeld et al. (2022); Fani et al. (2023); Nayeri et al. (2023)

Tabela C.9 – Grid completo de maturidade - Order (Parte 1)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	Nível 1 — Inicial	Nível 2 — Em desenvolvimento	Nível 3 — Estruturado	Nível 4 — Integrado	Nível 5 — Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Order	Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Captura inteligente e configuração de pedidos com transparência radical.	Pedidos capturados de forma manual ou pouco integrada, com baixa transparência ao cliente.	Canais, campos, regras e responsáveis pela captura de pedidos são padronizados, com comunicação básica de status e integração ainda limitada.	Automação parcial da entrada de pedidos e regras comerciais padronizadas, com visibilidade em canais-chave e tratamento estruturado de parte das exceções.	Canais e sistemas de pedidos são integrados, com configuração responsiva, visibilidade em tempo real e gestão coordenada de exceções.	Configuração inteligente, transparente e responsiva de pedidos, com experiência superior, previsibilidade e adaptação contínua às necessidades do cliente.	N1 → N2: Padronizar canais, dados obrigatórios, regras comerciais, responsáveis e comunicação de status ao cliente, reduzindo retrabalho e divergências. N2 → N3: Automatizar a entrada de pedidos nos canais prioritários, integrar regras comerciais aos sistemas internos e estruturar o tratamento de exceções recorrentes. N3 → N4: Integrar canais, estoques, capacidade e atendimento, ampliar a visibilidade em tempo real e coordenar decisões sobre promessas, alterações e prioridades. N4 → N5: Evoluir para configuração inteligente e adaptativa de pedidos, com transparência end-to-end, previsibilidade e resposta personalizada às variações do cliente. N5 — Consolidação: Revisar regras, canais, jornadas e mecanismos de exceção conforme mudanças no comportamento dos clientes e na operação.	Xia et al. (2026); Wang et al. (2025)
Order	Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	IA generativa, RFID, sistemas de reconfiguração rápida.	CRM/OMS fragmentados e baixo uso de dados do cliente.	Dados de clientes, pedidos e canais são consolidados em bases consistentes, com automações simples e integração ainda restrita a etapas específicas.	RFID, automação de pedidos ou recomendação usados de forma parcial, com CRM/OMS aplicados em canais ou segmentos prioritários.	CRM/OMS, RFID, automação e mecanismos de recomendação são integrados aos principais canais e processos, com reconfiguração rápida em situações críticas.	IA generativa, RFID e sistemas de reconfiguração rápida integrados ao atendimento, à operação e aos dados do cliente em uma arquitetura end-to-end.	N1 → N2: Organizar dados de clientes, pedidos e canais em bases consistentes, eliminar duplicidades e automatizar tarefas básicas de captura e atualização. N2 → N3: Integrar CRM/OMS aos canais prioritários e aplicar RFID, automação ou recomendações simples nos fluxos de maior volume ou criticidade. N3 → N4: Conectar sistemas comerciais e operacionais, ampliar rastreabilidade e personalização e estruturar mecanismos de reconfiguração rápida diante de exceções. N4 → N5: Incorporar IA generativa, dados em tempo real e reconfiguração adaptativa ao atendimento e à operação, preservando supervisão e governança. N5 — Consolidação: Atualizar integrações, modelos e tecnologias conforme novos canais, padrões de demanda e requisitos de segurança e privacidade.	Xia et al. (2026); Wang et al. (2025)
Order	Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Personalização responsável e equidade de canal.	Personalização limitada e pouca atenção à ética no uso de dados.	Crítérios mínimos de transparência, privacidade e tratamento equitativo são definidos, mas aplicados de forma desigual entre canais e segmentos.	Personalização parcial com regras de canal e alguma governança de dados, com práticas de transparência e proteção aplicadas em situações prioritárias.	Personalização responsável e equidade são integradas entre canais, com governança consistente, supervisão humana e avaliação dos impactos das decisões.	Personalização responsável, equidade de canal e uso ético dos dados de clientes orientam continuamente a experiência, a confiança e a criação de valor.	N1 → N2: Definir critérios mínimos de transparência, privacidade, consentimento e tratamento equitativo no uso de dados e na comunicação com clientes. N2 → N3: Aplicar regras de canal, segmentação e personalização em escopos prioritários, com governança básica e mecanismos de revisão de ocorrências. N3 → N4: Integrar personalização, equidade e governança entre canais, avaliar impactos sobre diferentes grupos e manter supervisão humana das decisões automatizadas. N4 → N5: Tornar personalização responsável e uso ético dos dados capacidades sistêmicas, adaptadas continuamente com base em feedbacks, riscos e valor entregue. N5 — Consolidação: Revisar critérios éticos, modelos de personalização e mecanismos de equidade diante de novas tecnologias, regulações e expectativas sociais.	Xia et al. (2026)

Tabela C.10 – Grid completo de maturidade - Order (Parte 2)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	Nível 1 — Inicial	Nível 2 — Em desenvolvimento	Nível 3 — Estruturado	Nível 4 — Integrado	Nível 5 — Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Order	Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Auto-organização local e sistemas sócio-técnicos.	Exceções tratadas caso a caso, com pouca aprendizagem local.	Exceções, reclamações e ajustes são registrados, com protocolos locais e feedbacks básicos ainda concentrados nas equipes de atendimento.	Equipes ajustam localmente pedidos e exceções com algum suporte de sistema, utilizando rotinas de feedback para ocorrências recorrentes.	Auto-organização é coordenada entre canais, atendimento e operação, com limites claros, feedback compartilhado e aprendizagem sobre efeitos em cascata.	Auto-organização local estruturada em sistemas sociotécnicos com aprendizagem contínua e resposta adaptativa coordenada às variações do cliente.	N1 → N2: Registrar exceções, reclamações e ajustes recorrentes, definir protocolos básicos e atribuir responsáveis pela análise das causas. N2 → N3: Disponibilizar suporte de sistema às equipes, criar rotinas de feedback e permitir ajustes locais dentro de regras e limites definidos. N3 → N4: Integrar aprendizagem entre canais e operação, compartilhar efeitos das exceções e coordenar respostas quando houver impactos em outras áreas. N4 → N5: Estruturar sistemas sociotécnicos adaptativos, com autonomia responsável, feedback contínuo e reconfiguração coordenada diante de novos padrões de demanda. N5 — Consolidação: Atualizar limites de autonomia, protocolos e mecanismos de aprendizagem conforme surgem novas exceções e comportamentos.	Wang et al. (2025); Xia et al. (2026)
Order	Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Leveraging: mobilização de dados de cliente para serviço superior.	Dados de cliente pouco mobilizados para gerar serviço superior.	Dados essenciais de clientes, canais e pedidos são organizados e conectados a regras básicas de atendimento, ainda sem integração plena com a operação.	Dados e regras comerciais parcialmente combinados com capacidades operacionais, apoiando melhorias em canais ou segmentos prioritários.	Dados de clientes, regras comerciais e recursos operacionais são integrados entre canais, permitindo personalização, confiabilidade e resposta coordenada.	Leveraging avançado de dados de cliente para serviço, confiabilidade e valor superior, com reconfiguração contínua das capacidades de atendimento e operação.	N1 → N2: Identificar dados de clientes, canais e pedidos relevantes, organizar sua governança e conectá-los a regras básicas de atendimento e promessa. N2 → N3: Combinar dados comerciais com capacidades operacionais nos canais prioritários, utilizando-os para reduzir falhas e melhorar resposta e confiabilidade. N3 → N4: Integrar dados, regras e recursos entre canais e operações, permitindo personalização responsável e coordenação de prioridades e exceções. N4 → N5: Alavancar dados e capacidades de forma dinâmica, reconfigurando serviço, promessas e recursos conforme contexto, feedback e valor esperado. N5 — Consolidação: Revisar continuamente a qualidade dos dados, as regras de mobilização e a contribuição dos recursos para a experiência do cliente.	Xia et al. (2026); Wang et al. (2025)
Order	Desempenho	Atributos de performance	Confiabilidade, responsividade, social.	Baixa previsibilidade do pedido e falhas frequentes de promessa/atendimento.	Falhas, tempo de resposta, cumprimento de promessas e reclamações são medidos em canais prioritários, ainda sem análise integrada das causas.	Confiabilidade e responsividade monitoradas em canais-chave, com ações corretivas e comparação periódica entre segmentos.	Indicadores de confiabilidade, responsividade e valor social/ético são integrados entre canais e operações, com análise de causas e trade-offs.	Alta confiabilidade, responsividade e valor social/ético na relação com o cliente, apoiados por monitoramento preditivo e aprendizagem contínua.	N1 → N2: Medir falhas de pedido, tempo de resposta, cumprimento de promessas, alterações e reclamações, definindo responsáveis e metas básicas. N2 → N3: Consolidar indicadores por canal e segmento, analisar causas recorrentes e conectar resultados às rotinas de atendimento e operação. N3 → N4: Integrar indicadores comerciais, operacionais e sociais, explicitar trade-offs e utilizar dados para priorizar melhorias e recursos. N4 → N5: Evoluir para monitoramento preditivo, prevenção de falhas e adaptação contínua da experiência, preservando confiança e valor ético. N5 — Consolidação: Revisar metas, indicadores e critérios de valor conforme mudanças nos canais, clientes e compromissos sociais.	Xia et al. (2026); Wang et al. (2025)

Tabela C.11 – Grid completo de maturidade – Source (Parte 1)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	Nível 1 — Inicial	Nível 2 — Em desenvolvimento	Nível 3 — Estruturado	Nível 4 — Integrado	Nível 5 — Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Source	Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Aquisição estratégica, responsável e ética em redes resilientes.	Compras orientadas principalmente a preço e disponibilidade imediata.	Categorias são segmentadas e critérios mínimos de qualidade, prazo, risco e conformidade são definidos, ainda com aplicação desigual.	Critérios de risco, qualidade e sustentabilidade parcialmente incorporados, com processos formais em categorias ou fornecedores prioritários.	Sourcing estratégico, integra criticidade, continuidade, sustentabilidade e desenvolvimento de fornecedores nos principais portfólios de compra.	Aquisição estratégica, responsável e ética em redes resilientes, com governança de riscos, colaboração e desenvolvimento contínuo da base fornecedora.	N1 → N2: Segmentar categorias de compra, definir critérios mínimos além de preço e disponibilidade e formalizar responsáveis e regras básicas de seleção. N2 → N3: Aplicar critérios de risco, qualidade, sustentabilidade e continuidade em categorias prioritárias e instituir processos formais de homologação e avaliação. N3 → N4: Integrar sourcing à estratégia, desenvolver fornecedores críticos, estruturar alternativas e conectar decisões de compra a riscos e objetivos de valor. N4 → N5: Operar redes de fornecimento resilientes, responsáveis e éticas, com colaboração, desenvolvimento contínuo e reconfiguração diante de perturbações. N5 — Consolidação: Revisar portfólios, critérios, riscos e papéis dos fornecedores conforme mudanças na estratégia e no ecossistema.	Zhang et al. (2024); Mishra et al. (2025); Matey e Raut (2024); Cannas et al. (2025)
Source	Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	Blockchain para rastreabilidade, SRM inteligente, supplier analytics.	Cadastro de fornecedores e compras pouco digitalizados.	Cadastros, histórico de compras, contratos e ocorrências são digitalizados em bases consistentes, com avaliação básica e integração ainda limitada.	SRM/e-procurement e analytics usados em categorias críticas, com rastreabilidade parcial e atualização periódica de dados.	Supplier analytics, monitoramento de riscos e rastreabilidade são integrados à gestão dos principais fornecedores e categorias.	Blockchain, SRM inteligente, supplier analytics e rastreabilidade end-to-end integrados, com monitoramento contínuo de risco, desempenho e conformidade.	N1 → N2: Digitalizar cadastros, histórico de compras, contratos, documentos e ocorrências, padronizando dados e responsabilidades de atualização. N2 → N3: Adotar e-procurement ou SRM em categorias críticas, criar indicadores básicos e integrar informações de compras, qualidade e entrega. N3 → N4: Incorporar supplier analytics, monitoramento de riscos e rastreabilidade aos fornecedores estratégicos, conectando dados às decisões de seleção e desenvolvimento. N4 → N5: Ampliar rastreabilidade e monitoramento para a rede, utilizar blockchain quando aplicável e operar com análises contínuas e adaptativas de risco e desempenho. N5 — Consolidação: Atualizar integrações, modelos de risco e mecanismos de rastreabilidade conforme mudanças tecnológicas, regulatórias e da base fornecedora.	Mishra et al. (2025); Matey e Raut (2024); Cannas et al. (2025)
Source	Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Sourcing sustentável e impacto social responsável.	Critério dominante de custo.	Qualidade, risco, conformidade e impactos básicos começam a complementar o custo, ainda sem aplicação consistente na base de fornecedores.	Critérios de risco e sustentabilidade parcialmente incorporados em categorias ou fornecedores críticos.	Critérios ambientais, sociais, éticos, de rastreabilidade e resiliência orientam decisões e desenvolvimento nos principais relacionamentos.	Sourcing resiliente, rastreável e sustentável, com impactos sociais responsáveis e equilíbrio contínuo entre valor econômico, ambiental e humano.	N1 → N2: Ampliar os critérios de compra para incluir qualidade, risco, conformidade e impactos básicos, definindo requisitos mínimos para categorias críticas. N2 → N3: Incorporar sustentabilidade, ética e resiliência às avaliações de fornecedores prioritários e às decisões de homologação e continuidade. N3 → N4: Integrar critérios ambientais, sociais, econômicos e de rastreabilidade ao desenvolvimento da base e à análise de trade-offs de sourcing. N4 → N5: Consolidar sourcing responsável e resiliente em toda a rede, com aprendizagem conjunta, transparência e adaptação dos critérios às mudanças do ecossistema. N5 — Consolidação: Revisar requisitos, riscos e impactos com fornecedores e partes interessadas, atualizando compromissos e prioridades de valor.	Zhang et al. (2024); Mishra et al. (2025); Cannas et al. (2025)

