

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Cristiane Ferrari Zeni

**DESIGN DE SISTEMA DE EMBALAGEM
PARA A REDUÇÃO DE CUSTOS
E IMPACTOS AMBIENTAIS EM EMPRESAS**

Porto Alegre

2024

Cristiane Ferrari Zeni

**DESIGN DE SISTEMA DE EMBALAGEM PARA A REDUÇÃO DE CUSTOS E
IMPACTOS AMBIENTAIS EM EMPRESAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Qualidade.

Professora Orientadora, Dra. Istefani Carísio de Paula

Porto Alegre

2024

Cristiane Ferrari Zeni

**DESIGN DE SISTEMA DE EMBALAGEM PARA A REDUÇÃO DE CUSTOS E
IMPACTOS AMBIENTAIS EM EMPRESAS**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dra. Istefani Carísio de Paula

Orientador PPGEP/UFRGS

Prof. Michel Jose Anzanello

Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professora Maria Auxiliadora Cannarozzo Tinocco, Dra. (PPGEP/UFRGS)

Professora Janaina Mascarenhas, Dra. (PGEPEESC/USP)

Professor Antonio Carlos Dantas Cabral, Dr. (Instituto Mauá de Tecnologia)

Dedico este trabalho a todas as pessoas que,
através de suas vocações e profissões,
trabalham incansavelmente para construir
um mundo mais justo, equitativo e
ecologicamente responsável.

AGRADECIMENTOS

O período do mestrado coincidiu com grandes mudanças em minha vida. Ao passo que impulsionou um imenso crescimento pessoal além do profissional, foi bastante compensador apesar de doloroso. Foi uma fase de reavaliação de propósito profissional, de valores pessoais e de objetivos de vida, que me levou a passar por situações transformadoras.

Agradeço imensamente aos meus amigos, colegas de aula e de trabalho, professores, familiares e todas as pessoas que estiveram comigo nesses últimos 2 anos, pois cada uma delas desempenhou um papel fundamental em minha jornada acadêmica e pessoal.

Em especial, gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus pais, Moacir e Aladia, que desde o início da minha vida me incentivam e apoiam incondicionalmente em minha busca pelo conhecimento. E às minhas avós Lourdes e Elice, que me educaram com muito carinho, mas tiveram que partir durante essa jornada, dedico meu amor eterno e gratidão por todos os ensinamentos.

Ao meu amado Henrique, meu noivo e companheiro de vida, dedico uma imensa admiração, por sempre me encorajar a evoluir e a perseguir meus sonhos com confiança e determinação. Todo esse apoio, paciência e carinho foram meu porto seguro durante esta jornada. E sem esquecer os fofíssimos Jagger e Schimia, nossos fiéis companheiros de quatro patas que, com alegria contagiante e amor incondicional, transformaram nossos dias mais difíceis em momentos de pura felicidade.

Também agradeço ao meu amigo e sócio, Ricardo Sastre. Sua parceria no trabalho foi essencial, e sua confiança em mim foi o que me impulsionou a dar este passo em direção ao mestrado. Suas palavras de incentivo sempre me motivaram a buscar o melhor de mim mesma.

À minha querida orientadora Istefani, agradeço pela paciência, carinho e dedicação ao longo deste percurso. O apoio constante, as palavras de encorajamento e sua sabedoria foram verdadeiramente inestimáveis durante minha jornada acadêmica.

Encerro esta etapa com muito orgulho. A todos vocês, meu carinho e gratidão. Este trabalho não seria possível sem o apoio, amor e compreensão de cada um de vocês. Vocês são parte integrante desta conquista e carregarei a lembrança de sua contribuição comigo em todo caminho que está por vir.

RESUMO

A crescente preocupação com a geração de resíduos, os impactos ambientais e os custos associados às embalagens industriais têm levado as empresas a buscar estratégias para aumentar a eficiência das suas embalagens. Para isso, este trabalho busca desenvolver um método de Design de Sistema de Embalagem (DSE) para as empresas fabricantes de produtos, visando minimizar custos e impactos ambientais de embalagens de insumos e produtos, que seja aplicável a novos sistemas ou ao redesign de sistemas existentes. Através da metodologia Design Science Research (DSR), aplicada em seis etapas, foi possível desenvolver um *framework* de um Sistema de Embalagem (SE) e, paralelamente, um método de Design de Sistema de Embalagem (DSE). Junto ao método, foram sugeridas ferramentas de apoio para auxiliar a organizar o SE e identificar oportunidades de melhorias. Os artefatos desenvolvidos ao longo do estudo foram aplicados em duas empresas, sendo uma indústria de laticínios de porte médio e uma indústria de tapetes de porte grande, com intuito de avaliar e evoluir sua aplicabilidade e sua eficiência. Como resultado, na indústria de laticínios foi possível identificar uma oportunidade de aumentar a eficiência logística ao entregar até 20% mais produtos no mesmo volume de transporte. Na indústria de tapetes, a partir da reorganização do SE foram estimados 3 cenários de redução: a) no cenário pessimista, seria economizado em torno de 21% de custos e 28% de matéria-prima de embalagem; b) no cenário intermediário, em torno de 42% de custos e 49% de matéria-prima; c) no otimista, em torno de 61% de custos e 66% de matéria-prima de embalagem. O estudo concluiu que a implementação de SE bem estruturados não só contribui para a otimização operacional, resultando em eficiência e economia de recursos financeiros, mas também pode promover práticas sustentáveis ao reduzir desperdícios ao longo de diversos processos. Inclusive foi possível perceber que, em muitos casos, as oportunidades para redução de custos e impactos ambientais estão interligadas. Para estudos futuros, recomenda-se o desenvolvimento de métricas para a avaliação da efetividade do método, assim como aplicação do DSE em indústrias de outros portes e segmentos.

Palavras-chave: sistema de embalagem; sustentabilidade; redução de custos; design sistêmico

ABSTRACT

The growing concern about waste generation, environmental impacts, and costs associated with industrial packaging has led companies to seek strategies to increase packaging efficiency. Therefore, this study aims to facilitate the design of Packaging Systems (SE) in companies, with the goal of optimizing related processes, minimizing costs, and environmental impacts within a systemic perspective. Through the Design Science Research (DSR) methodology, applied in six stages, it was possible to develop a SE framework and, simultaneously, a Packaging System Design method (DSE). Alongside the method, supporting tools were suggested to help organize the Packaging System (SE) and identify improvement opportunities. The artifacts were applied in two companies, one in the dairy industry and the other in the carpet industry, to evaluate and improve their applicability and efficiency. As a result, in the dairy industry, it was possible to identify an opportunity to increase logistical efficiency by delivering up to 20% more product in the same volume of transportation. In the carpet industry, from the reorganization of the SE, three reduction scenarios were estimated: a) in the pessimistic scenario, around 21% of costs and 28% of packaging raw material would be saved; b) in the intermediate scenario, around 42% of costs and 49% of raw material; c) in the optimistic scenario, around 61% of costs and 66% of packaging raw material. The study concluded that the implementation of well-structured SE not only contributes to operational optimization, resulting in efficiency and financial resource savings, but can also promote sustainable practices by reducing waste across various processes. It was also observed that, in many cases, opportunities for cost reduction and environmental impacts are interconnected. For future studies, it is recommended to develop metrics for evaluating the effectiveness of the method, as well as applying DSE in industries of different sizes and sectors.