Tabela C.12 – Grid completo de maturidade – Source (Parte 2)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	Nível 1 — Inicial	Nível 2 — Em desenvolvimento	Nível 3 — Estruturado	Nível 4 — Integrado	Nível 5 — Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Source	Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Complexidade relacional e interdependência de rede.	Baixa visibilidade das interdependências e riscos da rede de fornecedores.	Fornecedores críticos, dependências, gargalos e alternativas são mapeados, com monitoramento ainda pontual e concentrado em categorias prioritárias.	Mapeamento parcial de dependências e riscos em fornecedores críticos, com planos alternativos e respostas definidas para rupturas recorrentes.	Riscos e interdependências são monitorados dinamicamente, com respostas colaborativas, cenários e coevolução com fornecedores estratégicos.	Gestão dinâmica da complexidade relacional, coevolução e interdependência de rede, com adaptação contínua da base diante de sinais e perturbações.	N1 → N2: Mapear fornecedores críticos, dependências, gargalos, concentrações e alternativas, registrando riscos e responsáveis pela resposta. N2 → N3: Monitorar riscos em categorias estratégicas, desenvolver planos alternativos e realizar revisões periódicas das dependências e capacidades. N3 → N4: Compartilhar sinais e cenários com fornecedores críticos, coordenar respostas e adaptar relacionamentos e capacidades diante de efeitos em cascata. N4 → N5: Operar com coevolução e reconfiguração dinâmica da rede, antecipando mudanças e ajustando continuamente papéis, fluxos e parcerias. N5 — Consolidação: Atualizar mapas de dependência, cenários e mecanismos colaborativos à medida que a rede e os riscos evoluem.	Zhang et al. (2024); Mishra et al. (2025); Cannas et al. (2025)
Source	Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Structuring: organização e seleção da base de fornecimento resiliente.	Base de fornecedores pouco segmentada e papéis pouco definidos.	Fornecedores são segmentados por criticidade, risco e contribuição, com papéis e requisitos básicos definidos para categorias prioritárias.	Segmentação e qualificação parcial da base de fornecimento, com homologação e desenvolvimento aplicados a fornecedores-chave.	Seleção, desenvolvimento, risco, ESG e resiliência são integrados à estruturação da base, com complementaridade e colaboração entre parceiros críticos.	Structuring avançado da base: seleção, desenvolvimento, risco, ESG, resiliência e papéis claros na criação e reconfiguração contínua de valor.	N1 → N2: Segmentar a base por criticidade, risco e contribuição, definir papéis e requisitos mínimos e identificar lacunas de capacidade. N2 → N3: Formalizar qualificação, homologação e avaliação de fornecedores-chave e iniciar programas de desenvolvimento para necessidades prioritárias. N3 → N4: Integrar desenvolvimento, risco, ESG, resiliência e complementaridade de recursos nos relacionamentos estratégicos, com responsabilidades compartilhadas. N4 → N5: Estruturar e reconfigurar dinamicamente a base fornecedora conforme riscos, oportunidades e objetivos de valor da cadeia. N5 — Consolidação: Revisar segmentação, capacidades, complementaridades e governança dos relacionamentos conforme a evolução do portfólio.	Zhang et al. (2024); Mishra et al. (2025); Cannas et al. (2025)
Source	Desempenho	Atributos de performance	Confiabilidade, agilidade, ambiental, custos.	Foco em custo de compra, com baixa leitura de confiabilidade e impacto ambiental.	Custo, prazo, qualidade e confiabilidade são acompanhados para fornecedores relevantes, com indicadores ambientais ainda pontuais.	Custos e confiabilidade monitorados em categorias estratégicas, com avaliações periódicas e algumas medidas ambientais.	Confiabilidade, agilidade, custos e desempenho ambiental são integrados em scorecards e decisões de sourcing, com trade-offs explícitos.	Confiabilidade, agilidade, custos e impacto ambiental orientam de forma preditiva e adaptativa a gestão e reconfiguração da rede fornecedora.	N1 → N2: Acompanhar custo, prazo, qualidade, confiabilidade e ocorrências dos fornecedores mais relevantes, definindo responsáveis e metas básicas. N2 → N3: Consolidar scorecards para categorias estratégicas e incluir indicadores ambientais e de risco nas revisões periódicas. N3 → N4: Integrar desempenho operacional, econômico e ambiental às decisões de seleção, desenvolvimento, continuidade e alocação de volumes. N4 → N5: Evoluir para monitoramento preditivo e adaptativo da base, utilizando sinais de risco e desempenho para reconfigurar fornecedores e estratégias. N5 — Consolidação: Revisar indicadores, pesos e critérios conforme mudanças de mercado, risco, regulação e objetivos de sustentabilidade.	Zhang et al. (2024); Mishra et al. (2025); Matey e Raut (2024)

Tabela C.13 – Grid completo de maturidade - Transform (Parte 1)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Transform	Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Manufatura flexível, centrada no humano e circular (10R).	Produção pouco flexível, centrada em eficiência local e baixa circularidade.	Gargalos, desperdícios, riscos de segurança e oportunidades de circularidade são mapeados, com padronização e melhoria contínua em células prioritárias.	Automação e melhoria contínua aplicadas em linhas ou células específicas, com ganhos locais de flexibilidade, segurança e redução de desperdícios.	Flexibilidade, centralidade humana e circularidade são integradas nos principais fluxos produtivos, com colaboração entre áreas e adaptação coordenada.	Manufatura flexível, centrada no humano e circular, com simbiose humano-tecnologia e adaptação contínua do sistema produtivo.	N1 — N2: Mapear gargalos, desperdícios, riscos de segurança e oportunidades de circularidade, formalizar padrões e iniciar melhoria contínua em células críticas. N2 — N3: Aplicar automação, lean e padronização nos fluxos prioritários, medir resultados e ampliar treinamento e participação das equipes. N3 — N4: Integrar flexibilidade, ergonomia, circularidade e melhoria contínua entre linhas e áreas, conectando decisões produtivas e objetivos de valor. N4 — N5: Evoluir para manufatura adaptativa, humano-cêntrica e circular, com simbiose humano-tecnologia, reconfiguração rápida e aprendizagem sistêmica. N5 — Consolidação: Revisar configurações, práticas 10R, desenho do trabalho e capacidades conforme mudanças de produto, tecnologia e demanda.	Dittfeld et al. (2022); Wang et al. (2025); Latino et al. (2025); Ciano et al. (2021); Eriksson et al. (2024); Cannas et al. (2025)
Transform	Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	Cobots, IoT, visão computacional, realidade aumentada.	Automação isolada e baixa integração entre chão de fábrica e sistemas.	Dados básicos de produção, manutenção, qualidade e segurança são capturados digitalmente em áreas prioritárias, ainda com integração limitada.	IoT, MES/SCADA ou visão computacional em áreas críticas, com monitoramento regular e conexão parcial aos sistemas de gestão.	Chão de fábrica e sistemas corporativos são integrados, com cobots, visão computacional, realidade aumentada e analytics aplicados aos principais fluxos.	Cobots, IoT, visão computacional e realidade aumentada integrados ao processo, com sistemas produtivos adaptativos, interoperáveis e orientados por dados.	N1 — N2: Digitalizar dados básicos de produção, manutenção, qualidade e segurança, padronizar registros e priorizar pontos críticos de captura. N2 — N3: Implementar IoT, MES/SCADA, visão computacional ou automação em áreas críticas e conectar os dados às rotinas de gestão e melhoria. N3 — N4: Integrar chão de fábrica, manutenção, qualidade e sistemas corporativos, expandindo cobots, analytics e apoio digital aos fluxos principais. N4 — N5: Consolidar arquitetura produtiva interoperável e adaptativa, com tecnologias avançadas apoiando reconfiguração, aprendizagem e decisão em tempo real. N5 — Consolidação: Atualizar tecnologias, integrações e mecanismos de cibersegurança e avaliar continuamente sua contribuição ao trabalho e ao desempenho.	Wang et al. (2025); Latino et al. (2025); Ciano et al. (2021); Eriksson et al. (2024); Cannas et al. (2025)
Transform	Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Bem-estar operacional, simbiose humano-tecnologia e segurança.	Bem-estar e segurança tratados como requisitos mínimos.	Ergonomia, segurança, bem-estar e capacitação são tratados como critérios explícitos em áreas prioritárias, com iniciativas ainda isoladas.	Ergonomia, segurança e apoio digital parcialmente incorporados, com treinamento e participação humana em linhas ou células críticas.	Colaboração humano-tecnologia, desenho participativo do trabalho e indicadores de bem-estar são integrados aos principais processos produtivos.	Simbiose humano-tecnologia, bem-estar operacional e segurança como capacidades produtivas e fontes contínuas de aprendizagem e desempenho.	N1 — N2: Incorporar ergonomia, segurança e bem-estar aos critérios de gestão, mapear riscos e necessidades de capacitação e definir responsáveis. N2 — N3: Implementar apoio digital, treinamento e participação das equipes em células críticas, monitorando efeitos sobre segurança, carga e desempenho. N3 — N4: Integrar desenho participativo, competências, tecnologia e indicadores de bem-estar nos principais fluxos produtivos e decisões de automação. N4 — N5: Desenvolver simbiose humano-tecnologia, com adaptação do sistema às capacidades humanas, aprendizagem contínua e segurança proativa. N5 — Consolidação: Revisar desenho do trabalho, competências, riscos e interfaces humano-tecnologia conforme novas tecnologias e necessidades.	Latino et al. (2025); Eriksson et al. (2024); Cannas et al. (2025); Dittfeld et al. (2022)

Tabela C.14 – Grid completo de maturidade - Transform (Parte 2)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	N1 – Inicial	N2 – Em desenvolvimento	N3 – Estruturado	N4 – Integrado	N5 – Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Transform	Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Emergência operacional e ciclos de feedback humano-máquina.	Falhas, retrabalhos e efeitos em cascata têm baixa visibilidade.	Feedback operacional parcial, ainda concentrado em áreas ou turnos específicos.	Aprendizagem contínua e ciclos humano-máquina estruturados em processos críticos.	Feedbacks de pessoas, máquinas e dados são conectados entre linhas e áreas, apoiando ajustes rápidos e aprendizagem compartilhada.	Sistema produtivo adaptativo, com ciclos humano-máquina contínuos, aprendizagem sistêmica e resposta rápida a desvios.	N1 → N2: Registrar falhas, retrabalhos e efeitos em cascata nos processos críticos. N2 → N3: Estruturar rotinas de feedback operacional entre equipes, máquinas e gestão. N3 → N4: Integrar feedbacks humanos e de máquinas entre linhas e áreas, com aprendizagem compartilhada. N4 → N5: Evoluir para adaptação contínua do sistema produtivo com ciclos humano-máquina e resposta rápida a desvios. N5 → Consolidação: Revisar mecanismos de feedback, aprendizagem e adaptação conforme mudanças de produto, tecnologia e demanda.	Wang et al. (2025); Eriksson et al. (2024); Ciano et al. (2021); Dittfeld et al. (2022)
Transform	Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Bundling: integração de ativos físicos, digitais e humanos.	Recursos físicos, digitais e humanos geridos separadamente.	Ativos, dados, competências e funções críticas são mapeados, com coordenação básica e responsabilidades definidas em áreas prioritárias.	Integração parcial entre máquinas, dados e competências operacionais, com rotinas combinadas em processos-chave.	Ativos físicos, digitais e humanos são integrados entre linhas e funções, com realocação flexível e aprendizagem compartilhada.	Bundling avançado de ativos físicos, digitais e humanos para aprendizagem operacional, adaptação e desempenho superior.	N1 → N2: Mapear ativos, dados, competências e funções críticas, identificar separações e definir responsáveis pela coordenação dos recursos. N2 → N3: Integrar máquinas, dados, competências e rotinas nos processos-chave, padronizando interfaces e desenvolvendo capacidades complementares. N3 → N4: Combinar recursos entre linhas e funções, ampliar polivalência e estabelecer mecanismos flexíveis de realocação e aprendizagem. N4 → N5: Consolidar bundling dinâmico de ativos físicos, digitais e humanos para reconfiguração, inovação e desempenho contínuo. N5 → Consolidação: Revisar combinações, competências e complementaridades conforme mudanças de produto, tecnologia e estratégia.	Wang et al. (2025); Latino et al. (2025); Ciano et al. (2021); Cannas et al. (2025)
Transform	Desempenho	Atributos de performance	Confiabilidade, custos, social, ambiental.	Foco em produtividade com pouca leitura social e ambiental.	Produtividade, qualidade, confiabilidade, segurança e impactos ambientais básicos são medidos em irada prioritárias, ainda de forma separada.	Custos e confiabilidade acompanhados com iniciativas ambientais pontuais e monitoramento de segurança em processos críticos.	Confiabilidade, custos, desempenho social e ambiental são integrados entre linhas e decisões, com análise de trade-offs e causas.	Confiabilidade, custos, social e ambiental integrados na gestão adaptativa da produção, orientando aprendizagem e reconfiguração contínuas.	N1 → N2: Definir indicadores de produtividade, qualidade, confiabilidade, segurança, custos e impactos ambientais, com responsáveis e metas básicas. N2 → N3: Consolidar indicadores nos processos críticos e conectar resultados às rotinas de melhoria, manutenção, segurança e gestão ambiental. N3 → N4: Integrar desempenho operacional, econômico, social e ambiental entre linhas e áreas, explicitando trade-offs e prioridades de investimento. N4 → N5: Evoluir para monitoramento preditivo e adaptativo, utilizando feedbacks para reconfigurar processos, recursos e metas de desempenho. N5 → Consolidação: Revisar indicadores, limites e metas conforme mudanças tecnológicas, sociais, ambientais e estratégicas.	Dittfeld et al. (2022); Latino et al. (2025); Ciano et al. (2021); Eriksson et al. (2024); Cannas et al. (2025)

Tabela C.15 – Grid completo de maturidade - Fulfill (Parte 1)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	N1 – Inicial	N2 – Em desenvolvimento	N3 – Estruturado	N4 – Integrado	N5 – Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Fulfill	Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Logística verde, responsiva e centrada no cliente com visibilidade total.	Entrega reativa, com baixa visibilidade de transporte e atendimento.	Fluxo de armazenagem, expedição e transporte é mapeado, com responsáveis, pontos críticos e indicadores básicos de entrega.	Operação logística estruturada, com monitoramento parcial de entregas, nível de serviço e desvios.	Fluxos de armazenagem, transporte e atendimento são integrados, com coordenação entre áreas e visibilidade ampliada da execução.	Logística verde, responsiva, centrada no cliente e com visibilidade total.	N1 → N2: Mapear o fluxo de armazenagem, expedição, transporte e atendimento, definindo responsáveis, pontos críticos e indicadores básicos. N2 → N3: Estruturar rotinas de monitoramento de entregas, nível de serviço e desvios. N3 → N4: Integrar logística, atendimento e transporte, ampliando a visibilidade entre áreas. N4 → N5: Evoluir para uma operação logística verde, responsiva e plenamente centrada no cliente.	SCOR-DS; ASCM (2025)
Fulfill	Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	WMS/TMS com IA, roteirização otimizada, plataformas de visibilidade.	WMS/TMS ausentes ou pouco integrados; roteirização manual.	Dados críticos de armazenagem, transporte e entrega são digitalizados e acompanhados em sistemas básicos ou módulos parciais.	WMS/TMS e roteirização usados em parte da rede.	WMS/TMS, roteirização e plataformas de visibilidade conectam operações, entregas e acompanhamento em tempo real.	WMS/TMS com IA, roteirização otimizada e plataformas de visibilidade integradas.	N1 → N2: Digitalizar dados críticos de armazenagem, transporte e entrega, padronizando registros e acompanhamento básico. N2 → N3: Implementar WMS/TMS e roteirização em partes prioritárias da rede. N3 → N4: Integrar WMS/TMS, roteirização e visibilidade entre operações e entregas. N4 → N5: Consolidar plataformas inteligentes de visibilidade e otimização logística com IA.	Callefi et al. (2024); Nayeri et al. (2023); ASCM (2025)
Fulfill	Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Logística resiliente com minimização de emissões e última milha humanizada.	Foco dominante em prazo/custo, com baixa consideração ambiental/social.	Iniciativas de eficiência, emissões e experiência do cliente são consideradas em partes da operação.	Logística resiliente com redução de emissões e atenção parcial à experiência do cliente e à última milha.	Resiliência, emissões, experiência do cliente e humanização da última milha são integradas às decisões logísticas.	Logística resiliente com minimização de emissões e última milha humanizada.	N1 → N2: Incluir critérios de eficiência, emissões e experiência do cliente nas decisões logísticas. N2 → N3: Consolidar práticas de redução de emissões e melhoria da última milha em rotas e operações críticas. N3 → N4: Integrar resiliência, sustentabilidade e experiência do cliente às decisões e métricas logísticas. N4 → N5: Operar uma logística resiliente, de baixa emissão e com última milha humanizada.	Industry 5.0; Callefi et al. (2024); Nayeri et al. (2023); Ivanov (2023)