Keywords: packaging system; sustainability; cost reduction; systemic design

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da metodologia Design Science Research	19
Figura 2 - Etapas realizadas através da metodologia DSR	20
Figura 3 – Classificação das embalagens	25
Figura 4 - Radar da Embalagem	27
Figura 5 - Representação do Sistema Embalagem (SE), que tem o foco no Consumidor.....	28
Figura 6 - Inserção do SE nos níveis de gestão operacional, intermediário e estratégico	31
Figura 7 - Áreas relacionadas com a embalagem	32
Figura 8 - Metodologia de Design Sistemico	34
Figura 9 – Figuras analisadas sobre a representação do Sistema Embalagem (SE).....	41
Figura 10 – Classificação das embalagens	41
Figura 11 - Superposição entre os ciclos de vida da embalagem e do produto	42
Figura 12 - Classificação das embalagens	50
Figura 13 – Representação final do Sistema de Embalagem.....	51
Figura 14 – Representação esquemática do <i>framework</i> do SE.....	53
Figura 15 – Método de Design de Sistema de Embalagem	56
Figura 16 - Exemplo de Mapa de Fluxo de Valor	59
Figura 17 – Matriz GUT	61
Figura 18 – Design de Sistema de Embalagem em estudo de caso de indústria de laticínios .	65
Figura 19 – Fragmento da apresentação do mapeamento do fluxo de envase da linha de bags de 5 e 10L	72
Figura 20 – Classificação das embalagens e componentes envolvidos na linha de bags de 5 e 10L	74
Figura 21 – Classificação das embalagens e componentes envolvidos na linha embalagens cartonadas de 250mL	75
Figura 22 – Design de Sistema de Embalagem da indústria de laticínios	76
Figura 23 – Bag de 5L envasado com composto lácteo	77
Figura 24 – Testes de volume com água nos bags de 5L e 10L	77
Figura 25 – Processo de paletização na indústria de laticínios.....	79
Figura 26 – Problemas de acondicionamento nos produtos paletizados	79
Figura 27 – Embalagens descartadas em acertos de máquina ou por falhas no processo	80
Figura 28 – Central de resíduos da indústria de laticínios.....	81
Figura 29 – Oportunidades de melhorias na indústria de tapetes	85

Figura 30 – Produto embalado em plástico <i>shrink</i> com desperdício de material	87
Figura 31 – Funcionário reembalando produtos com pacote manual	90
Figura 32 – Proposição de novo fluxo com setor de embalagem	90
Figura 33 – Estado das embalagens primárias nos pontos de venda	93
Figura 34 – Protótipo de embalagem de transporte	95

APÊNDICE A

Figura 35 - Classificação das embalagens	104
Figura 36 - Análise do SE a partir da classificação das embalagens em estudo de caso.....	105
Figura 37 - Primeira tentativa de representação do Sistema de Embalagem.....	106
Figura 38 - Segunda tentativa de representação do Sistema de Embalagem.....	107
Figura 39 - Terceira tentativa de representação do Sistema de Embalagem.	108
Figura 40 – Representação final do Sistema de Embalagem.....	109

APÊNDICE B

Figura 41 - DSE das 3 linhas de envase da indústria de tapetes.....	112
--	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo entre abordagem dos autores analisados.....	40
Quadro 2 – Relação entre os princípios do Lean Manufacturing, Design Sistemico e o Sistema de Embalagem.....	44
Quadro 3 – Resumo dos casos analisados	46
Quadro 4 – Agrupamento de princípios e ferramentas utilizados no desenvolvimento deste estudo	47
Quadro 5 – Interações de cada setor com os processos de embalagem.....	58
Quadro 6 – Parte do quadro de oportunidades de melhorias e ações aplicadas no estudo de caso da indústria de tapetes.....	62
Quadro 7 – Parte do quadro de oportunidades de melhorias e ações aplicadas no estudo de caso da indústria de tapetes, com a aplicação da matriz GUT para a priorização	62
Quadro 8 – Plano de ação para melhorias na indústria de tapetes.....	63
Quadro 9 – Versão simplificada da representação do DSE.....	65
Quadro 10 – Oportunidades de melhorias e ações aplicadas na indústria de laticínios	73
Quadro 11 – Oportunidades de melhorias e ações aplicadas no estudo de caso da indústria de tapetes	85
Quadro 12 – Acompanhamento das tarefas remotas a serem realizadas pela equipe da indústria de tapetes.....	86
Quadro 13 – Visão parcial da planilha de organização do SE da empresa	88
Quadro 14 – Cálculo de redução de custos de embalagem a partir da implantação do novo setor de embalagens.....	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DSE	Design de Sistema de Embalagem
DSR	Design Science Research
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PDE	Processo de Desenvolvimento de Embalagem
SE	Sistema de Embalagem

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 TEMA E JUSTIFICATIVA	17
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	18
1.3 OBJETIVO GERAL	18
1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
2.1 MÉTODO DE PESQUISA	18
2.2 MÉTODO DE TRABALHO.....	19
2.2.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	20
2.2.2 DEFINIÇÃO DOS RESULTADOS ESPERADOS	20
2.2.3 PROJETO E DESENVOLVIMENTO	21
2.2.4 DEMONSTRAÇÃO.....	21
2.2.5 AVALIAÇÃO.....	22
2.2.6 COMUNICAÇÃO	22
2.3 DELIMITAÇÕES E LIMITAÇÕES DO ESTUDO	22
3. REVISÃO DE LITERATURA	24
3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS EMBALAGENS E PROJETOS PARA A SUSTENTABILIDADE ..	24
3.2 SISTEMA DE EMBALAGEM.....	28
3.3 DESIGN SISTÊMICO	32
3.4. LEAN MANUFACTURING	37
3.5 ANÁLISE DO REFERENCIAL E PROPOSIÇÕES	39
4. DETALHAMENTO DO MÉTODO DE TRABALHO	45
4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	45
4.2 DEFINIÇÃO DOS RESULTADOS ESPERADOS.....	46
4.3 PROJETO E DESENVOLVIMENTO.....	47
4.4 DEMONSTRAÇÃO	48
4.5 AVALIAÇÃO.....	48
4.6 COMUNICAÇÃO	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1 <i>FRAMEWORK</i> DO SISTEMA DE EMBALAGEM.....	49
5.2 MÉTODO DE DESIGN DE SISTEMA DE EMBALAGEM (DSE).....	55
5.2.1 DIAGNÓSTICO.....	57

5.2.2 OPORTUNIDADES DE MELHORIA	59
5.2.3 DESIGN DO SISTEMA DE EMBALAGEM.....	64
5.2.4 ESTUDO DOS IMPACTOS DAS MELHORIAS	66
5.2.5 IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO	67
5.2.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS E <i>FEEDBACK</i>	68
5.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO DSE EM INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS	70
5.3.1 DIAGNÓSTICO.....	71
5.3.2 OPORTUNIDADES DE MELHORIA	71
5.3.3 DESIGN DO SISTEMA DE EMBALAGEM.....	73
5.3.4 ESTUDO DOS IMPACTOS DAS MELHORIAS	76
5.3.4.1 ADEQUAÇÃO DE VOLUME DE PRODUTO POR BAG.....	76
5.3.4.2 MELHORIAS NO PROCESSO DE PALETIZAÇÃO	78
5.3.4.3 VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS PRÉ-CONSUMO.....	80
5.3.5 IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO.....	82
5.3.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS E <i>FEEDBACK</i>	82
5.4 APLICAÇÃO DO ESTUDO EM INDÚSTRIA DE TAPETES	82
5.4.1 DIAGNÓSTICO.....	83
5.4.2 OPORTUNIDADES DE MELHORIA	84
5.4.3 DESIGN DO SISTEMA DE EMBALAGEM (DSE).....	87
5.4.4 ESTUDOS DOS IMPACTOS DAS MELHORIAS	91
5.4.5 IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO.....	94
5.4.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS E <i>FEEDBACK</i>	95
6. IMPLICAÇÕES PRÁTICAS E CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
APÊNDICE A – DESENVOLVIMENTO DO FRAMEWORK DO SISTEMA DE EMBALAGEM.....	104
APÊNDICE B – DSE DAS 3 LINHAS DE ENVASE DA INDÚSTRIA DE TAPETES.	112

1. INTRODUÇÃO

A embalagem ao longo de sua história tem representado uma importante ferramenta para o desenvolvimento comercial e o crescimento das cidades. Ela permite que produtos cheguem ao consumidor final em condições seguras e de qualidade, por viabilizar a técnica industrial e funções de marketing como conter, proteger, identificar e facilitar a venda e distribuição de produtos. A embalagem é o resultado da ação de um sistema complexo e multidisciplinar, constituído pela atuação de diversos especialistas que desenvolvem atividades complementares, tais como pesquisadores, designers, operadores, dentre outros envolvidos em sua concepção (ROBERTSON, 2013; SASTRE et al., 2019).

A embalagem faz parte da composição de custos de um produto sendo que, muitas vezes, pode representar a parcela mais significativa do custo total, tornando-se uma estratégia de competitividade que a empresa pode utilizar (MESTRINER, 2018). Segundo a Associação Brasileira de Embalagem (ABRE, 2009), dependendo da categoria de produtos, a embalagem pode representar mais de 50% do custo total do produto, o que acaba exigindo cada vez mais eficiência em sua operação nas linhas de envase, na distribuição e comercialização. Mas não apenas como componente de custo, a embalagem também executa uma série de funções diferentes, como: proteger o produto contra contaminação ou danos mecânicos; facilitar transporte e estocagem; uniformizar a quantidade do conteúdo; possibilitar a visibilidade do produto, facilitando a criação e a padronização de marcas comerciais; promover a distribuição em grande escala (ROBERTSON, 2012). Além disso, promove a expressão de seu conteúdo e traduz estilos de vida, podendo influenciar na interação do usuário com o produto. Entretanto, assim como pode comunicar fortemente a satisfação que um produto oferece ao consumidor, ela pode se tornar símbolo igualmente potente do desperdício de materiais, depois que o produto é consumido (ROBERTSON, 2012).

O desenvolvimento de embalagens tornou-se uma tarefa desafiadora e de grande responsabilidade para as empresas e profissionais envolvidos. A realidade mostra que a maioria das empresas tem seu (PDP) Processo de Desenvolvimento de Produto totalmente independente do (PDE) Processo de Desenvolvimento de Embalagem. Como resultado, eles enfrentam perdas de competitividade, aumento de custos e prazos de entrega mais longos. Além disso, acarreta um desempenho ambiental desfavorável tanto para o produto quanto para a embalagem (BUCCI; FORCELLINI, 2007).

Devido à representatividade expressiva da embalagem como fonte de geração de resíduos no planeta, os gestores de empresas estão buscando delinear estratégias para prevenir

e, quando não isto não for possível, reduzir sua demanda. Tais esforços requerem uma análise acurada dos pontos de presença de desperdícios e impactos ambientais durante todo o ciclo de vida do produto e de sua embalagem. Para isso, a análise do Sistema de Embalagem da empresa se torna uma ferramenta importante para a criação de uma visão sistêmica sobre os processos e oportunidades de melhorias. Esta visão sistêmica inclui os processos internos da empresa e ao longo de toda sua cadeia produtiva.

A definição de Sistema de Embalagem (SE) ainda é difusa na literatura e pode ter enfoques diferentes, como processos produtivos (CABRAL; CABRAL, 2010), armazenamento e transporte (MOURA; BANZATO, 1997), desenvolvimento de embalagem (MOLINA-BESCH; PÅLSSON, 2014), automação industrial (OKE; FAGBOLAGUN, 2020) ou cadeias de suprimentos (MATYI; TAMÁS, 2023; PÅLSSON; HELLSTRÖM, 2016; PÅLSSON; FINNSGÅRD; WÄNSTRÖM, 2013;). A definição que mais se aproxima da abordagem adotada neste trabalho indica que o SE de uma empresa é *“um conjunto inter-relacionado de componentes, atividades, processos, materiais e tecnologias utilizados para acondicionar, proteger, distribuir e comercializar os produtos que a empresa fabrica ou vende”* (CABRAL; CABRAL, 2010). As definições, de forma geral, apontam que um SE bem projetado e adequado para a indústria pode economizar recursos por meio da redução de materiais, otimização do espaço, redução de danos e perdas, eficiência na distribuição e incorporação de práticas sustentáveis. A economia de recursos usados no acondicionamento, proteção e logística de produtos e insumos, beneficiam tanto a empresa quanto o meio ambiente.

Além disso, Molina-Besch e Pålsson (2014) complementam que, ao integrar considerações logísticas e da cadeia de suprimentos no processo de desenvolvimento de embalagens, o desempenho econômico e ambiental das cadeias de suprimentos deve ser melhorado. O processo integrado de desenvolvimento de embalagens, produtos e logística traz não apenas benefícios econômicos para as empresas, mas também oportunidades para reduzir os custos ambientais e comerciais e aumentar a eficiência em toda a cadeia (MOLINA-BESCH; PÅLSSON, 2014). Por outro lado, quando o SE não é projetado adequadamente, a empresa pode acabar utilizando mais embalagens e acessórios para a proteção do que o necessário ao longo das etapas de envase do produto, distribuição, vendas e uso, ou itens inadequados para a função. Isso acarreta desperdício de matérias-primas e recursos, aumento de custos operacionais, aumento de resíduos pré e pós-consumo, ineficiência na cadeia de suprimentos e, no cenário mais grave, danos aos produtos, que podem ser inutilizados. Além disso, a empresa corre o risco causar impactos ambientais negativos ou ainda receber reclamações dos clientes e demais *stakeholders*, o que pode afetar a satisfação dos consumidores e a reputação da marca.

Por estas razões, é necessário afastar-se da ênfase em melhorias pontuais em produtos e embalagens, para uma abordagem de design mais ampla, centrada na produção de mudanças estruturais nas formas como os sistemas de produção e consumo são organizados (CESCHIN; GAZIULUSOY, 2019). Desenhar sistemas produtivos orientados às embalagens envolve considerar aspectos como o perfil dos atores ativos no sistema (*stakeholders*), assim como a configuração e a dinâmica dos fluxos de processos e operações, além do portfólio de embalagens e serviços associados. Neste sentido, a abordagem de projeto “Design Sistêmico” tem por propósito compreender e resolver problemas complexos por meio da análise de sistemas, ou seja, do conjunto de elementos interdependentes que se relacionam entre si (JONES, 2014). Na indústria, o Design Sistêmico pode ser utilizado para organizar os processos de produção com o objetivo de melhorar a eficiência e a qualidade dos produtos. Tem como objetivo implementar sistemas produtivos sustentáveis nos quais os fluxos de materiais e energia sejam concebidos de forma que os resíduos de um processo produtivo se tornem insumos para outros processos, evitando que resíduos sejam lançados no meio ambiente (BARBERO; TOSO, 2010).

Para alcançar a eliminação de desperdícios, promover a eficiência, aprimorar a qualidade dos produtos e serviços e aumentar a satisfação do cliente, pode-se combinar os princípios do Design Sistêmico e do *Lean Manufacturing*. Esta segunda é uma abordagem abrangente que combina tanto uma filosofia de gestão quanto um conjunto de princípios, métodos e práticas destinados a melhorar a eficiência operacional, visando à eliminação consistente de desperdícios e o fornecimento de produtos ou serviços sem defeitos, na quantidade correta e no momento adequado (VINODH; BEN RUBEN, 2015). Outra característica do *Lean Manufacturing* é promover a visibilidade dos processos por meio de ferramentas visuais, padrões, organização, comunicação aberta e uma cultura de melhoria contínua, com intuito de identificar e resolver problemas.

A análise dos conceitos apresentados sugere que pode haver uma sinergia entre os princípios do design sistêmico e o projeto de embalagens sob uma perspectiva de otimização, (conforme preconiza o *Lean Manufacturing* e *Lean Design*), visando reduzir custos e impactos ambientais. Os autores pretendem explorar essas relações nesta dissertação.