Tabela C.16 – Grid completo de maturidade - Fulfill (Parte 2)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Fulfill	Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Efeitos de rede e coordenação adaptativa em malhas complexas.	Efeitos de rede e interdependências logísticas pouco compreendidos.	Gargalos, restrições e efeitos de rede são monitorados em trechos críticos, com ajustes reativos.	Coordenação adaptativa parcial em malhas logísticas críticas.	Interdependências, gargalos e efeitos de rede são monitorados entre áreas e parceiros, com respostas adaptativas coordenadas.	Efeitos de rede geridos dinamicamente com coordenação adaptativa em malhas complexas.	N1 → N2: Identificar gargalos, restrições e efeitos de rede em etapas críticas da malha logística. N2 → N3: Estruturar respostas adaptativas e rotinas de acompanhamento em trechos prioritários. N3 → N4: Compartilhar informações entre áreas e parceiros para coordenar respostas a efeitos de rede. N4 → N5: Consolidar gestão dinâmica da malha com coordenação adaptativa contínua.	Complex Adaptive Systems; Choi et al. (2001); Callefi et al. (2024); Nayeri et al. (2023)
Fulfill	Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Leveraging: alavancagem da visibilidade para garantir OTIF e serviço.	Visibilidade operacional pouco utilizada para melhoria de serviço.	Indicadores de atrasos, falhas e oportunidades de melhoria são monitorados, com uso básico da visibilidade para correções.	Visibilidade usada para monitoramento e correção de desvios.	Dados logísticos são integrados para garantir OTIF, serviço superior e resposta proativa a exceções.	Leveraging da visibilidade para garantir OTIF e serviço superior.	N1 → N2: Definir indicadores de atrasos, falhas, ocorrências e oportunidades de melhoria. N2 → N3: Usar a visibilidade operacional para monitorar e corrigir desvios em rotinas-chave. N3 → N4: Integrar dados logísticos para apoiar OTIF, serviço e gestão proativa de exceções. N4 → N5: Consolidar o uso estratégico da visibilidade como mecanismo de alavancagem do serviço.	Resource Orchestration Theory; Sirmon et al. (2007); Callefi et al. (2024)
Fulfill	Desempenho	Atributos de performance	Confiabilidade, responsividade, ambiental, custos.	Foco em entrega e custo, com baixa leitura ambiental.	Prazo, custo, nível de serviço e ocorrências são acompanhados com alguns indicadores operacionais e ambientais.	Confiabilidade e responsividade monitoradas, com algumas ações ambientais.	Confiabilidade, responsividade, impacto ambiental e custos são geridos de forma integrada, com análise de trade-offs.	Confiabilidade, responsividade, ambiental e custos geridos de forma integrada.	N1 → N2: Definir indicadores de prazo, custo, nível de serviço, falhas e impactos ambientais. N2 → N3: Consolidar indicadores nos processos críticos e conectá-los às rotinas de gestão. N3 → N4: Integrar confiabilidade, responsividade, custos e impacto ambiental nas decisões logísticas. N4 → N5: Evoluir para gestão adaptativa do desempenho logístico com análise contínua de trade-offs.	SCOR-DS performance attributes; ASCM (2025)

Tabela C.17 – Grid completo de maturidade - Return (Parte 1)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Return	Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Fluxos reversos inteligentes e fechamento de loops circulares.	Devoluções tratadas como exceção operacional e custo residual.	Retornos são registrados de forma básica, com tratamento ainda reativo e pouco padronizado.	Fluxos reversos estruturados para algumas categorias ou canais.	Fluxos reversos são integrados a categorias prioritárias, com critérios de triagem, reaproveitamento e coordenação entre áreas.	Fluxos reversos inteligentes e fechamento de loops circulares.	N1 → N2: Registrar devoluções, motivos de retorno, perdas e custos associados. N2 → N3: Estruturar fluxos reversos para categorias ou canais prioritários. N3 → N4: Integrar triagem, reaproveitamento e coordenação entre logística, comercial e operação. N4 → N5: Consolidar fluxos reversos inteligentes conectados ao fechamento de ciclos circulares.	SCOR-DS; ASCM (2025)
Return	Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	Tecnologias 10R, plataformas circulares, monitoramento de condição.	Baixa rastreabilidade de retornos e condição de ativos/produtos.	Registros digitais básicos apoiam devoluções, com rasterabilidade ainda limitada.	Plataformas de devolução ou monitoramento aplicadas parcialmente.	Plataformas de devolução, rastreabilidade e monitoramento de condição conectam fluxos reversos prioritários.	Tecnologias 10R, plataformas circulares e monitoramento de condição integrados.	N1 → N2: Criar rastreabilidade mínima de retornos, condição de itens e dados de devolução. N2 → N3: Adotar plataformas de devolução ou monitoramento em fluxos específicos. N3 → N4: Integrar rastreabilidade, plataformas e monitoramento de condição aos fluxos reversos prioritários. N4 → N5: Consolidar tecnologias 10R e plataformas circulares integradas à recuperação de valor.	Cannas et al. (2025); Naseem et al. (2026); Yadav et al. (2020)
Return	Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Sustentabilidade circular, recuperação de valor e redução de perdas.	Recuperação de valor e circularidade pouco exploradas.	Há iniciativas pontuais de reaproveitamento, com ganhos ainda localizados.	Reaproveitamento e redução de perdas em fluxos específicos.	Recuperação de valor, reaproveitamento e redução de perdas são incorporados às decisões de retorno em categorias prioritárias.	Sustentabilidade circular, recuperação de valor e redução de perdas.	N1 → N2: Identificar oportunidades de reaproveitamento, redução de perdas e destinação responsável. N2 → N3: Estruturar reaproveitamento e recuperação de valor em fluxos específicos. N3 → N4: Incorporar critérios de circularidade, valor recuperado e perdas nas decisões de retorno. N4 → N5: Consolidar sustentabilidade circular e recuperação de valor como capacidades do processo.	Industry 5.0; Cannas et al. (2025); Naseem et al. (2026); Yadav et al. (2020)

Tabela C.18 – Grid completo de maturidade - Return (Parte 2)

Processo SCOR-DS	Meta-dimensão	Dimensão da taxonomia	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo (benchmark)	Path de melhoria	Base conceitual
Return	Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Ciclos de feedback reversos que alimentam redesign e Transform.	Pouca retroalimentação dos retornos para redesenho de produtos/ processos.	Informações de retorno são registradas pontualmente, com uso limitado para aprendizagem.	Feedback reverso usado parcialmente para melhoria operacional.	Feedbacks reversos são compartilhados entre áreas e usados para orientar redesign, planejamento e melhoria de processos.	Ciclos de feedback reversos que alimentam redesign e Transform.	N1 → N2: Transformar dados de retornos, falhas e devoluções em registros básicos de aprendizagem. N2 → N3: Utilizar feedback reverso para corrigir problemas recorrentes em fluxos prioritários. N3 → N4: Compartilhar feedbacks entre áreas para orientar redesign, planejamento e melhoria de processos. N4 → N5: Consolidar ciclos reversos contínuos que alimentem redesign e Transform.	Complex Adaptive Systems; Choi et al. (2001); Cannas et al. (2025); Naseem et al. (2026)
Return	Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Leveraging: recuperação de recursos para vantagem competitiva.	Recursos retornados tratados como descarte ou custo.	Alguns recursos retornados são reaproveitados, porém sem lógica estruturada de valor.	Recuperação parcial de valor em categorias selecionadas.	Recuperação de recursos é integrada a categorias prioritárias, com reaproveitamento, revenda ou reintrodução operacional.	Leveraging da recuperação de recursos para vantagem competitiva e circularidade.	N1 → N2: Classificar recursos retornados por potencial de reaproveitamento, descarte e recuperação. N2 → N3: Estruturar recuperação parcial de valor em categorias selecionadas. N3 → N4: Integrar reaproveitamento, revenda ou reintrodução operacional aos fluxos reversos prioritários. N4 → N5: Consolidar leveraging da recuperação de recursos para vantagem competitiva e circularidade.	Resource Orchestration Theory; Sirmon et al. (2007); Cannas et al. (2025); Yadav et al. (2020)
Return	Desempenho	Atributos de performance	Agilidade, ambiental, social, custos.	Baixa integração entre retorno, custo e impacto socioambiental.	Custos de retorno e alguns impactos são acompanhados de forma pontual.	Indicadores de custo e ambiental acompanhados em fluxos críticos.	Custos, agilidade e impactos socioambientais são geridos de forma integrada em categorias prioritárias.	Agilidade, ambiental, social e custos integrados na gestão de retornos.	N1 → N2: Medir custos de retorno, perdas e impactos socioambientais básicos. N2 → N3: Consolidar indicadores de custo e ambiental nos fluxos reversos críticos. N3 → N4: Integrar custos, agilidade e impactos socioambientais à gestão de retornos prioritários. N4 → N5: Evoluir para gestão adaptativa dos retornos com integração plena entre custos, agilidade e valor socioambiental.	SCOR-DS performance attributes; ASCM (2025)

Etapa	Procedimento	Resultado esperado
1. Transcrição das entrevistas	Transcrever integralmente as entrevistas realizadas com as organizações participantes, preservando o conteúdo das respostas e exemplos fornecidos pelos entrevistados.	Base textual completa para análise empírica.
2. Segmentação pelo roteiro	Cruzar a transcrição com o roteiro de entrevista, associando cada trecho às perguntas correspondentes e ao respectivo processo SCOR-DS ou bloco de contextualização.	Respostas organizadas por pergunta, processo e tema analítico.
3. Preparação do arquivo de entrada	Consolidar cada resposta em formato estruturado, contendo uma síntese analítica e trechos literais anonimizados da entrevista na coluna <code>answer_text</code> .	Arquivo compatível com o artefato diagnóstico, contendo síntese e evidências textuais.
4. Carregamento da taxonomia e do grid	Inserir na interface diagnóstica a taxonomia e o grid de maturidade, contendo os descritores dos cinco níveis de maturidade — N1 Inicial, N2 Em desenvolvimento, N3 Estruturado, N4 Integrado e N5 Adaptativo/benchmark — além dos respectivos paths de melhoria.	Crítérios de classificação N1–N5 disponibilizados para o processamento do diagnóstico.
5. Classificação assistida por IA	Utilizar o modelo generativo de linguagem integrado ao Shiny para comparar as evidências das entrevistas com os descritores do grid em cada célula processo × meta-dimensão.	Nível de maturidade sugerido pela IA, na escala N1–N5, para cada célula avaliada.
6. Registro da evidência e justificativa	Para cada célula, registrar o trecho textual utilizado como evidência, a justificativa analítica da classificação e a força da evidência.	Rastreabilidade entre relato empírico, descritor do grid e classificação sugerida.
7. Revisão interpretativa do pesquisador	Revisar, na própria interface, o nível sugerido pela IA, a evidência selecionada e a justificativa gerada, podendo manter ou alterar o nível final de maturidade.	Validação interpretativa da classificação com base no grid e no contexto da entrevista.
8. Definição do status de revisão	Classificar cada célula como pendente, aprovada ou ajustada, registrando observações do pesquisador quando necessário.	Controle metodológico da revisão e transparência sobre alterações realizadas.
9. Consolidação do nível final	Utilizar o nível final revisado, na escala N1–N5, como base para os resultados consolidados do diagnóstico, incluindo radar, heatmap, gráficos de distribuição e resumos por processo e meta-dimensão.	Diagnóstico final de maturidade da organização.
10. Associação do path de melhoria	Vincular cada célula avaliada ao path de melhoria correspondente no grid, considerando o nível final atribuído e as lacunas identificadas.	Recomendações estruturadas de evolução para a organização analisada.
11. Exportação	Exportar os resultados em planilha, contendo nível sugerido pela IA, nível final revisado, força da evidência, descritor do grid, justificativa, evidência e path de melhoria.	Registro final auditável do processo de diagnóstico.

Tabela C.19 – Critérios de conversão das evidências empíricas em níveis de maturidade

Fonte: Elaboração própria com base na taxonomia proposta, no grid de maturidade desenvolvido neste trabalho e na operacionalização do artefato diagnóstico OSCM Maturity Analyser

GUIA VISUAL DO ARTEFATO DIAGNÓSTICO

OSCM inteligente baseado no SCOR-DS

Taxonomia analítica, matriz processo × performance, grid de maturidade de cinco níveis e OSCM Maturity Analyser

Material de apoio ao trabalho de conclusão de curso

Cadeias de Suprimentos Inteligentes na Indústria 5.0: Desenvolvimento de um Artefato Diagnóstico baseado no SCOR-DS

Autor	Marcelo Soares Arydes Gomes
Curso	Engenharia de Produção - PUC-Rio
Finalidade	Nivelar o entendimento sobre a taxonomia, a matriz 7×8, o grid de maturidade final em cinco níveis e a interface diagnóstica desenvolvida.
Uso previsto	Consulta complementar à leitura, apresentação e avaliação do trabalho de conclusão de curso.

1. Objetivo e lógica de leitura

Este guia visual consolida os principais componentes do artefato diagnóstico desenvolvido no TCC: a taxonomia analítica de OSCM inteligente baseada no SCOR-DS, a matriz processo × performance 7×8, o grid de maturidade final em cinco níveis e a interface OSCM Maturity Analyser. O material foi atualizado para refletir a versão final do trabalho, incluindo a escala N1–N5 e os paths de melhoria revisados.

A função deste documento não é substituir o TCC ou a planilha completa de pesquisa, mas tornar o artefato mais compreensível para consulta. A planilha permanece como documentação detalhada; este guia atua como camada visual, resumida e explicativa para apoiar a leitura, a apresentação e a avaliação do artefato.

Quadro 1 – Camadas do artefato diagnóstico

Camada	Função no artefato	Produto associado
Taxonomia analítica	Organiza os elementos de OSCM inteligente por processo SCOR-DS e meta-dimensão.	Estrutura processo × meta-dimensão × dimensão analítica.
Matriz processo × performance	Relaciona os sete processos do SCOR-DS aos oito atributos de desempenho.	Matriz 7×8 com atributos primários, secundários e contextuais.
Grid de maturidade	Transforma a taxonomia em instrumento qualitativo de avaliação.	Níveis N1 Inicial, N2 Em desenvolvimento, N3 Estruturado, N4 Integrado e N5 Adaptativo/benchmark para cada célula processo × meta-dimensão, com path de melhoria e base conceitual.
OSCM Maturity Analyser	Operacionaliza o diagnóstico em interface computacional com apoio de IA generativa e revisão interpretativa.	Classificação sugerida por IA, nível final revisado na escala N1–N5, força da evidência, justificativa, path de melhoria e exportação do diagnóstico.

Fonte: Elaboração própria.

2. Base conceitual do artefato

A taxonomia combina quatro pilares analíticos. O SCOR-DS fornece o eixo processual da cadeia; a Indústria 5.0 adiciona os princípios de centralidade humana, sustentabilidade, resiliência e viabilidade; CAS permite interpretar a cadeia como sistema adaptativo complexo; e ROT explica como recursos são estruturados, combinados e alavancados para gerar valor e vantagem competitiva.

Quadro 2 – Pilares conceituais da taxonomia

Pilar	Papel no artefato
SCOR-DS	Eixo processual para organizar a cadeia em Orchestrate, Plan, Order, Source, Transform, Fulfill e Return.
Indústria 5.0	Camada transversal de valor: humano, sustentável, resiliente e viável.
Complex Adaptive Systems (CAS)	Lente para interpretar interdependência, adaptação, emergência, coevolução e ciclos de feedback.
Resource Orchestration Theory (ROT)	Lente para explicar structuring, bundling e leveraging de recursos físicos, digitais, humanos e relacionais.

Fonte: Elaboração própria com base na revisão de literatura do TCC.