1.1 TEMA E JUSTIFICATIVA

A análise do Sistema de Embalagem pode ser um procedimento importante para otimizar os processos relacionados às embalagens de insumos e produtos dentro de empresas. Se os projetos de embalagem dentro do sistema não forem elaborados e aplicados corretamente, podem acarretar danos e perdas durante o transporte, armazenamento ou manuseio dos produtos (MOLINA-BESCH; PÅLSSON, 2014). Isto pode levar a perdas financeiras relacionadas às avarias nas embalagens e nos produtos, à insatisfação do cliente e à possíveis ações corretivas — como devolução de mercadorias pelos clientes ou *recall* (solicitação de devolução de um lote de produtos pelo próprio fabricante). Ainda, visto que a embalagem é um componente importante na composição de custos do produto, chegando a representar mais de 50% do custo total (ABRE, 2009), o acúmulo de níveis de embalagens — primárias, secundárias, terciárias e outros acessórios utilizados para o acondicionamento, como fitas adesivas, cantoneiras, etc. — pode agregar custos desnecessários à operação, assim como a geração exacerbada de resíduos pré-produção, pós-produção e pós-consumo. Além disso, embalagens mal projetadas podem dificultar os processos internos e externos, aumentando o tempo e o esforço necessários para embalar, desembalar e manipular os produtos. Isso pode resultar em atrasos na produção, gargalos e redução da eficiência global, o que leva ao aumento de custos de produção e logística devido ao uso excessivo de materiais, necessidade de retrabalho ou substituição de produtos danificados, espaço desperdiçado durante o armazenamento e maiores despesas logísticas (PÅLSSON; HELLSTRÖM, 2016). Por fim, pode comprometer a imagem da marca, visto que embalagens mal concebidas podem refletir negativamente na percepção dos consumidores em relação à qualidade e confiabilidade dos produtos, resultando em perda de vendas e reputação prejudicada (ROBERTSON, 2012).

O presente estudo tem por propósito desenvolver um método para identificar as operações relacionadas com embalagens de produtos e seus insumos, assim como as interações a que são submetidas durante os processos de envase, armazenamento e distribuição, pela perspectiva da empresa fabricante de produtos. Entende-se que o método poderá ter duas aplicações (i) identificar oportunidades de melhorias que facilitem os processos, reduzam custos e impactos ambientais das embalagens ao longo dos processos internos e externos ou (ii) projetar sistemas de embalagens que minimizem impactos e custos desde sua origem.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Ao longo do estudo dos conceitos citados, paralelamente aplicados em situações práticas na indústria, surgiu a seguinte questão: “como projetar o sistema de embalagem de uma empresa, com objetivo de otimizar os processos relacionados, minimizando custos e impactos ambientais, dentro de uma perspectiva sistêmica?”

1.3 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um método de Design de Sistema de Embalagem (DSE) para as empresas fabricantes de produtos, visando minimizar custos e impactos ambientais de embalagens de insumos e produtos, que seja aplicável a novos sistemas ou ao *redesign* de sistemas existentes.

1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir o que é um Sistema de Embalagem (SE);
- Analisar como o SE interage com o ciclo de vida dos produtos que serão envasados;
- Entender as interfaces que o SE tem com os demais processos das empresas;
- Gerar um *framework* para aplicação do método.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a organização do estudo, utilizou-se a metodologia *Design Science Research* (DSR) baseada em Peffers et al. (2007). Essa abordagem é caracterizada por um ciclo iterativo de criação, avaliação e refinamento de artefatos de design, tais como modelos, métodos, sistemas ou estruturas, orientados por princípios de design e embasados em teorias pertinentes. A organização do estudo está descrita nos tópicos a seguir.

2.1 MÉTODO DE PESQUISA

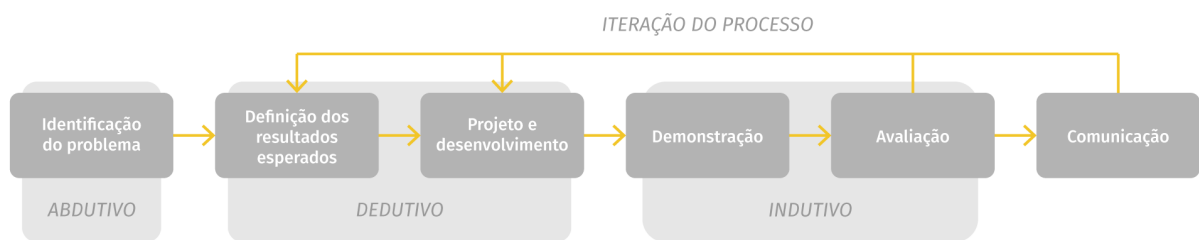
A metodologia *Design Science Research* (DSR) é uma abordagem que pode orientar pesquisas que se destinam a projetar ou desenvolver algo novo, uma vez que tem como foco

causar a mudança, criando artefatos e gerando soluções para problemas existentes. Ela é a ciência que procura consolidar conhecimentos sobre o projeto e desenvolvimento de soluções para melhorar sistemas existentes, resolver problemas e criar artefatos (DRESCH; LACERDA; JUNIOR, 2015). A DSR foi estruturada por meio das abordagens científicas de abdução, dedução e indução (MACHADO et al., 2019), enquanto avança pela configuração das classes de problemas, proposição/avaliação de artefatos, e generalização dos resultados para uma dada classe de problemas, respectivamente.

2.2 MÉTODO DE TRABALHO

Visando desenvolver um instrumento para tornar visível o SE das empresas com foco em redução de impacto ambiental, utilizou-se a metodologia *Design Science Research* baseada em Peffers et al., (2007) (Figura 1).

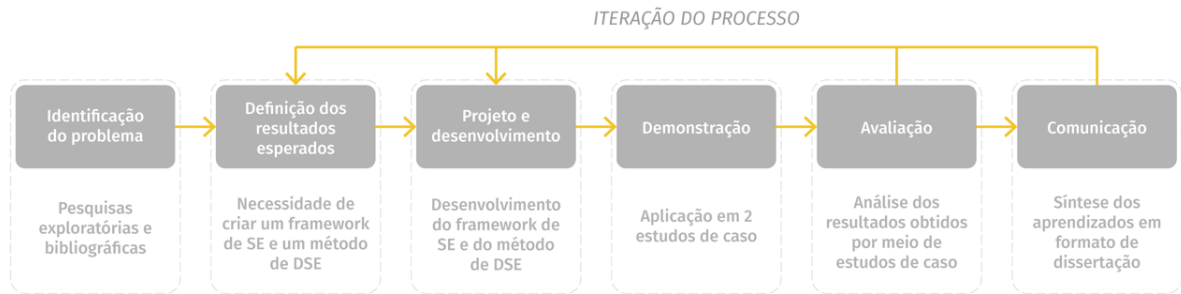
Figura 1 – Etapas da metodologia DSR



Fonte: Adaptado de Peffers et al. (2007)

A aplicação da metodologia se desenvolveu em seis etapas apresentadas na figura 2 e descritas brevemente a seguir. A implementação faz parte de um ciclo de desenvolvimento que deve ser testado e convergir a um resultado a cada etapa, até atingir a verificação final, por meio de uma validação da utilidade do artefato.

Figura 2 - Etapas realizadas através da metodologia DSR



Fonte: elaborado pela autora

2.2.1 Identificação do problema

A pesquisa foi conduzida de maneira sequencial, iniciando com a coleta de dados exploratórios e, posteriormente, prosseguindo com a revisão da literatura. Os dados exploratórios, obtidos em visitas a diferentes empresas fabricantes de produtos, indústrias de envase e de fabricação de embalagens ao longo dos últimos três anos a partir da experiência profissional da autora do estudo, foram analisados a fim de identificar padrões, tendências e insights preliminares relacionados aos SE. Estes dados deram origem à delimitação do tema da pesquisa, uma vez que se constatou que muitas empresas não têm o seu SE mapeado e/ou organizado, visto que este se desenvolve de forma orgânica por meio de tentativa e erro, levando a subutilização dos recursos.

2.2.2 Definição dos resultados esperados

Após a observação nas empresas, iniciou-se a consulta às bases de referências da literatura e a construção do conhecimento relativo à integração entre o ciclo de vida da embalagem e do produto, a definição do SE e em qual contexto está inserido, bem como os problemas, desperdícios e impactos causados pelas embalagens em sua cadeia. Foram realizadas pesquisas preliminares em livros e artigos de modo aleatório e testes de strings de busca para a revisão de literatura, dentre os meses de março e junho de 2023. Após a busca preliminar, os artigos e livros relevantes para o tema foram agrupados no Mendeley® (software para gerenciamento de referências), lidos e analisados pela autora e especialistas. Esta etapa demandou uma revisão bibliográfica com ênfase em livros, revistas, normas, teses e dissertações, bem como materiais técnicos disponibilizados pela internet. A string de busca

escolhida foi composta pelas palavras-chaves e os operadores booleanos “Packaging and supply chain integration and Sustain*”. A base pesquisada foi a Web of Science. A busca resultou em 66 artigos sobre o tema, destes, 22 artigos foram selecionados para leitura integral. Durante a revisão sistemática de literatura, foram extraídos outros artigos citados no texto (revisão assistemática de literatura) e incorporados na base referencial do presente estudo, como temas voltados à Design Sistemico e *Lean Manufacturing*. Esta revisão foi necessária para enriquecer a análise dos dados exploratórios, permitindo a contextualização e a interpretação dos resultados que deram origem ao *framework* proposto.

Esta abordagem de pesquisa híbrida permitiu uma compreensão multifacetada do que é um Sistema de Embalagem, fundindo a perspectiva prática da pesquisa exploratória com a fundamentação teórica fornecida pela pesquisa bibliográfica. Além disso, a validação prática das descobertas por meio do estudo de caso confirmou a aplicabilidade e relevância das conclusões em um contexto real.

2.2.3 Projeto e desenvolvimento

Ao final das pesquisas exploratórias e bibliográficas, observou-se a necessidade de criar um *framework* para auxiliar na compreensão sobre o sistema de embalagem das empresas, suas interações com outros sistemas e as relações entre os processos. Também se identificou a oportunidade de desenvolvimento de um método para facilitar o mapeamento e otimização dos sistemas de embalagem, de forma a aumentar a eficiência em relação a custos e impactos ambientais.

O desenvolvimento do *framework* para visualização dos sistemas de embalagem, e do método de Design de Sistema de Embalagem ocorreu durante o ano de 2023, de forma simultânea às pesquisas exploratórias e bibliográficas, sendo aplicados em 2 estudos de caso para validação e avaliação.

2.2.4 Demonstração

A pesquisa incluiu a aplicação em 2 empresas, sendo uma indústria de laticínios e uma indústria de tapetes — ambas de origem brasileira com a distribuição de produtos em território nacional e na América Latina. Esta etapa ocorreu paralelamente à pesquisa teórica, ao longo do ano de 2023, como um contexto prático para a aplicação dos conhecimentos adquiridos por

meio da pesquisa híbrida, permitindo uma avaliação concreta das implicações práticas das descobertas.

2.2.5 Avaliação

A avaliação consistiu na análise dos resultados obtidos ao longo do estudo, tanto nas pesquisas exploratórias e bibliográficas, como no desenvolvimento das ferramentas e suas aplicações práticas, avaliando as lições aprendidas e as oportunidades de melhorias para uso futuro.

2.2.6 Comunicação

Esta etapa de fechamento consistiu em reunir as informações coletadas, avaliar os resultados obtidos e condensar os aprendizados absorvidos ao longo do estudo, transcrevendo-os em formato de dissertação de mestrado acadêmico e artigos.

2.3 DELIMITAÇÕES E LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Optou-se neste estudo por dar ênfase à aplicação do método proposto em casos de *redesign* do sistema de embalagens de empresas, mais do que no Design de novos sistemas de embalagens. A crise de geração de resíduos de embalagens dentro (pré-consumo) e fora das organizações (pós-consumo) impôs uma urgência em atuar sobre o problema instalado. Esta abordagem de diagnóstico do problema causado pelas embalagens reduz a tensão posta pelas políticas de resíduos sólidos. Esta é uma “dor” frequentemente mencionada pelos gestores, portanto, enquanto amplia o conhecimento sobre o problema, identifica oportunidades, gera confiança entre os *stakeholders* envolvidos nos sistemas e traz “alívio” ao reduzir custos e minimizar impacto dos sistemas de embalagem já instalados. Além disso, o Design de um novo SE é uma decisão de nível estratégico que exige um comprometimento dos níveis gerenciais mais altos das empresas, o que nem sempre é fácil de se conseguir em estudos acadêmicos. Esta é uma limitação do trabalho.

Outra limitação deste estudo é a aplicação do método proposto de forma parcial em uma empresa e de forma completa em apenas uma outra empresa fabricante de produtos. Para uma

validação mais consistente, recomenda-se estudos futuros com a aplicação do método em mais empresas de segmentos de negócio variados.

Neste estudo, o Sistema de Embalagens das empresas está delimitado aos processos de envase, armazenamento e distribuição, descrito pela perspectiva das empresas fabricantes de produtos (visão de dentro da empresa para fora). Observa-se que nestes processos há maior interação direta entre produto e embalagens, e sobre estes processos os gestores têm maior autonomia de tomada de decisão para alterações. Neste trabalho não será dada ênfase sobre o processo de projeto de embalagem, mas considera-se que o projeto é a principal fonte para melhoria dos processos, redução de custos e impactos ambientais relacionados às embalagens, quando relacionado a um estudo aprofundado do sistema de embalagem da empresa.

3. REVISÃO DE LITERATURA

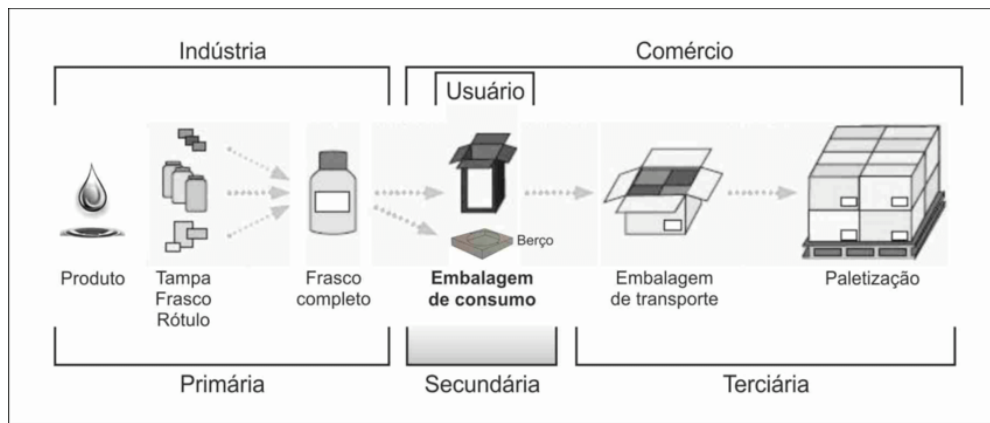
Com o intuito de proporcionar um contexto abrangente e crítico para a pesquisa em questão, a revisão de literatura consiste em apontar os pontos de vista de outros autores sobre as definições de embalagem e suas classificações, o que é um Sistema de Embalagem, assim como as abordagens “Design Sistemico” e “*Lean Manufacturing*”. Ao final da seção, foram observadas as lacunas de pesquisa deixadas pelos autores analisados e as oportunidades de aplicação destes conceitos em empresas de manufatura.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS EMBALAGENS E PROJETOS PARA A SUSTENTABILIDADE

As embalagens executam uma série de funções diferentes, como: proteger o produto, facilitar transporte e estocagem; uniformizar a quantidade do conteúdo; possibilitar a visibilidade do produto; promover a distribuição em grande escala; influenciar na interação do usuário com o produto (ROBERTSON, 2012). Entretanto, assim como pode oferecer experiências positivas ao consumidor, ela pode se tornar símbolo igualmente potente do desperdício de materiais, depois que o produto é consumido (ROBERTSON, 2012).