Quadro 3 – Base conceitual utilizada no grid

Referência / base	Uso no grid
ASCM (2025) – SCOR Digital Standard	Estrutura processual do SCOR-DS e atributos de performance
Ivanov (2023); Padovano e Ivanov (2025)	Viabilidade sistêmica, resiliência e sustentabilidade em cadeias
Wang et al. (2022); Hines et al. (2025); Eriksson et al. (2024); Latino et al. (2025)	Centralidade humana, HCPS, Operator 5.0 e integração humano-tecnologia
Choi, Dooley e Rungtusanatham (2001); Dittfeld et al. (2022)	Interdependência, emergência, adaptação e capacidades de resiliência em operações e cadeias
Sirmon, Hitt e Ireland (2007)	Structuring, bundling e leveraging como mecanismos de orquestração
Nickerson, Varshney e Muntermann (2013); Weking et al. (2018; 2020); Grützner e Breitner (2025)	Desenvolvimento taxonômico, refinamento, estruturação hierárquica e perspectiva de maturidade
De Carolis et al. (2025); Latino et al. (2025)	Maturidade digital, roadmap e transição digital/sustentável
Fani et al. (2023); Mantravadi, Srai e Møller (2023); Wang et al. (2025)	Analytics, simulação, MES/MOM, planejamento adaptativo e integração operacional
Govindan et al. (2024); Mishra et al. (2025); Zhang et al. (2024)	Blockchain, procurement, rastreabilidade e sourcing sustentável/relacional
Ciano et al. (2021); Hines et al. (2025); Eriksson et al. (2024)	Integração entre tecnologias digitais, lean, automação e centralidade humana
Callefi et al. (2024); Nayeri et al. (2023)	Visibilidade logística, responsividade, trade-offs de entrega e desempenho
Cannas et al. (2025); Naseem et al. (2026); Yadav et al. (2020)	Circularidade, logística reversa, sustentabilidade e recuperação de valor

Fonte: *Elaboração própria com base na planilha de construção do grid.*

3. Processos SCOR-DS considerados

Os sete processos do SCOR-DS são utilizados como eixo estruturante da análise. Cada processo é avaliado segundo seis meta-dimensões da taxonomia, permitindo observar como práticas, tecnologias, capacidades e desempenho se distribuem ao longo da cadeia.

Quadro 4 – Processos avaliados no artefato

Processo	Descrição sintética no artefato
Orchestrate	Governança digital, integração de ecossistema e visibilidade 360º da cadeia.
Plan	Equilíbrio dinâmico oferta/demanda, simulação de cenários e planejamento adaptativo.
Order	Captura inteligente, configuração de pedidos e transparência ao cliente.
Source	Aquisição estratégica, responsável e ética em redes resilientes.
Transform	Manufatura flexível, centrada no humano e circular.
Fulfill	Logística verde, responsiva e centrada no cliente com visibilidade total.
Return	Fluxos reversos inteligentes e fechamento de loops circulares.

Fonte: Elaboração própria com base no SCOR-DS e na taxonomia proposta.

4. Meta-dimensões da taxonomia

Cada processo é analisado a partir de seis meta-dimensões. Elas traduzem a lógica da taxonomia em uma estrutura comparável e servem como base para as células avaliadas no grid de maturidade.

Quadro 5 – Meta-dimensões do artefato diagnóstico

Meta-dimensão	O que avalia	Exemplos de elementos
Arquitetura do artefato	Objetivo funcional e papel de cada processo na cadeia.	Governança, planejamento adaptativo, captura inteligente de pedidos, sourcing estratégico, manufatura flexível, logística responsiva e fluxos reversos.
Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras e nível de integração de dados e sistemas.	Control towers, digital twins, IA/ML, blockchain, cobots, IoT, WMS/TMS, RFID e plataformas circulares.
Capacidades de valor	Alinhamento com princípios da Indústria 5.0.	Centralidade humana, sustentabilidade, resiliência, viabilidade, bem-estar, logística verde e economia circular.
Dinâmica sistêmica	Comportamentos adaptativos da cadeia como sistema complexo (CAS).	Interdependência, emergência, coevolução, feedback humano-máquina, efeitos de rede e adaptação proativa.
Orquestração de recursos	Mecanismos de ROT: como recursos são estruturados, combinados e alavancados.	Structuring, bundling, leveraging; dados, papéis, ativos físicos, digitais e humanos.
Desempenho	Atributos de performance do SCOR-DS aplicados a cada processo.	Confiabilidade, responsividade, agilidade, custos, lucro, ativos, ambiental e social.

Fonte: Elaboração própria.

5. Taxonomia analítica: visão consolidada

A tabela a seguir apresenta a lógica da taxonomia por meta-dimensão e processo SCOR-DS. Ela funciona como visão integrada do artefato antes da conversão para níveis de maturidade.

Tabela 1 – Taxonomia analítica de OSCM inteligente baseada no SCOR-DS

Meta-Dim.	Dimensões	Pergunta taxonômica	Orchestrate	Plan	Order	Source	Transform	Fulfill	Return
Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Qual é a finalidade central de cada processo na cadeia inteligente?	Governança digital, integração de ecossistema e visibilidade 360°.	Equilíbrio dinâmico oferta/demanda e simulação de cenários proativos.	Captura inteligente e configuração de pedidos com transparência radical.	Aquisição estratégica, responsável e ética em redes resilientes.	Manufatura flexível, centrada no humano e circular (10R).	Logística verde, responsiva e centrada no cliente com visibilidade total.	Fluxos reversos inteligentes e fechamento de loops circulares.
Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras (IA-based)	Quais tecnologias, dados e sistemas tornam o processo mais inteligente?	Control towers, digital twin, IA para risco, digital backbone (ERP/MES).	IA/ML para forecasting, analytics prescritivo, digital twins cognitivos.	IA generativa, RFID, sistemas de reconfiguração rápida.	Blockchain para rastreabilidade, SRM inteligente, supplier analytics.	Cobots, IoT, visão computacional, realidade aumentada.	WMS/TMS com IA, roteirização otimizada, plataformas de visibilidade.	Tecnologias 10R, plataformas circulares, monitoramento de condição.
Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0 (camada transversal)	Que valor Industry 5.0 o processo busca produzir?	Resiliência e viabilidade sistêmica.	Apoio à decisão e aumento da cognição humana.	Personalização responsável e equidade de canal.	Sourcing sustentável e impacto social responsável.	Bem-estar operacional, simbiose humano-tecnologia e segurança.	Logística resiliente com minimização de emissões e última milha humanizada.	Sustentabilidade circular, recuperação de valor e redução de perdas.
Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Que dinâmicas de rede e adaptação caracterizam o processo?	Interdependência massiva e coevolução de parceiros digitais.	Adaptação proativa e não linearidade em turbulência.	Auto-organização local e sistemas sócio-técnicos.	Complexidade relacional e interdependência de rede.	Emergência operacional e ciclos de feedback humano-máquina.	Efeitos de rede e coordenação adaptativa em malhas complexas.	Ciclos de feedback reversos que alimentam redesign e Transform.
Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Como recursos e capacidades precisam ser orquestrados?	Structuring: governança de dados e definição de papéis.	Bundling: fusão de competência analítica e modelos de dados.	Leveraging: mobilização de dados de cliente para serviço superior.	Structuring: organização e seleção da base de fornecimento resiliente.	Bundling: integração de ativos físicos, digitais e humanos.	Leveraging: alavancagem da visibilidade para garantir OTIF e serviço.	Leveraging: recuperação de recursos para vantagem competitiva.
Desempenho	Atributos de performance	Quais atributos de performance são mais salientes?	Agilidade, confiabilidade, social, ambiental.	Responsividade, agilidade, lucro, ativos.	Confiabilidade, responsividade, social.	Confiabilidade, agilidade, ambiental, custos.	Confiabilidade, custos, social, ambiental.	Confiabilidade, responsividade, ambiental, custos.	Agilidade, ambiental, social, custos.

Fonte: Elaboração própria com base na planilha de taxonomia.

6. Matriz processo × performance 7×8

A matriz 7×8 relaciona os processos do SCOR-DS aos oito atributos de performance. A classificação indica se cada atributo atua como primário, secundário ou contextual para o processo analisado.

Tabela 2 – Matriz processo × performance da taxonomia

Processo SCOR-DS	RL	RS	AG	CO	PR	AM	EV	SC
Orchestrate	P	S	P	S	S	C	P	P
Plan	S	P	P	S	P	P	C	C
Order	P	P	S	S	C	C	C	P
Source	P	S	P	P	S	C	P	S
Transform	P	S	S	P	S	S	P	P
Fulfill	P	P	S	P	S	S	P	C
Return	S	C	P	P	C	C	P	P

Fonte: Elaboração própria com base no SCOR-DS e na taxonomia proposta.

Quadro 6 – Legenda da matriz processo × performance

Símbolo	Interpretação
P	Atributo primário: impacto central para o processo.
S	Atributo secundário: impacto relevante, mas não predominante.
C	Atributo contextual: impacto complementar ou indireto.

7. Escala de maturidade

O grid final avalia cada célula processo × meta-dimensão em cinco níveis qualitativos. A versão inicial do grid utilizava três níveis — baixo, médio e alto —, mas a aplicação empírica exploratória mostrou a necessidade de maior granularidade para distinguir estágios intermediários. Por isso, a versão consolidada do artefato adota a escala N1–N5.

Quadro 7 – Escala qualitativa de maturidade final

Nível	Relação com a escala anterior	Caracterização geral	Interpretação
Nível 1 — Inicial	Adaptação do antigo Baixo	Práticas fragmentadas, informais e reativas, com baixa integração entre processos, dados, recursos e decisões.	Maturidade inicial
Nível 2 — Em desenvolvimento	Transição Baixo → Médio	Fundamentos começam a ser formalizados em processos críticos, mas permanecem locais, descontínuos ou pouco conectados.	Maturidade inicial em estruturação
Nível 3 — Estruturado	Adaptação do antigo Médio	Práticas e responsabilidades estão definidas nas principais áreas, com coordenação periódica, integração parcial e uso regular de dados.	Maturidade intermediária
Nível 4 — Integrado	Transição Médio → Alto	Processos, dados, recursos e decisões são integrados entre funções e parceiros críticos, com gestão proativa e análise de trade-offs.	Maturidade avançada em integração
Nível 5 — Adaptativo (benchmark)	Adaptação do antigo Alto	A cadeia opera de forma end-to-end, sistêmica e adaptativa, com aprendizagem contínua e capacidades da Indústria 5.0 incorporadas à geração de valor.	Maturidade de referência

Fonte: Elaboração própria com base na planilha do grid de maturidade final.

8. Como ler o grid de maturidade

Cada linha do grid corresponde a uma célula avaliável. A célula resulta do cruzamento entre um processo SCOR-DS e uma meta-dimensão da taxonomia. Para cada célula, o artefato apresenta: dimensão da taxonomia, descrição da célula, níveis N1 a N5, path de melhoria e base conceitual.

Quadro 8 – Estrutura de uma célula do grid

Campo	Função
Processo SCOR-DS	Define em qual processo da cadeia a célula será avaliada.
Meta-dimensão	Indica a camada analítica da taxonomia utilizada na avaliação.
Dimensão da taxonomia	Explicita o componente conceitual específico observado.
Célula da taxonomia	Resume o conteúdo conceitual esperado para aquela combinação.
Níveis N1 a N5	Descrevem a evolução qualitativa da maturidade: Inicial, Em desenvolvimento, Estruturado, Integrado e Adaptativo/benchmark.
Path de melhoria	Indica a trajetória recomendada de evolução entre níveis adjacentes: N1→N2, N2→N3, N3→N4 e N4→N5, além da consolidação do N5.
Base conceitual	Registra as referências que sustentam a célula e sua lógica de progressão.

9. Grid de maturidade completo por processo SCOR-DS

As tabelas a seguir apresentam a versão final do grid de maturidade, já com cinco níveis e paths de melhoria revisados. Para preservar a legibilidade em formato visual, cada processo é apresentado em duas partes: a primeira reúne a célula da taxonomia e os níveis N1 a N3; a segunda reúne os níveis N4 e N5, o path de melhoria e a base conceitual.

9.1 Processo 1 de 7 – Orchestrate

Governança digital, integração de ecossistema e visibilidade 360° da cadeia.

Tabela 3 – Grid de maturidade do processo Orchestrate (Parte 1: N1 a N3)

Meta-dimensão	Dimensão	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado
Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Governança digital, integração de ecossistema e visibilidade 360°.	Governança informal, papéis pouco claros, decisões locais e baixa visão ponta a ponta.	Responsáveis e interfaces são identificados em áreas críticas, com rotinas básicas de alinhamento, mas a coordenação ainda depende de iniciativas locais.	Governança definida nos principais processos, com fóruns de alinhamento, papéis parcialmente formalizados e visibilidade ainda parcial da cadeia.
Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	Control towers, digital twin, IA para risco, digital backbone (ERP/MES).	Dados dispersos, dashboards manuais, sistemas isolados e baixa integração entre fontes.	Dados críticos começam a ser digitalizados e consolidados em painéis por área, ainda com interoperabilidade limitada e atualização pouco padronizada.	Control tower ou painéis integrados para áreas críticas, com integração parcial de sistemas e uso seletivo de analytics.
Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Resiliência e viabilidade sistêmica.	Resiliência tratada de forma reativa, com pouca visão sistêmica; impactos humanos, sociais e ambientais permanecem periféricos às decisões.	Riscos críticos e impactos humanos e socioambientais são identificados, com planos básicos de contingência e iniciativas ainda isoladas.	Planos de contingência e sustentabilidade são parcialmente integrados à governança, com critérios de centralidade humana aplicados em processos críticos.
Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Interdependência massiva e coevolução de parceiros digitais.	Interdependências pouco mapeadas, reações locais a rupturas e baixa aprendizagem entre ocorrências.	Dependências e vulnerabilidades críticas são mapeadas, com registros básicos de incidentes e feedbacks ainda concentrados em áreas isoladas.	Interdependências relevantes são identificadas e monitoradas nos fluxos principais, com respostas coordenadas, mas sem gestão dinâmica completa.
Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Structuring: governança de dados e definição de papéis.	Governança de dados, papéis, ativos e responsabilidades pouco formalizados e administrados de forma isolada.	Responsáveis e donos de dados são definidos nos processos críticos, com inventário básico de recursos e padrões ainda locais.	Papéis, dados e recursos físicos, digitais e humanos são parcialmente estruturados em áreas-chave, com regras de governança e uso definidas.
Desempenho	Atributos de performance	Agilidade, confiabilidade, social, ambiental.	Performance acompanhada por indicadores isolados e pouco conectados à estratégia, com baixa leitura de impactos sociais e ambientais.	Indicadores básicos de confiabilidade e agilidade são definidos para processos críticos, com acompanhamento periódico e dimensões sociais e ambientais ainda separadas.	Indicadores de confiabilidade e agilidade são monitorados nos principais processos, com painéis compartilhados e acompanhamento parcial das dimensões social e ambiental.

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.

Tabela 4 – Grid de maturidade do processo Orchestra (Parte 2: N4, N5 e paths)

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
Arquitetura do artefato	Governança integrada entre áreas e parceiros críticos, com decisões coordenadas, responsabilidades compartilhadas e visão end-to-end dos fluxos prioritários.	Governança integrada e adaptativa do ecossistema, com papéis claros, decisões coordenadas, visibilidade 360º e revisão contínua dos direitos decisórios diante de riscos e mudanças.	N1 → N2: Mapear papéis, decisões e interfaces dos processos críticos, formalizando responsáveis e rotinas mínimas de alinhamento. N2 → N3: Instituir fóruns interfuncionais recorrentes, critérios de escalonamento e mecanismos básicos de acompanhamento das decisões. N3 → N4: Integrar a governança entre áreas e parceiros críticos, compartilhar responsabilidades e ampliar a visibilidade dos fluxos ponta a ponta. N4 → N5: Evoluir para governança adaptativa do ecossistema, com direitos decisórios revistos conforme riscos, dados compartilhados e coordenação contínua. N5 — Consolidação: Manter ciclos de avaliação da governança, aprendizagem entre parceiros e atualização das regras de decisão.	Padovano e Ivanov (2025); De Carolis et al. (2025)
Infraestrutura digital	Digital backbone conectando os principais processos, control tower ampliada e analytics preditivo para riscos e desvios.	Digital backbone end-to-end, control tower avançada, digital twins e IA apoiando antecipação de riscos, simulação e adaptação contínua das decisões.	N1 → N2: Consolidar fontes críticas de dados, padronizar registros e substituir controles dispersos por painéis básicos nas áreas prioritárias. N2 → N3: Integrar ERP e sistemas operacionais nos processos-chave, definir padrões de qualidade dos dados e disponibilizar dashboards compartilhados. N3 → N4: Estruturar um digital backbone para os fluxos principais, ampliar a control tower e incorporar analytics preditivo para riscos e desvios. N4 → N5: Ampliar a integração para o ecossistema, conectar digital twins e IA aos ciclos de decisão e estabelecer mecanismos contínuos de simulação e adaptação. N5 — Consolidação: Revisar arquitetura, interoperabilidade e modelos analíticos conforme mudanças da rede e das tecnologias disponíveis.	Padovano e Ivanov (2025); De Carolis et al. (2025)
Capacidades de valor	Resiliência proativa e critérios humanos, sociais, ambientais e econômicos são integrados às decisões dos principais processos e parceiros, com análise de trade-offs.	Viabilidade sistêmica, resiliência proativa e governança orientada a valor humano e sustentável guiam o ecossistema por meio de aprendizagem e adaptação contínuas.	N1 → N2: Identificar riscos críticos e impactos humanos, sociais e ambientais relevantes, definindo planos mínimos de contingência e responsáveis. N2 → N3: Incorporar esses critérios aos fóruns de governança e às decisões dos processos prioritários, com revisão periódica dos planos. N3 → N4: Integrar resiliência, sustentabilidade e centralidade humana às decisões dos principais processos e parceiros, avaliando trade-offs de valor. N4 → N5: Operar com lógica de viabilidade sistêmica, revisando vulnerabilidades, capacidades e impactos de forma contínua em todo o ecossistema. N5 — Consolidação: Manter mecanismos de aprendizagem e atualização dos critérios de valor diante de novas perturbações e prioridades.	Padovano e Ivanov (2025); De Carolis et al. (2025)
Dinâmica sistêmica	Efeitos em cascata são analisados sistemicamente, com feedbacks compartilhados, uso de cenários e adaptação proativa entre áreas e parceiros críticos.	Coevolução coordenada com parceiros, leitura sistêmica de efeitos em cascata e adaptação contínua apoiadas por feedback permanente e reconfiguração dinâmica.	N1 → N2: Mapear interdependências, vulnerabilidades e efeitos em cascata nos fluxos críticos, registrando incidentes e respostas adotadas. N2 → N3: Criar rotinas de monitoramento e aprendizagem entre áreas, com protocolos de resposta coordenada para perturbações recorrentes. N3 → N4: Ampliar a análise sistêmica para parceiros críticos, compartilhar feedbacks e utilizar cenários para antecipar efeitos em cascata. N4 → N5: Desenvolver mecanismos de coevolução, reconfiguração dinâmica e aprendizagem contínua do ecossistema diante de sinais emergentes. N5 — Consolidação: Atualizar mapas de interdependência, cenários e padrões de resposta conforme a rede evolui.	Padovano e Ivanov (2025); De Carolis et al. (2025)
Orquestração de recursos	Recursos são estruturados e coordenados entre funções e parceiros críticos, com responsabilidades, padrões e mecanismos de realocação integrados.	Structuring robusto: dados, papéis, responsabilidades e recursos são organizados e dinamicamente reconfigurados para a orquestração do ecossistema e a geração contínua de valor.	N1 → N2: Formalizar papéis, responsabilidades e donos de dados nos processos críticos, mapeando os recursos físicos, digitais, humanos e relacionais disponíveis. N2 → N3: Definir padrões de governança, acesso, atualização e uso dos recursos nas áreas-chave, reduzindo duplicidades e lacunas de responsabilidade.	Padovano e Ivanov (2025); De Carolis et al. (2025)

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
			N3 → N4: Integrar a estruturação de recursos entre funções e parceiros críticos, estabelecer mecanismos de realocação e alinhar recursos às prioridades da cadeia. N4 → N5: Desenvolver capacidade dinâmica de reconfigurar o portfólio de recursos do ecossistema conforme riscos, oportunidades e objetivos de valor. N5 — Consolidação: Revisar continuamente a adequação, complementaridade e governança dos recursos.	
Desempenho	Indicadores multidimensionais são integrados entre processos e parceiros críticos, com análise de trade-offs e uso sistemático nas decisões de governança.	Indicadores integrados de confiabilidade, agilidade, impacto social e ambiental orientam decisões de rede em um sistema end-to-end, preditivo e adaptativo.	N1 → N2: Selecionar indicadores básicos de confiabilidade, agilidade e impactos sociais e ambientais para os processos críticos, definindo responsáveis e periodicidade. N2 → N3: Consolidar os indicadores em painéis compartilhados e conectá-los às rotinas de análise e decisão das áreas principais. N3 → N4: Integrar indicadores entre processos e parceiros críticos, explicitar trade-offs e vinculá-los à priorização de recursos e riscos. N4 → N5: Evoluir para monitoramento end-to-end, preditivo e adaptativo, usando resultados e feedbacks para aprendizagem sistêmica e melhoria contínua. N5 — Consolidação: Revisar metas, indicadores e critérios de decisão conforme mudanças estratégicas e do ecossistema.	Padovano e Ivanov (2025); De Carolis et al. (2025)

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.

9.2 Processo 2 de 7 – Plan

Equilíbrio dinâmico oferta/demanda, simulação de cenários e planejamento adaptativo.

Tabela 5 – Grid de maturidade do processo Plan (Parte 1: N1 a N3)

Meta-dimensão	Dimensão	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado
Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Equilíbrio dinâmico oferta/demanda e simulação de cenários proativos.	Planejamento reativo, com pouca integração entre demanda, capacidade e riscos.	Rotinas básicas de planejamento são formalizadas por área, com responsáveis e calendários definidos, mas demanda, capacidade, suprimentos e riscos ainda são analisados separadamente.	S&OP/IBP parcialmente estruturado e balanceamento regular de oferta e demanda, com participação recorrente das principais áreas e integração ainda limitada.
Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	IA/ML para forecasting, analytics prescritivo, digital twins cognitivos.	Uso pontual de planilhas e dados fragmentados.	Bases de demanda, estoque, capacidade e histórico operacional são padronizadas e compartilhadas, com relatórios digitais básicos e automações ainda locais.	Uso de sistemas integrados e analytics descritivo nos processos-chave de planejamento, com dados periódicos e visibilidade parcial das variáveis críticas.
Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Apoio à decisão e aumento da cognição humana.	Decisão centrada apenas em custo/volume, com pouca participação humana estruturada.	Riscos, restrições humanas e impactos socioambientais básicos começam a ser considerados, ainda de forma pontual e sem critérios comuns entre áreas.	Apoio analítico parcial à decisão e incorporação pontual de sustentabilidade ou risco, com participação humana recorrente nos processos críticos.
Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Adaptação proativa e não linearidade em turbulência.	Pouca leitura de não linearidades e baixa capacidade de antecipar rupturas.	Variações de demanda, suprimento e capacidade são registradas, com gatilhos e respostas básicas para eventos conhecidos, ainda predominantemente reativos.	Replanejamento periódico e resposta a variações conhecidas, com aprendizagem baseada em ocorrências passadas e coordenação parcial entre áreas.
Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Bundling: fusão de competência analítica e modelos de dados.	Dados, modelos e competências analíticas desconectados.	Dados essenciais, modelos simples e conhecimento da equipe começam a ser organizados em processos críticos, mas permanecem dependentes de iniciativas individuais.	Integração parcial entre dados, sistemas e equipe de planejamento, com competências e rotinas analíticas aplicadas regularmente em áreas-chave.
Desempenho	Atributos de performance	Responsividade, agilidade, lucro, ativos.	Foco limitado em cumprir plano, com baixa leitura de trade-offs.	Indicadores básicos de aderência ao plano, previsão, estoque, capacidade e nível de serviço são acompanhados separadamente, com análise periódica.	Monitoramento de responsividade, agilidade e alguns indicadores financeiros, com leitura parcial de impactos sobre estoques e ativos.

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.

Tabela 6 – Grid de maturidade do processo Plan (Parte 2: N4, N5 e paths)

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
Arquitetura do artefato	S&OP/IBP integrado entre comercial, operações, suprimentos e finanças, com análise regular de riscos, restrições, cenários e trade-offs.	Planejamento adaptativo, baseado em cenários, riscos e simulação proativa, com replanejamento contínuo e coordenação end-to-end diante de perturbações.	N1 → N2: Formalizar uma rotina mínima de planejamento de demanda, capacidade e suprimentos, definir responsáveis, calendários e dados básicos, e registrar premissas e restrições relevantes. N2 → N3: Instituir ciclos recorrentes de S&OP/IBP, integrar as principais áreas e consolidar uma visão comum de demanda, capacidade, estoques e riscos. N3 → N4: Conectar planejamento operacional e financeiro, incorporar cenários, restrições e indicadores de risco e estabelecer mecanismos formais de decisão sobre trade-offs. N4 → N5: Evoluir para planejamento adaptativo, com simulação contínua, replanejamento orientado por sinais, integração end-to-end e respostas coordenadas a perturbações. N5 — Consolidação: Revisar modelos, premissas, cenários e regras de decisão conforme mudanças no ambiente, na estratégia e na rede.	Padovano e Ivanov (2025); Dittfeld et al. (2022); Fani et al. (2023); Nayeri et al. (2023)
Infraestrutura digital	Forecasting preditivo, simulação e otimização apoiam decisões em fluxos críticos, com integração entre sistemas e atualização mais frequente dos dados.	IA/ML, cenários preditivos, analytics prescritivo e digital twins cognitivos sustentam planejamento adaptativo e decisões contínuas diante de mudanças.	N1 → N2: Padronizar bases de demanda, estoque, capacidade, suprimentos e histórico operacional, definir responsáveis pelos dados e substituir controles dispersos por relatórios compartilhados. N2 → N3: Integrar os sistemas utilizados pelas áreas de planejamento, estabelecer regras de qualidade e atualização e disponibilizar dashboards de analytics descritivo. N3 → N4: Incorporar forecasting preditivo, simulação e otimização nos fluxos críticos, conectando os resultados às rotinas de S&OP/IBP e à análise de riscos. N4 → N5: Evoluir para analytics prescritivo, IA/ML e digital twins cognitivos, com replanejamento contínuo e recomendações adaptativas orientadas por eventos. N5 — Consolidação: Recalibrar modelos, revisar fontes de dados e monitorar desempenho, explicabilidade e aderência das recomendações analíticas.	Fani et al. (2023); Padovano e Ivanov (2025); Nayeri et al. (2023)
Capacidades de valor	Decisões são aumentadas por dados e combinam julgamento humano, resiliência, sustentabilidade e desempenho, com critérios explícitos e análise de trade-offs.	Decisão aumentada por dados, com cognição humana ampliada e equilíbrio sistêmico entre desempenho, resiliência, sustentabilidade e viabilidade.	N1 → N2: Ampliar os critérios de planejamento além de custo e volume, registrando riscos, restrições humanas e impactos socioambientais relevantes para os processos críticos. N2 → N3: Incorporar esses critérios às reuniões de planejamento, definir responsabilidades e utilizar análises básicas para apoiar o julgamento das equipes. N3 → N4: Integrar desempenho, resiliência, sustentabilidade e centralidade humana aos cenários e decisões, explicitando trade-offs e mantendo supervisão humana sobre recomendações analíticas. N4 → N5: Estruturar decisão aumentada por dados em toda a cadeia, combinando modelos, experiência humana, aprendizagem e critérios de viabilidade sistêmica. N5 — Consolidação: Revisar critérios de valor, mecanismos de participação humana e limites de uso dos modelos conforme novas condições e prioridades.	Padovano e Ivanov (2025); Dittfeld et al. (2022); Nayeri et al. (2023)
Dinâmica sistêmica	Cenários, feedbacks e simulações são utilizados para antecipar efeitos em cascata e coordenar respostas proativas entre áreas e parceiros críticos.	Adaptação proativa a turbulências, aprendizagem contínua com cenários e sensibilidade a efeitos não lineares e sistêmicos em toda a rede.	N1 → N2: Registrar variações relevantes de demanda, suprimento e capacidade, identificar gatilhos recorrentes e documentar as respostas adotadas. N2 → N3: Estabelecer ciclos periódicos de replanejamento, protocolos para variações conhecidas e rotinas de aprendizagem entre as áreas envolvidas. N3 → N4: Utilizar cenários, simulações e feedbacks compartilhados para antecipar efeitos em cascata e coordenar respostas com parceiros críticos. N4 → N5: Desenvolver adaptação contínua baseada em sinais, aprendizagem histórica e reconfiguração dinâmica dos planos diante de turbulências e não linearidades.	Dittfeld et al. (2022); Fani et al. (2023); Padovano e Ivanov (2025)

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
			N5 — Consolidação: Atualizar gatilhos, cenários e padrões de resposta à medida que novas perturbações e interdependências surgem.	
Orquestração de recursos	Dados, modelos, competências e rotinas decisórias são combinados entre funções, com papéis definidos e realocação coordenada de recursos conforme cenários.	Bundling avançado de dados, modelos, competências humanas e rotinas decisórias sustenta planejamento adaptativo e geração contínua de valor.	N1 → N2: Identificar dados, modelos e competências essenciais ao planejamento, organizar responsáveis e aproximar conhecimento analítico e experiência operacional. N2 → N3: Integrar sistemas, analistas e equipes de negócio em ciclos formais de planejamento, padronizando modelos, premissas e responsabilidades. N3 → N4: Combinar recursos analíticos e operacionais entre funções, desenvolver competências avançadas e estabelecer mecanismos de realocação conforme cenários e prioridades. N4 → N5: Consolidar bundling dinâmico de dados, modelos, tecnologia e cognição humana para reconfigurar decisões e capacidades de planejamento continuamente. N5 — Consolidação: Atualizar competências, modelos e combinações de recursos conforme mudanças estratégicas, tecnológicas e do ambiente.	Fani et al. (2023); Padovano e Ivanov (2025); Nayeri et al. (2023)
Desempenho	Responsividade, agilidade, lucro e gestão de ativos são analisados de forma integrada em cenários, com trade-offs explícitos orientando decisões.	Otimização integrada e adaptativa de responsividade, agilidade, lucro e ativos, com metas recalibradas continuamente diante de riscos e mudanças.	N1 → N2: Definir indicadores básicos de aderência ao plano, previsão, estoque, capacidade, nível de serviço e custos, com responsáveis e periodicidade. N2 → N3: Consolidar os indicadores em painéis de planejamento e conectá-los às rotinas de S&OP/IBP e à análise das causas dos desvios. N3 → N4: Integrar indicadores operacionais, financeiros e de ativos, simular trade-offs e vincular os resultados às decisões de alocação de recursos. N4 → N5: Evoluir para otimização contínua e adaptativa, com metas dinâmicas, cenários e feedbacks orientando ajustes dos planos. N5 — Consolidação: Revisar indicadores, pesos e metas conforme mudanças de estratégia, restrições e condições da rede.	Padovano e Ivanov (2025); Dittfeld et al. (2022); Fani et al. (2023); Nayeri et al. (2023)

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.