As embalagens de forma geral podem ser classificadas como primárias, secundárias e terciárias (BRISSON, 1993; CARVALHO, 2008; SASTRE et al., 2019; MAHMOUDI; PARVIZIOMRAN, 2020). As primárias são aquelas utilizadas pela indústria no envase do produto (tampa, frasco e rótulo, por exemplo). As embalagens secundárias são as embalagens de consumo, aquelas que estão em contato com o usuário e expostas no ponto de venda. As embalagens de transporte são as terciárias e contém de forma organizada todos os elementos anteriores (MOURA; BANZATO, 1997; CARVALHO, 2008; HELLSTRÖM; NILSSON, 2011; SASTRE et al., 2019; MAHMOUDI; PARVIZIOMRAN, 2020). Segundo Hellström e Nilsson (2011), essa classificação é usada quando se considera a embalagem como um sistema e ilustra os componentes e níveis de hierarquia da embalagem, como demonstra Sastre et al. (2019) na figura 3.

Figura 3 – Classificação das embalagens



Fonte: SASTRE et al. (2019)

Por uma questão de segurança e manutenção da integridade do produto, são utilizados alguns acessórios, tais como cantoneiras e filmes plásticos para paletes ou, ainda, pode-se adotar um berço dentro das embalagens de consumo para certificar que no transporte o frasco não sofrerá nenhuma avaria, por exemplo. Em alguns casos, a embalagem de transporte serve como embalagem de consumo. Isso ocorre em produtos maiores, como eletrodomésticos e máquinas. Ampliando esta classificação apresentam-se as embalagens de quarto nível, que facilitam a movimentação e armazenagem em transportes, e as de quinto nível, utilizadas para envios de longa distância, como os containers (MOURA; BANZATO, 1997). Cada nível de importância e as funções que as embalagens cumprem no acondicionamento de produtos, determinará o tipo de solução a ser adotada.

Sob o ponto de vista de sustentabilidade, entende-se que bons projetos devem substituir ou minimizar a profusão de níveis de embalagens ao longo dos processos logísticos, visto que o tempo de vida útil destas costuma ser curto e nem sempre são produzidas de forma sustentável (MAHMOUDI; PARVIZIOMRAN, 2020b). Também afeta o desempenho ambiental em termos de manuseio de resíduos e taxas de enchimento no transporte. Por isso, em um Sistema de Embalagem com diferentes níveis, as funções devem ser vistas sob a perspectiva do sistema. Isso significa que é o conjunto do sistema que deve, por exemplo, proteger o produto. Assim, a proteção aprimorada da embalagem secundária pode reduzir o nível de proteção necessário na embalagem primária e vice-versa, de acordo com o contexto (PÅLSSON; HELLSTRÖM, 2016). Por isso, defende-se a reutilização das embalagens secundárias, terciárias e níveis mais altos, em uma perspectiva de circularidade e extensão da vida útil (SELVIARIDIS et al, 2016).

Molina-Besch e Pålsson (2014) sugerem que as empresas ao longo da cadeia de suprimentos devem alinhar seus objetivos e integrar recursos relacionados à embalagem para

que ela forneça valor máximo a todos os atores da cadeia de suprimentos. Um pré-requisito para SE em cadeias de suprimentos sustentáveis é que as empresas considerem sistematicamente os aspectos logísticos relevantes durante o processo de desenvolvimento da embalagem. Os autores Molina-Besch e Pålsson (2014) elencam 4 elementos integrativos dos processos de desenvolvimento de embalagens como relevantes para a sustentabilidade das cadeias de abastecimento:

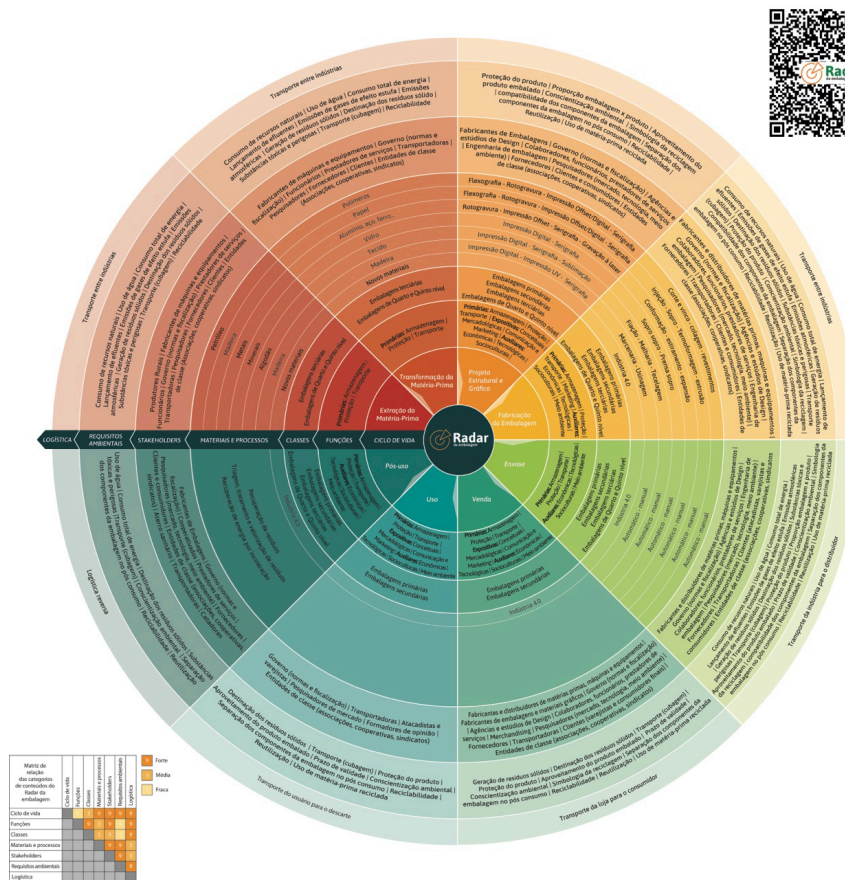
- I) **integração com o desenvolvimento do produto** - como o produto e a embalagem são transportados, armazenados e manuseados juntos em muitas partes da cadeia de suprimentos, é necessário um processo integrado de desenvolvimento de produto e embalagem;
- II) **desenvolvimento integrado dos níveis do sistema de embalagem** - os diferentes níveis de um SE podem ser desenvolvidos sucessivamente a partir de uma extremidade ou em uma abordagem integrada, em busca da otimização do sistema;
- III) **funcionalidade cruzada do processo** - se os SE devem ser adaptados aos diferentes requisitos ao longo da cadeia de suprimentos, os requisitos de embalagem de diferentes atores devem ser considerados de forma sistêmica;
- IV) **envolvimento de atores externos da cadeia de suprimentos** - para consideração dos aspectos externos da cadeia de suprimentos da empresa, os atores externos da cadeia de suprimentos devem ser consultados e envolvidos no processo de desenvolvimento da embalagem.

As decisões relacionadas ao desenvolvimento da embalagem (tamanho, material, formato, etc.) e suas interações ao longo de todo o ciclo de vida (proteção do produto, modo de consumo, forma de descarte, etc.) podem minimizar os impactos ambientais do sistema embalagem-produto e promover uma Economia Circular quando o projeto inclui materiais e processos adequados, garantindo a proteção desejada ao produto, sem consumo excessivo de material e com a revalorização do material pós-consumo (ABRE, 2016). O modelo de Economia Circular contrasta com a economia linear baseada em extração-manufatura-uso-descarte, em que a matéria-prima é utilizada e descartada, sem preocupação com os impactos. No modelo circular, existem ciclos de reutilização e reciclagem de produtos, peças e matéria-prima (OHDE, 2018). A indústria possui um papel importante no desempenho ambiental das suas embalagens em todos os estágios relevantes do ciclo de vida, considerando também o do produto em si, e incluindo o estudo do impacto das perdas decorrentes do uso insuficiente da

embalagem, bem como o impacto da utilização da embalagem em excesso (ABRE, 2016). Afinal, os produtos precisam ser concebidos tendo-se em mente o fim de vida (OHDE, 2018), visto que o modelo econômico linear da atualidade está atingindo seus limites físicos e necessita ser reavaliado em busca de um crescimento com foco em benefícios para toda a sociedade (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2024).