9.3 Processo 3 de 7 – Order

Captura inteligente, configuração de pedidos e transparência ao cliente.

Tabela 7 – Grid de maturidade do processo Order (Parte 1: N1 a N3)

Meta-dimensão	Dimensão	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado
Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Captura inteligente e configuração de pedidos com transparência radical.	Pedidos capturados de forma manual ou pouco integrada, com baixa transparência ao cliente.	Canais, campos, regras e responsáveis pela captura de pedidos são padronizados, com comunicação básica de status e integração ainda limitada.	Automação parcial da entrada de pedidos e regras comerciais padronizadas, com visibilidade em canais-chave e tratamento estruturado de parte das exceções.
Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	IA generativa, RFID, sistemas de reconfiguração rápida.	CRM/OMS fragmentados e baixo uso de dados do cliente.	Dados de clientes, pedidos e canais são consolidados em bases consistentes, com automações simples e integração ainda restrita a etapas específicas.	RFID, automação de pedidos ou recomendação usados de forma parcial, com CRM/OMS aplicados em canais ou segmentos prioritários.
Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Personalização responsável e equidade de canal.	Personalização limitada e pouca atenção à ética no uso de dados.	Crítérios mínimos de transparência, privacidade e tratamento equitativo são definidos, mas aplicados de forma desigual entre canais e segmentos.	Personalização parcial com regras de canal e alguma governança de dados, com práticas de transparência e proteção aplicadas em situações prioritárias.
Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Auto-organização local e sistemas sócio-técnicos.	Exceções tratadas caso a caso, com pouca aprendizagem local.	Exceções, reclamações e ajustes são registrados, com protocolos locais e feedbacks básicos ainda concentrados nas equipes de atendimento.	Equipes ajustam localmente pedidos e exceções com algum suporte de sistema, utilizando rotinas de feedback para ocorrências recorrentes.
Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Leveraging: mobilização de dados de cliente para serviço superior.	Dados de cliente pouco mobilizados para gerar serviço superior.	Dados essenciais de clientes, canais e pedidos são organizados e conectados a regras básicas de atendimento, ainda sem integração plena com a operação.	Dados e regras comerciais parcialmente combinados com capacidades operacionais, apoiando melhorias em canais ou segmentos prioritários.
Desempenho	Atributos de performance	Confiabilidade, responsividade, social.	Baixa previsibilidade do pedido e falhas frequentes de promessa/atendimento.	Falhas, tempo de resposta, cumprimento de promessas e reclamações são medidos em canais prioritários, ainda sem análise integrada das causas.	Confiabilidade e responsividade monitoradas em canais-chave, com ações corretivas e comparação periódica entre segmentos.

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.

Tabela 8 – Grid de maturidade do processo Order (Parte 2: N4, N5 e paths)

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
Arquitetura do artefato	Canais e sistemas de pedidos são integrados, com configuração responsiva, visibilidade em tempo real e gestão coordenada de exceções.	Configuração inteligente, transparente e responsiva de pedidos, com experiência superior, previsibilidade e adaptação contínua às necessidades do cliente.	N1 → N2: Padronizar canais, dados obrigatórios, regras comerciais, responsáveis e comunicação de status ao cliente, reduzindo retrabalho e divergências. N2 → N3: Automatizar a entrada de pedidos nos canais prioritários, integrar regras comerciais aos sistemas internos e estruturar o tratamento de exceções recorrentes. N3 → N4: Integrar canais, estoques, capacidade e atendimento, ampliar a visibilidade em tempo real e coordenar decisões sobre promessas, alterações e prioridades. N4 → N5: Evoluir para configuração inteligente e adaptativa de pedidos, com transparência end-to-end, previsibilidade e resposta personalizada às variações do cliente. N5 — Consolidação: Revisar regras, canais, jornadas e mecanismos de exceção conforme mudanças no comportamento dos clientes e na operação.	Xia et al. (2026); Wang et al. (2025)
Infraestrutura digital	CRM/OMS, RFID, automação e mecanismos de recomendação são integrados aos principais canais e processos, com reconfiguração rápida em situações críticas.	IA generativa, RFID e sistemas de reconfiguração rápida integrados ao atendimento, à operação e aos dados do cliente em uma arquitetura end-to-end.	N1 → N2: Organizar dados de clientes, pedidos e canais em bases consistentes, eliminar duplicidades e automatizar tarefas básicas de captura e atualização. N2 → N3: Integrar CRM/OMS aos canais prioritários e aplicar RFID, automação ou recomendações simples nos fluxos de maior volume ou criticidade. N3 → N4: Conectar sistemas comerciais e operacionais, ampliar rastreabilidade e personalização e estruturar mecanismos de reconfiguração rápida diante de exceções. N4 → N5: Incorporar IA generativa, dados em tempo real e reconfiguração adaptativa ao atendimento e à operação, preservando supervisão e governança. N5 — Consolidação: Atualizar integrações, modelos e tecnologias conforme novos canais, padrões de demanda e requisitos de segurança e privacidade.	Xia et al. (2026); Wang et al. (2025)
Capacidades de valor	Personalização responsável e equidade são integradas entre canais, com governança consistente, supervisão humana e avaliação dos impactos das decisões.	Personalização responsável, equidade de canal e uso ético dos dados de clientes orientam continuamente a experiência, a confiança e a criação de valor.	N1 → N2: Definir critérios mínimos de transparência, privacidade, consentimento e tratamento equitativo no uso de dados e na comunicação com clientes. N2 → N3: Aplicar regras de canal, segmentação e personalização em escopos prioritários, com governança básica e mecanismos de revisão de ocorrências. N3 → N4: Integrar personalização, equidade e governança entre canais, avaliar impactos sobre diferentes grupos e manter supervisão humana das decisões automatizadas. N4 → N5: Tornar personalização responsável e uso ético dos dados capacidades sistêmicas, adaptadas continuamente com base em feedbacks, riscos e valor entregue. N5 — Consolidação: Revisar critérios éticos, modelos de personalização e mecanismos de equidade diante de novas tecnologias, regulações e expectativas sociais.	Xia et al. (2026)
Dinâmica sistêmica	Auto-organização é coordenada entre canais, atendimento e operação, com limites claros, feedback compartilhado e aprendizagem sobre efeitos em cascata.	Auto-organização local estruturada em sistemas sociotécnicos com aprendizagem contínua e resposta adaptativa coordenada às variações do cliente.	N1 → N2: Registrar exceções, reclamações e ajustes recorrentes, definir protocolos básicos e atribuir responsáveis pela análise das causas. N2 → N3: Disponibilizar suporte de sistema às equipes, criar rotinas de feedback e permitir ajustes locais dentro de regras e limites definidos. N3 → N4: Integrar aprendizagem entre canais e operação, compartilhar efeitos das exceções e coordenar respostas quando houver impactos em outras áreas. N4 → N5: Estruturar sistemas sociotécnicos adaptativos, com autonomia responsável, feedback contínuo e reconfiguração coordenada diante de novos padrões de demanda. N5 — Consolidação: Atualizar limites de autonomia, protocolos e	Wang et al. (2025); Xia et al. (2026)

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
			mecanismos de aprendizagem conforme surgem novas exceções e comportamentos.	
Orquestração de recursos	Dados de clientes, regras comerciais e recursos operacionais são integrados entre canais, permitindo personalização, confiabilidade e resposta coordenada.	Leveraging avançado de dados de cliente para serviço, confiabilidade e valor superior, com reconfiguração contínua das capacidades de atendimento e operação.	N1 → N2: Identificar dados de clientes, canais e pedidos relevantes, organizar sua governança e conectá-los a regras básicas de atendimento e promessa. N2 → N3: Combinar dados comerciais com capacidades operacionais nos canais prioritários, utilizando-os para reduzir falhas e melhorar resposta e confiabilidade. N3 → N4: Integrar dados, regras e recursos entre canais e operações, permitindo personalização responsável e coordenação de prioridades e exceções. N4 → N5: Alavancar dados e capacidades de forma dinâmica, reconfigurando serviço, promessas e recursos conforme contexto, feedback e valor esperado. N5 — Consolidação: Revisar continuamente a qualidade dos dados, as regras de mobilização e a contribuição dos recursos para a experiência do cliente.	Xia et al. (2026); Wang et al. (2025)
Desempenho	Indicadores de confiabilidade, responsividade e valor social/ético são integrados entre canais e operações, com análise de causas e trade-offs.	Alta confiabilidade, responsividade e valor social/ético na relação com o cliente, apoiados por monitoramento preditivo e aprendizagem contínua.	N1 → N2: Medir falhas de pedido, tempo de resposta, cumprimento de promessas, alterações e reclamações, definindo responsáveis e metas básicas. N2 → N3: Consolidar indicadores por canal e segmento, analisar causas recorrentes e conectar resultados às rotinas de atendimento e operação. N3 → N4: Integrar indicadores comerciais, operacionais e sociais, explicitar trade-offs e utilizar dados para priorizar melhorias e recursos. N4 → N5: Evoluir para monitoramento preditivo, prevenção de falhas e adaptação contínua da experiência, preservando confiança e valor ético. N5 — Consolidação: Revisar metas, indicadores e critérios de valor conforme mudanças nos canais, clientes e compromissos sociais.	Xia et al. (2026); Wang et al. (2025)

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.

9.4 Processo 4 de 7 – Source

Aquisição estratégica, responsável e ética em redes resilientes.

Tabela 9 – Grid de maturidade do processo Source (Parte 1: N1 a N3)

Meta-dimensão	Dimensão	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado
Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Aquisição estratégica, responsável e ética em redes resilientes.	Compras orientadas principalmente a preço e disponibilidade imediata.	Categorias são segmentadas e critérios mínimos de qualidade, prazo, risco e conformidade são definidos, ainda com aplicação desigual.	Críticos de risco, qualidade e sustentabilidade parcialmente incorporados, com processos formais em categorias ou fornecedores prioritários.
Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	Blockchain para rastreabilidade, SRM inteligente, supplier analytics.	Cadastro de fornecedores e compras pouco digitalizados.	Cadastros, histórico de compras, contratos e ocorrências são digitalizados em bases consistentes, com avaliação básica e integração ainda limitada.	SRM/e-procurement e analytics usados em categorias críticas, com rastreabilidade parcial e atualização periódica de dados.
Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Sourcing sustentável e impacto social responsável.	Critério dominante de custo.	Qualidade, risco, conformidade e impactos básicos começam a complementar o custo, ainda sem aplicação consistente na base de fornecedores.	Críticos de risco e sustentabilidade parcialmente incorporados em categorias ou fornecedores críticos.
Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Complexidade relacional e interdependência de rede.	Baixa visibilidade das interdependências e riscos da rede de fornecedores.	Fornecedores críticos, dependências, gargalos e alternativas são mapeados, com monitoramento ainda pontual e concentrado em categorias prioritárias.	Mapeamento parcial de dependências e riscos em fornecedores críticos, com planos alternativos e respostas definidas para rupturas recorrentes.
Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Structuring: organização e seleção da base de fornecimento resiliente.	Base de fornecedores pouco segmentada e papéis pouco definidos.	Fornecedores são segmentados por criticidade, risco e contribuição, com papéis e requisitos básicos definidos para categorias prioritárias.	Segmentação e qualificação parcial da base de fornecimento, com homologação e desenvolvimento aplicados a fornecedores-chave.
Desempenho	Atributos de performance	Confiabilidade, agilidade, ambiental, custos.	Foco em custo de compra, com baixa leitura de confiabilidade e impacto ambiental.	Custo, prazo, qualidade e confiabilidade são acompanhados para fornecedores relevantes, com indicadores ambientais ainda pontuais.	Custos e confiabilidade monitorados em categorias estratégicas, com avaliações periódicas e algumas medidas ambientais.

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.

Tabela 10 – Grid de maturidade do processo Source (Parte 2: N4, N5 e paths)

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
Arquitetura do artefato	Sourcing estratégico integra criticidade, continuidade, sustentabilidade e desenvolvimento de fornecedores nos principais portfólios de compra.	Aquisição estratégica, responsável e ética em redes resilientes, com governança de riscos, colaboração e desenvolvimento contínuo da base fornecedora.	N1 → N2: Segmentar categorias de compra, definir critérios mínimos além de preço e disponibilidade e formalizar responsáveis e regras básicas de seleção. N2 → N3: Aplicar critérios de risco, qualidade, sustentabilidade e continuidade em categorias prioritárias e instituir processos formais de homologação e avaliação. N3 → N4: Integrar sourcing à estratégia, desenvolver fornecedores críticos, estruturar alternativas e conectar decisões de compra a riscos e objetivos de valor. N4 → N5: Operar redes de fornecimento resilientes, responsáveis e éticas, com colaboração, desenvolvimento contínuo e reconfiguração diante de perturbações. N5 — Consolidação: Revisar portfólios, critérios, riscos e papéis dos fornecedores conforme mudanças na estratégia e no ecossistema.	Zhang et al. (2024); Mishra et al. (2025); Matey e Raut (2024); Cannas et al. (2025)
Infraestrutura digital	Supplier analytics, monitoramento de riscos e rastreabilidade são integrados à gestão dos principais fornecedores e categorias.	Blockchain, SRM inteligente, supplier analytics e rastreabilidade end-to-end integrados, com monitoramento contínuo de risco, desempenho e conformidade.	N1 → N2: Digitalizar cadastros, histórico de compras, contratos, documentos e ocorrências, padronizando dados e responsabilidades de atualização. N2 → N3: Adotar e-procurement ou SRM em categorias críticas, criar indicadores básicos e integrar informações de compras, qualidade e entrega. N3 → N4: Incorporar supplier analytics, monitoramento de riscos e rastreabilidade aos fornecedores estratégicos, conectando dados às decisões de seleção e desenvolvimento. N4 → N5: Ampliar rastreabilidade e monitoramento para a rede, utilizar blockchain quando aplicável e operar com análises contínuas e adaptativas de risco e desempenho. N5 — Consolidação: Atualizar integrações, modelos de risco e mecanismos de rastreabilidade conforme mudanças tecnológicas, regulatórias e da base fornecedora.	Mishra et al. (2025); Matey e Raut (2024); Cannas et al. (2025)
Capacidades de valor	Critérios ambientais, sociais, éticos, de rastreabilidade e resiliência orientam decisões e desenvolvimento nos principais relacionamentos.	Sourcing resiliente, rastreável e sustentável, com impactos sociais responsáveis e equilíbrio contínuo entre valor econômico, ambiental e humano.	N1 → N2: Ampliar os critérios de compra para incluir qualidade, risco, conformidade e impactos básicos, definindo requisitos mínimos para categorias críticas. N2 → N3: Incorporar sustentabilidade, ética e resiliência às avaliações de fornecedores prioritários e às decisões de homologação e continuidade. N3 → N4: Integrar critérios ambientais, sociais, econômicos e de rastreabilidade ao desenvolvimento da base e à análise de trade-offs de sourcing. N4 → N5: Consolidar sourcing responsável e resiliente em toda a rede, com aprendizagem conjunta, transparência e adaptação dos critérios às mudanças do ecossistema. N5 — Consolidação: Revisar requisitos, riscos e impactos com fornecedores e partes interessadas, atualizando compromissos e prioridades de valor.	Zhang et al. (2024); Mishra et al. (2025); Cannas et al. (2025)
Dinâmica sistêmica	Riscos e interdependências são monitorados dinamicamente, com respostas colaborativas, cenários e coevolução com fornecedores estratégicos.	Gestão dinâmica da complexidade relacional, coevolução e interdependência de rede, com adaptação contínua da base diante de sinais e perturbações.	N1 → N2: Mapear fornecedores críticos, dependências, gargalos, concentrações e alternativas, registrando riscos e responsáveis pela resposta. N2 → N3: Monitorar riscos em categorias estratégicas, desenvolver planos alternativos e realizar revisões periódicas das dependências e capacidades. N3 → N4: Compartilhar sinais e cenários com fornecedores críticos, coordenar respostas e adaptar relacionamentos e capacidades diante de efeitos em cascata. N4 → N5: Operar com coevolução e reconfiguração dinâmica da rede, antecipando mudanças e ajustando continuamente papéis, fluxos e parcerias. N5 — Consolidação: Atualizar mapas de dependência, cenários e mecanismos colaborativos à medida que a rede e os riscos evoluem.	Zhang et al. (2024); Mishra et al. (2025); Cannas et al. (2025)

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
Orquestração de recursos	Seleção, desenvolvimento, risco, ESG e resiliência são integrados à estruturação da base, com complementaridade e colaboração entre parceiros críticos.	Structuring avançado da base: seleção, desenvolvimento, risco, ESG, resiliência e papéis claros na criação e reconfiguração contínua de valor.	N1 → N2: Segmentar a base por criticidade, risco e contribuição, definir papéis e requisitos mínimos e identificar lacunas de capacidade. N2 → N3: Formalizar qualificação, homologação e avaliação de fornecedores-chave e iniciar programas de desenvolvimento para necessidades prioritárias. N3 → N4: Integrar desenvolvimento, risco, ESG, resiliência e complementaridade de recursos nos relacionamentos estratégicos, com responsabilidades compartilhadas. N4 → N5: Estruturar e reconfigurar dinamicamente a base fornecedora conforme riscos, oportunidades e objetivos de valor da cadeia. N5 — Consolidação: Revisar segmentação, capacidades, complementaridades e governança dos relacionamentos conforme a evolução do portfólio.	Zhang et al. (2024); Mishra et al. (2025); Cannas et al. (2025)
Desempenho	Confiabilidade, agilidade, custos e desempenho ambiental são integrados em scorecards e decisões de sourcing, com trade-offs explícitos.	Confiabilidade, agilidade, custos e impacto ambiental orientam de forma preditiva e adaptativa a gestão e reconfiguração da rede fornecedora.	N1 → N2: Acompanhar custo, prazo, qualidade, confiabilidade e ocorrências dos fornecedores mais relevantes, definindo responsáveis e metas básicas. N2 → N3: Consolidar scorecards para categorias estratégicas e incluir indicadores ambientais e de risco nas revisões periódicas. N3 → N4: Integrar desempenho operacional, econômico e ambiental às decisões de seleção, desenvolvimento, continuidade e alocação de volumes. N4 → N5: Evoluir para monitoramento preditivo e adaptativo da base, utilizando sinais de risco e desempenho para reconfigurar fornecedores e estratégias. N5 — Consolidação: Revisar indicadores, pesos e critérios conforme mudanças de mercado, risco, regulação e objetivos de sustentabilidade.	Zhang et al. (2024); Mishra et al. (2025); Matey e Raut (2024)

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.

9.5 Processo 5 de 7 – Transform

Manufatura flexível, centrada no humano e circular.

Tabela 11 – Grid de maturidade do processo Transform (Parte 1: N1 a N3)

Meta-dimensão	Dimensão	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado
Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Manufatura flexível, centrada no humano e circular (10R).	Produção pouco flexível, centrada em eficiência local e baixa circularidade.	Gargalos, desperdícios, riscos de segurança e oportunidades de circularidade são mapeados, com padronização e melhoria contínua em células prioritárias.	Automação e melhoria contínua aplicadas em linhas ou células específicas, com ganhos locais de flexibilidade, segurança e redução de desperdícios.
Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	Cobots, IoT, visão computacional, realidade aumentada.	Automação isolada e baixa integração entre chão de fábrica e sistemas.	Dados básicos de produção, manutenção, qualidade e segurança são capturados digitalmente em áreas prioritárias, ainda com integração limitada.	IoT, MES/SCADA ou visão computacional em áreas críticas, com monitoramento regular e conexão parcial aos sistemas de gestão.
Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Bem-estar operacional, simbiose humano-tecnologia e segurança.	Bem-estar e segurança tratados como requisitos mínimos.	Ergonomia, segurança, bem-estar e capacitação são tratados como critérios explícitos em áreas prioritárias, com iniciativas ainda isoladas.	Ergonomia, segurança e apoio digital parcialmente incorporados, com treinamento e participação humana em linhas ou células críticas.
Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Emergência operacional e ciclos de feedback humano-máquina.	Baixa visibilidade de efeitos em cascata.	Falhas, retrabalhos, paradas e efeitos locais são registrados, com feedbacks básicos e aprendizagem ainda concentrada em áreas específicas.	Feedback operacional parcial entre equipes, máquinas e gestão, com rotinas periódicas de análise e correção em processos críticos.
Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Bundling: integração de ativos físicos, digitais e humanos.	Recursos físicos, digitais e humanos geridos separadamente.	Ativos, dados, competências e funções críticas são mapeados, com coordenação básica e responsabilidades definidas em áreas prioritárias.	Integração parcial entre máquinas, dados e competências operacionais, com rotinas combinadas em processos-chave.
Desempenho	Atributos de performance	Confiabilidade, custos, social, ambiental.	Foco em produtividade/custo, com pouca leitura social e ambiental.	Produtividade, qualidade, confiabilidade, segurança e impactos ambientais básicos são medidos em áreas prioritárias, ainda de forma separada.	Custos e confiabilidade acompanhados com iniciativas ambientais pontuais e monitoramento de segurança em processos críticos.

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.

Tabela 12 – Grid de maturidade do processo Transform (Parte 2: N4, N5 e paths)

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
Arquitetura do artefato	Flexibilidade, centralidade humana e circularidade são integradas nos principais fluxos produtivos, com colaboração entre áreas e adaptação coordenada.	Manufatura flexível, centrada no humano e circular, com simbiose humano-tecnologia e adaptação contínua do sistema produtivo.	N1 → N2: Mapear gargalos, desperdícios, riscos de segurança e oportunidades de circularidade, formalizar padrões e iniciar melhoria contínua em células críticas. N2 → N3: Aplicar automação, lean e padronização nos fluxos prioritários, medir resultados e ampliar treinamento e participação das equipes. N3 → N4: Integrar flexibilidade, ergonomia, circularidade e melhoria contínua entre linhas e áreas, conectando decisões produtivas e objetivos de valor. N4 → N5: Evoluir para manufatura adaptativa, human-centric e circular, com simbiose humano-tecnologia, reconfiguração rápida e aprendizagem sistêmica. N5 — Consolidação: Revisar configurações, práticas 10R, desenho do trabalho e capacidades conforme mudanças de produto, tecnologia e demanda.	Dittfeld et al. (2022); Wang et al. (2025); Latino et al. (2025); Ciano et al. (2021); Eriksson et al. (2024); Cannas et al. (2025)
Infraestrutura digital	Chão de fábrica e sistemas corporativos são integrados, com cobots, visão computacional, realidade aumentada e analytics aplicados aos principais fluxos.	Cobots, IoT, visão computacional e realidade aumentada integrados ao processo, com sistemas produtivos adaptativos, interoperáveis e orientados por dados.	N1 → N2: Digitalizar dados básicos de produção, manutenção, qualidade e segurança, padronizar registros e priorizar pontos críticos de captura. N2 → N3: Implementar IoT, MES/SCADA, visão computacional ou automação em áreas críticas e conectar os dados às rotinas de gestão e melhoria. N3 → N4: Integrar chão de fábrica, manutenção, qualidade e sistemas corporativos, expandindo cobots, analytics e apoio digital aos fluxos principais. N4 → N5: Consolidar arquitetura produtiva interoperável e adaptativa, com tecnologias avançadas apoiando reconfiguração, aprendizagem e decisão em tempo real. N5 — Consolidação: Atualizar tecnologias, integrações e mecanismos de cibersegurança e avaliar continuamente sua contribuição ao trabalho e ao desempenho.	Wang et al. (2025); Latino et al. (2025); Ciano et al. (2021); Eriksson et al. (2024); Cannas et al. (2025)
Capacidades de valor	Colaboração humano-tecnologia, desenho participativo do trabalho e indicadores de bem-estar são integrados aos principais processos produtivos.	Simbiose humano-tecnologia, bem-estar operacional e segurança como capacidades produtivas e fontes contínuas de aprendizagem e desempenho.	N1 → N2: Incorporar ergonomia, segurança e bem-estar aos critérios de gestão, mapear riscos e necessidades de capacitação e definir responsáveis. N2 → N3: Implementar apoio digital, treinamento e participação das equipes em células críticas, monitorando efeitos sobre segurança, carga e desempenho. N3 → N4: Integrar desenho participativo, competências, tecnologia e indicadores de bem-estar nos principais fluxos produtivos e decisões de automação. N4 → N5: Desenvolver simbiose humano-tecnologia, com adaptação do sistema às capacidades humanas, aprendizagem contínua e segurança proativa. N5 — Consolidação: Revisar desenho do trabalho, competências, riscos e interfaces humano-tecnologia conforme novas tecnologias e necessidades.	Latino et al. (2025); Eriksson et al. (2024); Cannas et al. (2025); Dittfeld et al. (2022)
Dinâmica sistêmica	Ciclos humano-máquina e feedbacks entre áreas são estruturados, permitindo antecipar cascatas, adaptar parâmetros e disseminar aprendizagem.	Aprendizagem contínua e ciclos humano-máquina estruturados, com prevenção de falhas sistêmicas e adaptação dinâmica da produção.	N1 → N2: Registrar falhas, retrabalhos, paradas e efeitos em cascata, documentar respostas e estabelecer rotinas simples de análise. N2 → N3: Estruturar feedback entre equipes, máquinas e gestão nos processos críticos e transformar ocorrências recorrentes em ações padronizadas. N3 → N4: Compartilhar feedbacks entre áreas, analisar efeitos sistêmicos e utilizar dados e cenários para antecipar falhas e adaptar parâmetros. N4 → N5: Operar ciclos contínuos humano-máquina, com aprendizagem distribuída, prevenção sistêmica e reconfiguração dinâmica da produção. N5 — Consolidação: Atualizar modelos de falha, rotinas de feedback e mecanismos de aprendizagem conforme processos e tecnologias evoluem.	Dittfeld et al. (2022); Wang et al. (2025); Latino et al. (2025); Eriksson et al. (2024)
Orquestração de recursos	Ativos físicos, digitais e humanos são integrados entre linhas e funções, com	Bundling avançado de ativos físicos, digitais e humanos para aprendizagem	N1 → N2: Mapear ativos, dados, competências e funções críticas, identificar separações e definir responsáveis pela coordenação dos	Wang et al. (2025); Latino et al. (2025);

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
	realocação flexível e aprendizagem compartilhada.	operacional, adaptação e desempenho superior.	recursos. N2 → N3: Integrar máquinas, dados, competências e rotinas nos processos-chave, padronizando interfaces e desenvolvendo capacidades complementares. N3 → N4: Combinar recursos entre linhas e funções, ampliar polivalência e estabelecer mecanismos flexíveis de realocação e aprendizagem. N4 → N5: Consolidar bundling dinâmico de ativos físicos, digitais e humanos para reconfiguração, inovação e desempenho contínuo. N5 — Consolidação: Revisar combinações, competências e complementaridades conforme mudanças de produto, tecnologia e estratégia.	Ciano et al. (2021); Cannas et al. (2025)
Desempenho	Confiabilidade, custos, desempenho social e ambiental são integrados entre linhas e decisões, com análise de trade-offs e causas.	Confiabilidade, custos, social e ambiental integrados na gestão adaptativa da produção, orientando aprendizagem e reconfiguração contínuas.	N1 → N2: Definir indicadores de produtividade, qualidade, confiabilidade, segurança, custos e impactos ambientais, com responsáveis e metas básicas. N2 → N3: Consolidar indicadores nos processos críticos e conectar resultados às rotinas de melhoria, manutenção, segurança e gestão ambiental. N3 → N4: Integrar desempenho operacional, econômico, social e ambiental entre linhas e áreas, explicitando trade-offs e prioridades de investimento. N4 → N5: Evoluir para monitoramento preditivo e adaptativo, utilizando feedbacks para reconfigurar processos, recursos e metas de desempenho. N5 — Consolidação: Revisar indicadores, limites e metas conforme mudanças tecnológicas, sociais, ambientais e estratégicas.	Dittfeld et al. (2022); Latino et al. (2025); Ciano et al. (2021); Eriksson et al. (2024); Cannas et al. (2025)

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.

9.6 Processo 6 de 7 – Fulfill

Logística verde, responsiva e centrada no cliente com visibilidade total.

Tabela 13 – Grid de maturidade do processo Fulfill (Parte 1: N1 a N3)

Meta-dimensão	Dimensão	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado
Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Logística verde, responsiva e centrada no cliente com visibilidade total.	Entrega reativa, com baixa visibilidade de transporte e atendimento.	Fluxos de armazenagem, expedição, transporte e atendimento são mapeados, com responsáveis e acompanhamento básico de entregas críticas.	Operação logística estruturada, com monitoramento parcial de entrega e nível de serviço em rotas, canais ou unidades prioritárias.
Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	WMS/TMS com IA, roteirização otimizada, plataformas de visibilidade.	WMS/TMS ausentes ou pouco integrados; roteirização manual.	Dados de armazenagem, transporte e entrega são digitalizados e padronizados, com WMS/TMS ou rastreamento básico em escopos limitados.	WMS/TMS e roteirização usados em parte da rede, com dashboards de acompanhamento e integração parcial entre armazenagem e transporte.
Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Logística resiliente com minimização de emissões e última milha humanizada.	Foco dominante em prazo/custo, com baixa consideração ambiental/social.	Critérios básicos de emissões, condições de trabalho e experiência do cliente são incorporados a decisões ou indicadores de fluxos prioritários.	Iniciativas pontuais de eficiência, emissões e experiência do cliente, com resiliência e humanização aplicadas em partes da operação.
Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Efeitos de rede e coordenação adaptativa em malhas complexas.	Efeitos de rede e interdependências logísticas pouco compreendidos.	Gargalos, dependências, restrições e efeitos sobre prazo e confiabilidade são mapeados em fluxos críticos, com respostas básicas ainda locais.	Coordenação adaptativa parcial em malhas logísticas críticas, com protocolos para desvios recorrentes e aprendizagem periódica.
Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Leveraging: alavancagem da visibilidade para garantir OTIF e serviço.	Visibilidade operacional pouco utilizada para melhoria de serviço.	Dados básicos de estoque, transporte e entrega são utilizados para identificar atrasos e falhas, com ações corretivas ainda locais.	Visibilidade usada para monitoramento e correção de desvios, com recursos e responsabilidades coordenados em fluxos prioritários.
Desempenho	Atributos de performance	Confiabilidade, responsividade, ambiental, custos.	Foco em entrega e custo, com baixa leitura ambiental.	Prazo, custo logístico, confiabilidade, ocorrências e impactos ambientais básicos são acompanhados separadamente em fluxos prioritários.	Confiabilidade e responsividade monitoradas, com algumas ações ambientais e análises periódicas de custo e serviço.

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.