Neste sentido, Sastre et al. (2020) buscou reunir aspectos relacionados à embalagem e seu ciclo de vida em uma ferramenta chamada Radar da Embalagem (Figura 4, que pode ser visualizada de forma ampliada através do *QR Code* ao lado). Seus conteúdos auxiliam para o entendimento de diversos aspectos inter-relacionados, partindo do ciclo de vida da embalagem e estendendo para suas funções, classes, materiais e processos, *stakeholders*, requisitos ambientais e aspectos logísticos. Essa ferramenta pode ser utilizada como um suporte teórico para consultas durante o desenvolvimento de projetos de embalagens, visto que proporciona uma visão abrangente sobre os aspectos relacionados às embalagens de diferentes tipos, e serve como base para a criação do *framework* proposto no presente estudo.

Figura 4 - Radar da Embalagem



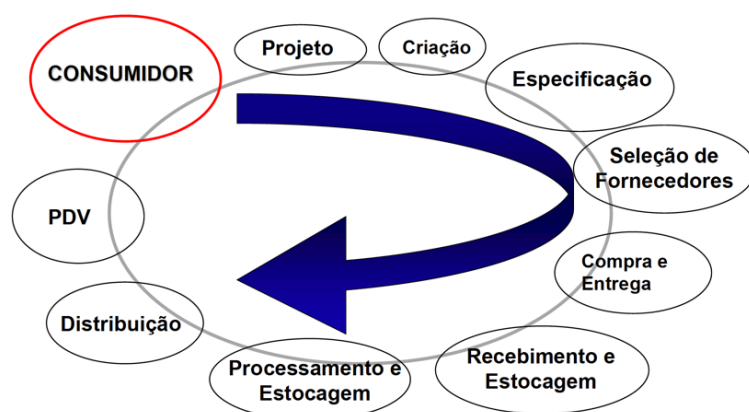
Fonte: Sastre et al. (2020)

A classificação das embalagens proporciona uma visão sobre a relação entre os diferentes níveis de embalagens, porém é uma representação elementar em comparação à complexidade de um Sistema de Embalagem. Já a ferramenta Radar da Embalagem auxilia na compreensão sistêmica de diversos conteúdos relacionados aos projetos de embalagens em todos os níveis de classificação, porém não esclarece aspectos voltados aos fluxos produtivos e aos resíduos gerados em cada etapa. Por isso, na seção seguinte, a definição de Sistema de Embalagem é ampliada para que seja possível compreendê-la de forma mais holística e aprofundada.

3.2 SISTEMA DE EMBALAGEM

O Sistema de Embalagem ou Sistema Embalagem (SE) de uma empresa é um conjunto de embalagens, operações, materiais e acessórios usados na indústria para conter, proteger e conservar seus produtos, levando-os aos pontos de venda ou uso, atendendo às necessidades dos consumidores e clientes a um custo adequado. Ele também deve considerar a ética e o meio ambiente, sendo influenciado pelas necessidades dos consumidores, avanços tecnológicos e incertezas econômicas (Figura 5)(CABRAL; CABRAL, 2010).

Figura 5 - Representação do Sistema Embalagem (SE), que tem o foco no Consumidor



Fonte: Cabral e Cabral (2010)

Para Moura e Banzato (1997), um Sistema de Embalagem é um conjunto inter-relacionado de componentes e atividades que envolvem todas as embalagens, “suas operações e materiais necessários para mover os produtos do ponto de origem até o de consumo, inclusive maquinários, equipamentos e veículos para seu embarque” (MOURA; BANZATO, 1997, p.11).

Os autores também definem que, como em todos sistemas, as partes são numerosas e diversas, e todas “as decisões tomadas e implementadas em nível de um componente provocam ramificações em outros níveis” (MOURA; BANZATO, 1997, p.12).

Para Oke e Fagbolagun (2020), os SE, que desempenham um papel substancial na determinação dos custos, segurança e eficiência de um produto, podem operar em um contexto altamente automatizado e mais sensível a diversos parâmetros do processo, como velocidade de operação das máquinas, tempo de *setup*, restrições de projeto específicas para funcionamento da máquina de envase, dentre outros. Essas características frequentemente resultam em custos de produção elevados e em tempos prolongados de envase, quando não operados corretamente. No entanto, é importante observar que a otimização desses sistemas pode ser uma abordagem economicamente vantajosa, visto que pode se orientar para a redução de custos ou a maximização da eficiência do processo produtivo, considerando um conjunto específico de parâmetros. Devido ao avanço contínuo da tecnologia e à necessidade de atender às demandas do mercado, tornou-se imperativo que as fábricas busquem constantemente melhorar seus sistemas e processos de embalagem, visando alcançar uma maior qualidade e competitividade no mercado (OKE; FAGBOLAGUN, 2020).

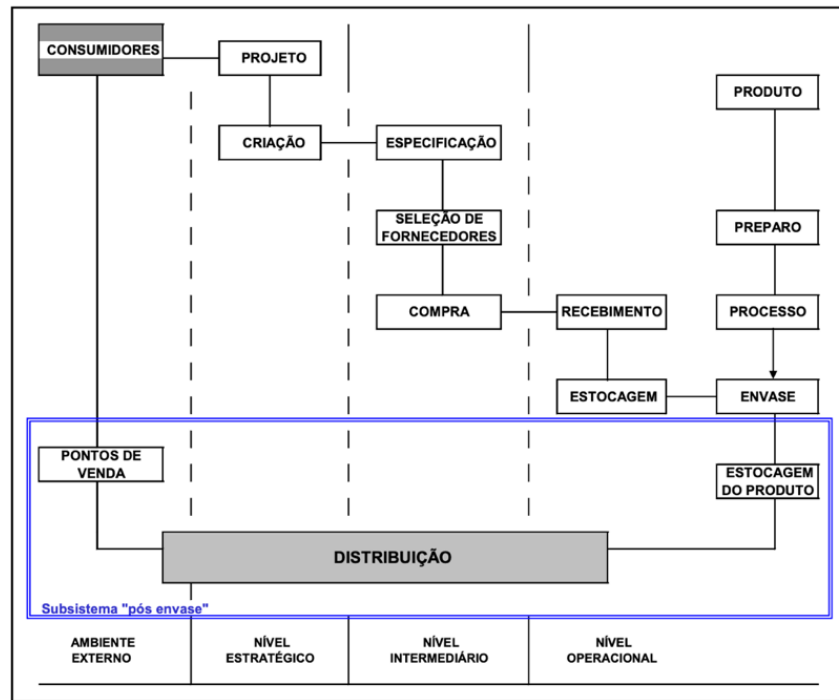
A escolha e organização do SE influencia tanto o desempenho econômico quanto ambiental da cadeia de suprimentos. No entanto, Pålsson et al. (2013) destaca que os modelos e métodos atuais usados para apoiar a seleção de embalagens em empresas de manufatura raramente consideram ambas dimensões. Além disso, eles geralmente não refletem toda a cadeia de suprimentos, já que os sistemas de montagem dos produtos e os níveis de embalagem são projetados em grande parte separadamente, e não como um conjunto sistêmico, o que leva a sub-otimização do SE.

Para evitar essa sub-otimização e facilitar uma abordagem integradora dos sistemas de montagem dos produtos, do sistema logístico e do SE da empresa, a embalagem pode desempenhar um papel fundamental, pois há várias interações entre a embalagem, produtos e logística ao longo da cadeia de suprimentos. Molina-Besch e Pålsson (2014) consideram que as embalagens são componentes centrais na logística, pois acompanham o produto desde o ponto de envase até o ponto de consumo. Elas adicionam peso e espaço aos produtos durante armazenagem e transporte, mas também facilitam a utilização do volume devido, por exemplo, à capacidade de empilhamento e a eficiência do manuseio. Dessa forma, o SE tem impacto direto no uso de energia dos processos de transporte, manuseio e armazenamento, além de influenciar na quantidade de resíduos de produtos ao longo das cadeias de abastecimento (MOLINA-BESCH; PÅLSSON, 2014).