Tabela 14 – Grid de maturidade do processo Fulfill (Parte 2: N4, N5 e paths)

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
Arquitetura do artefato	Logística integrada, responsiva e orientada ao cliente nos principais fluxos, com visibilidade ampliada, coordenação de parceiros e critérios ambientais.	Logística verde, responsiva, centrada no cliente e com visibilidade total, capaz de adaptar dinamicamente a rede e a experiência de entrega.	N1 → N2: Mapear armazenagem, expedição, transporte e atendimento, definir responsáveis, pontos críticos e registros mínimos de entrega e ocorrência. N2 → N3: Estruturar monitoramento de entregas, nível de serviço e desvios nos fluxos prioritários e formalizar rotinas de correção e comunicação. N3 → N4: Integrar áreas, sistemas e parceiros, ampliar visibilidade, incorporar critérios ambientais e coordenar respostas a exceções em toda a rede crítica. N4 → N5: Evoluir para logística end-to-end, verde e adaptativa, com decisões dinâmicas, experiência centrada no cliente e reconfiguração da malha. N5 — Consolidação: Revisar desenho da rede, critérios de serviço, impactos e mecanismos de coordenação conforme demanda, riscos e tecnologias.	Callefi et al. (2024); Nayeri et al. (2023); Matey e Raut (2024); Latino et al. (2025)
Infraestrutura digital	WMS/TMS, plataformas de visibilidade e roteirização otimizada são integrados nos principais fluxos, com monitoramento em tempo real e analytics preditivo.	WMS/TMS com IA, roteirização dinâmica e plataformas de visibilidade end-to-end integradas, antecipando desvios e adaptando decisões logísticas.	N1 → N2: Padronizar dados de armazenagem, transporte e entrega, digitalizar registros e implantar rastreamento ou sistemas básicos nos fluxos prioritários. N2 → N3: Integrar WMS/TMS ou sistemas existentes, conectar armazenagem e transporte e disponibilizar dashboards de prazo, custo e confiabilidade. N3 → N4: Incorporar roteirização otimizada, visibilidade em tempo real e analytics preditivo, integrando parceiros e tratamento de exceções. N4 → N5: Evoluir para WMS/TMS com IA, roteirização dinâmica e visibilidade end-to-end, com adaptação contínua da rede e das decisões. N5 — Consolidação: Revisar integrações, modelos, cobertura de dados e cibersegurança conforme a rede, os canais e as tecnologias evoluem.	Callefi et al. (2024); Nayeri et al. (2023); Matey e Raut (2024)
Capacidades de valor	Resiliência, redução de emissões, experiência do cliente e condições humanas são integradas às decisões dos principais fluxos e parceiros.	Logística resiliente com minimização sistemática de emissões e última milha humanizada, equilibrando desempenho, pessoas e sustentabilidade.	N1 → N2: Incluir critérios ambientais, sociais e de experiência do cliente nas decisões logísticas e definir indicadores básicos para fluxos críticos. N2 → N3: Desenvolver iniciativas de eficiência, redução de emissões, segurança e experiência em rotas, canais ou unidades prioritárias e medir resultados. N3 → N4: Integrar resiliência, impacto ambiental, condições humanas e experiência do cliente às decisões de rede e à gestão dos parceiros críticos. N4 → N5: Consolidar logística resiliente, de baixas emissões e humanizada em toda a rede, com adaptação contínua a riscos e necessidades dos clientes. N5 — Consolidação: Revisar metas, práticas e impactos com clientes, trabalhadores e parceiros conforme mudanças regulatórias, sociais e ambientais.	Callefi et al. (2024); Nayeri et al. (2023); Latino et al. (2025)
Dinâmica sistêmica	Efeitos de rede são monitorados dinamicamente, com respostas coordenadas, cenários e reconfiguração de rotas, capacidade e parceiros.	Efeitos de rede geridos dinamicamente com coordenação adaptativa em malhas complexas e aprendizagem contínua do ecossistema logístico.	N1 → N2: Identificar interdependências, gargalos, restrições e efeitos de rede que afetam prazo, capacidade e confiabilidade, registrando ocorrências e respostas. N2 → N3: Criar protocolos de resposta e aprendizagem para rotas e malhas críticas e coordenar ajustes entre armazenagem, transporte e atendimento. N3 → N4: Utilizar cenários e sinais em tempo real para reconfigurar rotas, capacidades e parceiros e compartilhar feedbacks sobre efeitos em cascata. N4 → N5: Operar coordenação adaptativa contínua em malhas complexas, antecipando perturbações e reconfigurando a rede com parceiros. N5 — Consolidação: Atualizar mapas, cenários e padrões de resposta conforme a malha, a demanda e as interdependências evoluem.	Callefi et al. (2024); Nayeri et al. (2023)

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
Orquestração de recursos	Visibilidade integrada orienta alocação de recursos, OTIF, experiência do cliente e eficiência ambiental entre áreas e parceiros críticos.	Leveraging da visibilidade para garantir OTIF, serviço superior e eficiência ambiental, com mobilização dinâmica dos recursos da rede.	N1 → N2: Utilizar dados disponíveis para identificar atrasos, falhas e oportunidades de serviço, definir responsáveis e criar rotinas básicas de correção. N2 → N3: Conectar visibilidade às rotinas de gestão de nível de serviço e coordenar recursos e respostas nos fluxos prioritários. N3 → N4: Integrar dados e decisões entre áreas e parceiros, utilizando visibilidade para alocar capacidade, reduzir impactos e melhorar OTIF e experiência. N4 → N5: Alavancar visibilidade em tempo real para mobilizar dinamicamente recursos, antecipar exceções e gerar serviço superior e eficiência ambiental. N5 — Consolidação: Revisar regras de mobilização, cobertura de dados e contribuição da visibilidade para valor e desempenho.	Callefi et al. (2024); Matey e Raut (2024); Nayeri et al. (2023)
Desempenho	Confiabilidade, responsividade, impacto ambiental e custos são integrados entre fluxos e parceiros, com trade-offs orientando decisões.	Confiabilidade, responsividade, ambiental e custos geridos de forma preditiva e adaptativa em toda a rede, equilibrando serviço e sustentabilidade.	N1 → N2: Acompanhar prazo de entrega, custo logístico, confiabilidade, ocorrências de atendimento e impactos ambientais básicos, com metas e responsáveis. N2 → N3: Consolidar indicadores nos fluxos prioritários e conectar resultados às rotinas de correção, melhoria e gestão do nível de serviço. N3 → N4: Integrar indicadores entre armazenagem, transporte, atendimento e parceiros, explicitar trade-offs e orientar alocação de recursos. N4 → N5: Evoluir para monitoramento preditivo e adaptativo, antecipando desvios e reconfigurando a rede para equilibrar serviço, custo e ambiente. N5 — Consolidação: Revisar indicadores, metas e trade-offs conforme mudanças de demanda, rede, estratégia e compromissos ambientais.	Callefi et al. (2024); Nayeri et al. (2023); Matey e Raut (2024)

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.

9.7 Processo 7 de 7 – Return

Fluxos reversos inteligentes e fechamento de loops circulares.

Tabela 15 – Grid de maturidade do processo Return (Parte 1: N1 a N3)

Meta-dimensão	Dimensão	Célula da taxonomia	N1 — Inicial	N2 — Em desenvolvimento	N3 — Estruturado
Arquitetura do artefato	Objetivo funcional	Fluxos reversos inteligentes e fechamento de loops circulares.	Devoluções tratadas como exceção operacional e custo residual.	Retornos, motivos, custos e destinos são registrados, com responsáveis e fluxos básicos definidos para categorias prioritárias.	Fluxos reversos estruturados para algumas categorias ou canais, com triagem, responsabilidades e opções de tratamento formalizadas.
Infraestrutura digital	Tecnologias habilitadoras	Tecnologias 10R, plataformas circulares, monitoramento de condição.	Baixa rastreabilidade de retornos e condição de ativos/produtos.	Retornos, condição, localização e destino são registrados digitalmente em fluxos prioritários, com identificação e controles ainda básicos.	Plataformas de devolução ou monitoramento aplicadas parcialmente, com rastreabilidade e dados de condição em categorias específicas.
Capacidades de valor	Pilar Industry 5.0	Sustentabilidade circular, recuperação de valor e redução de perdas.	Recuperação de valor e circularidade pouco exploradas.	Oportunidades de reaproveitamento, redução de perdas e destinação responsável são identificadas em categorias prioritárias, com iniciativas ainda isoladas.	Reaproveitamento e redução de perdas em fluxos específicos, com recuperação de valor e critérios ambientais aplicados parcialmente.
Dinâmica sistêmica	Construto CAS	Ciclos de feedback reversos que alimentam redesign e Transform.	Pouca retroalimentação dos retornos para redesenho de produtos/processos.	Motivos de retorno, falhas e devoluções são registrados e utilizados em melhorias locais, com feedback ainda pouco compartilhado.	Feedback reverso usado parcialmente para melhoria operacional, fornecedores ou planejamento em categorias críticas.
Orquestração de recursos	Mecanismo ROT	Leveraging: recuperação de recursos para vantagem competitiva.	Recursos retornados tratados como descarte ou custo.	Recursos retornados são classificados por condição e potencial de reaproveitamento, recuperação, revenda ou descarte, com papéis e parceiros básicos definidos.	Recuperação parcial de valor em categorias selecionadas, com recursos e parceiros mobilizados em fluxos específicos.
Desempenho	Atributos de performance	Agilidade, ambiental, social, custos.	Baixa integração entre retorno, custo e impacto socioambiental.	Custos, perdas, tempo de tratamento, recuperação e impactos socioambientais básicos são medidos em fluxos prioritários, ainda separadamente.	Indicadores de custo e ambiental acompanhados em fluxos críticos, com monitoramento de recuperação de valor e algumas medidas sociais.

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.

Tabela 16 – Grid de maturidade do processo Return (Parte 2: N4, N5 e paths)

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
Arquitetura do artefato	Retorno, reaproveitamento, parceiros e feedbacks são integrados nos principais fluxos, com recuperação de valor e decisões coordenadas.	Fluxos reversos inteligentes e fechamento de ciclos circulares, conectando retorno, recuperação, redesign e adaptação contínua da cadeia.	N1 → N2: Registrar devoluções, motivos, perdas, custos e destinos, definir responsáveis e mapear fluxos prioritários de tratamento. N2 → N3: Estruturar triagem, regras, parceiros e opções de reaproveitamento ou destinação para categorias e canais críticos. N3 → N4: Integrar retorno, recuperação de valor, planejamento, fornecedores e operações, conectando dados e decisões dos principais fluxos. N4 → N5: Evoluir para ciclos circulares inteligentes, com redesign, previsão de retornos e reconfiguração contínua das redes reversas. N5 — Consolidação: Revisar categorias, parceiros, tecnologias e modelos de recuperação conforme produtos, regulações e oportunidades de valor evoluem.	Naseem et al. (2026); Cannas et al. (2025)
Infraestrutura digital	Rastreabilidade, analytics e decisões de triagem são integrados nos principais fluxos, com monitoramento de condição e conexão a parceiros.	Tecnologias 10R, plataformas circulares e monitoramento de condição integrados end-to-end, com IoT, blockchain ou automação quando aplicáveis.	N1 → N2: Criar rastreabilidade mínima de retornos, condição, localização e destino, padronizar registros e definir responsáveis pelos dados. N2 → N3: Adotar plataformas de devolução, monitoramento de condição ou controles digitais em categorias críticas e integrar dados de triagem e tratamento. N3 → N4: Conectar rastreabilidade, analytics, parceiros e decisões de recuperação, ampliando monitoramento e automação nos fluxos principais. N4 → N5: Integrar tecnologias 10R, plataformas circulares, IoT e blockchain quando aplicável, operando visibilidade e decisões end-to-end. N5 — Consolidação: Atualizar tecnologias, integrações e modelos de condição conforme produtos, materiais e redes reversas evoluem.	Naseem et al. (2026); Cannas et al. (2025)
Capacidades de valor	Circularidade, recuperação de valor e redução de perdas são integradas às decisões dos principais fluxos, produtos e parceiros.	Sustentabilidade circular, recuperação sistêmica de valor e redução contínua de perdas como capacidades incorporadas à cadeia.	N1 → N2: Identificar oportunidades de reaproveitamento, redução de perdas e destinação responsável e priorizar categorias com maior impacto ou valor potencial. N2 → N3: Estruturar práticas de reutilização, recuperação, reciclagem ou destinação em fluxos específicos e acompanhar resultados ambientais e econômicos. N3 → N4: Integrar circularidade às decisões de produto, operação, fornecedores e parceiros, ampliando recuperação de valor e redução de perdas. N4 → N5: Consolidar sustentabilidade circular como capacidade sistêmica, fechando ciclos e adaptando modelos de valor conforme feedbacks e oportunidades. N5 — Consolidação: Revisar estratégias 10R, impactos e oportunidades com parceiros e partes interessadas conforme materiais e mercados evoluem.	Naseem et al. (2026); Cannas et al. (2025)
Dinâmica sistêmica	Ciclos de feedback são estruturados entre retorno, qualidade, planejamento, fornecedores e Transform, alimentando redesign e prevenção.	Ciclos de feedback reversos alimentam continuamente redesign, planejamento e Transform, reduzindo recorrências e adaptando o sistema.	N1 → N2: Transformar dados de retornos, falhas e devoluções em feedback para as áreas responsáveis e registrar ações corretivas e aprendizados. N2 → N3: Compartilhar feedback com planejamento, fornecedores e operações em categorias críticas e acompanhar a recorrência das causas. N3 → N4: Estruturar ciclos interfuncionais de feedback, conectar dados a redesign e prevenção e testar mudanças em produtos e processos. N4 → N5: Operar aprendizagem contínua de circuito fechado, antecipando falhas e adaptando produtos, planos, fornecedores e transformação. N5 — Consolidação: Atualizar categorias de causa, modelos de aprendizagem e mecanismos de redesign conforme novos padrões de retorno surgem.	Naseem et al. (2026); Cannas et al. (2025)
Orquestração de recursos	Recursos, capacidades internas e parceiros são integrados em redes de	Leveraging da recuperação de recursos para vantagem competitiva e	N1 → N2: Classificar recursos retornados por condição e potencial de recuperação, definir responsáveis e mapear capacidades e parceiros disponíveis.	Naseem et al. (2026); Cannas et al. (2025)

Meta-dimensão	N4 — Integrado	N5 — Adaptativo/benchmark	Path de melhoria	Base conceitual
	recuperação, com novos usos, canais e modelos de valor.	circularidade, com mobilização dinâmica de capacidades e parceiros.	N2 → N3: Estruturar recuperação de valor em categorias selecionadas e conectar fluxos reversos a processos internos, parceiros ou canais adequados. N3 → N4: Integrar capacidades, parceiros e modelos de recuperação, ampliar portfólios de uso e conectar decisões a objetivos estratégicos e circulares. N4 → N5: Alavancar dinamicamente recursos retornados para inovação, vantagem competitiva e novos modelos de valor no ecossistema. N5 — Consolidação: Revisar capacidades, parcerias e modelos econômicos conforme materiais, tecnologias e oportunidades de mercado evoluem.	
Desempenho	Agilidade, impacto ambiental, impacto social e custos são integrados entre categorias e parceiros, com análise de trade-offs e causas.	Agilidade, ambiental, social e custos integrados em um sistema adaptativo de gestão dos retornos, orientando redução de perdas e valor circular.	N1 → N2: Medir custos de retorno, perdas, tempo de tratamento, recuperação de valor e impactos socioambientais básicos, com responsáveis e metas. N2 → N3: Consolidar indicadores nos fluxos críticos e conectá-los às decisões de triagem, tratamento, parceiros e prevenção de recorrências. N3 → N4: Integrar indicadores entre categorias, áreas e parceiros, explicitar trade-offs e utilizar resultados para priorizar recuperação e redesign. N4 → N5: Evoluir para monitoramento preditivo e adaptativo dos retornos, antecipando volumes, causas e impactos e otimizando valor circular. N5 — Consolidação: Revisar indicadores, metas e critérios de valor conforme mudanças de produto, regulação, impacto e estratégia.	Naseem et al. (2026); Cannas et al. (2025)

Fonte: Elaboração própria com base no grid de maturidade final.