Nas estações de trabalho, onde os produtos e suas embalagens são integrados fisicamente, é possível obter economia de tempo e custo consideráveis ajustando o SE à situação de montagem em questão e aos componentes utilizados (PÅLSSON; FINNSGÅRD; WÄNSTRÖM, 2013). Consequentemente, decisões e avaliações envolvendo embalagens requerem uma abordagem holística que considere todas as partes da cadeia de suprimentos. Por isso, as embalagens devem ser entendidas como sendo um sistema complexo que abrange interações previsíveis e/ou inesperadas entre suas partes e processos, exigindo, portanto, atenção permanente sobre o todos os níveis e cada uma das suas partes ao longo do seu ciclo de vida, para ser que possa ser gerenciada com eficiência e eficácia (CABRAL; CABRAL, 2010; SASTRE et al., 2020).

Cabral e Cabral (2010) definem que o SE é um sistema aberto, absolutamente influenciado pela incerteza do ambiente que o cerca, e por isso pode ser constituído de três níveis de gestão principais: estratégico, intermediário e operacional. O nível estratégico tem interface com o ambiente externo, trabalha com a incerteza e, a partir das informações colhidas, toma as decisões estratégicas das empresas. O nível intermediário é o nível mediador ou gerencial, responsável pela articulação interna, transformando as estratégias elaboradas em planos de ação e deve ser, por este motivo, flexível para absorver os impactos e pressões externas sem prejudicar as operações internas. Por fim, o nível operacional é estritamente técnico, executando rotinas e ignorando incertezas e variações ambientais que são absorvidas pelos outros dois níveis. A partir dessa definição, Cabral e Cabral (2010) apresentam uma figura (Figura 6) relacionando esses níveis com principais os aspectos do SE definidos em sua pesquisa. Esta figura facilita a compreensão do fluxo ao qual a embalagem está submetida, ampliando o entendimento sobre como esta interage com diferentes atores e níveis dentro da empresa, e mostrando o momento onde a embalagem e o produto se unem no processo de envase.

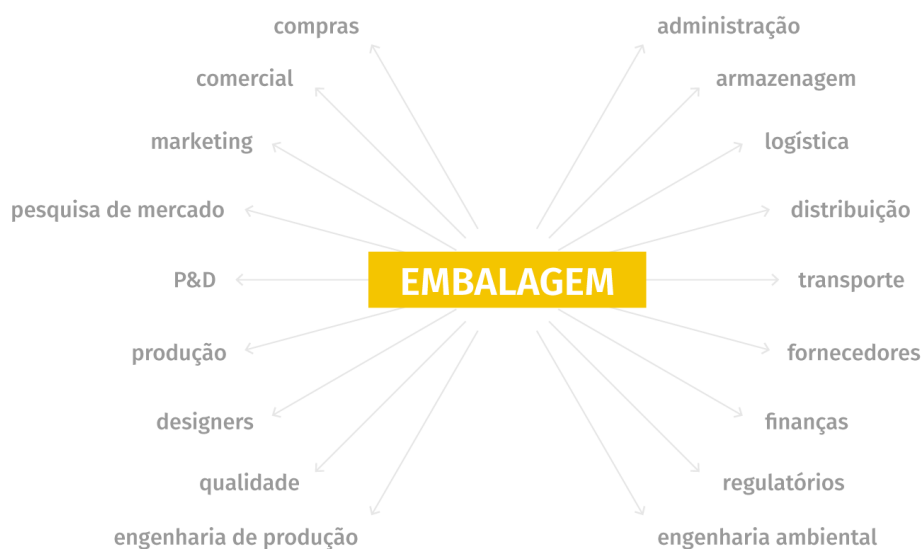
Figura 6 - Inserção do SE nos níveis de gestão operacional, intermediário e estratégico



Fonte: Cabral e Cabral (2010)

Para o desenvolvimento de SE mais eficientes, o olhar sistêmico dos processos e o levantamento de informações precisas são relevantes. Além dos 4 elementos integrativos abordados por Molina-Besch e Palsson (2014), é muito importante considerar também todos os atores envolvidos no SE. Moura e Banzato (1997) elencam as principais áreas relacionadas com as embalagens dentro das empresas, sendo elas: marketing, pesquisa de mercado, distribuição, vendas, finanças, legal, compras, designers, fornecedores, produção, logística, engenharia, P&D de produtos, controle de qualidade, armazenagem e transporte, conforme demonstrado na figura 7.

Figura 7 - Áreas relacionadas com a embalagem



Fonte: adaptado de Moura e Banzatto (1997)

Em resumo, um Sistema de Embalagem (SE) engloba todos os aspectos relacionados à embalagem em seu ciclo de vida, desde a seleção de matérias-primas até os processos de design, distribuição e pós-uso. A revisão da literatura destaca os benefícios associados a um SE bem projetado, incluindo a redução do uso de materiais, otimização do espaço de armazenamento e transporte, diminuição de danos e perdas de produtos, bem como aprimoramento da eficiência operacional e de distribuição. Tais benefícios contribuem para a redução do consumo de recursos naturais, economia de custos de produção, diminuição da pegada ambiental e uma cadeia de suprimentos mais eficiente.

Assumindo-se que um Sistema de Embalagens pode ser compreendido como composto de diversos fluxos entrelaçados (MUNIZ; POSSAMAI, 2019), sendo concebido para atender muitos contextos que interagem de uma forma complexa (BARABASI, 2005), e que a embalagem, em si, é o resultado da ação de um sistema complexo e multidisciplinar, entende-se que o projeto de um SE exige um método de trabalho que auxilie na captação e organização dos fluxos e informações envolvidas, como é proposto na abordagem de Design Sistemico.

3.3 DESIGN SISTÊMICO

O Design Sistemico é uma abordagem interdisciplinar que procura criar não apenas produtos industriais, mas sistemas industriais complexos, desempenhando um papel relevante na organização e otimização de processos (CESCHIN; GAZIULUSOY, 2019). Ele surgiu do

debate em torno da necessidade e das oportunidades de integrar o pensamento sistêmico no design, e por isso envolve a análise, modelagem e criação de sistemas complexos, incluindo a identificação de requisitos, a representação visual do sistema, a integração de tecnologia e a otimização contínua (BATTISTONI; NOHRA; BARBERO, 2019).

Abordagens em relação à complexidade baseiam-se na afirmação de que problemas sistêmicos e interconectados precisam de soluções sistêmicas e interconectadas, e isso exige a participação de especialistas de diversas áreas para que seja possível alcançar soluções inovadoras (BATTISTONI; NOHRA; BARBERO, 2019). Neste sentido, um Sistema de Embalagens pode ser compreendido como o resultado da ação de um sistema complexo e multidisciplinar, composto de diversos fluxos entrelaçados (MUNIZ; POSSAMAI, 2019) e constituído pela atuação de diversos especialistas que desenvolvem atividades complementares, tais como pesquisadores, designers, operadores, dentre outros envolvidos em sua concepção (ROBERTSON, 2013; SASTRE et al., 2019).

O Design Sistêmico se distingue do design de serviço ou de experiência em termos de escala, complexidade social e integração. O Design Sistêmico considera sistemas de ordem superior que abrangem vários subsistemas. Ao integrar o pensamento sistêmico e seus métodos, o Design Sistêmico traz o design centrado no ser humano para sistemas de serviços complexos e multissetoriais, como aqueles encontrados em redes industriais, de transportes, e de saúde. Ele se adapta a partir de competências de design conhecidas - raciocínio de forma e processo, métodos de pesquisa social e generativa e práticas de esboço e visualização - para descrever, mapear, propor e reconfigurar serviços e sistemas complexos (JONES, 2014).

Para facilitar o desenvolvimento de soluções sustentáveis para cenários complexos, o Design Sistêmico fornece um método para explorar a análise holística desses contextos, permitindo à disciplina de design uma oportunidade de criar sistemas abertos autossuficientes, baseados em ativos contextuais. Para isso, Battistoni et al. (2019), a partir da revisão de outras metodologias de Design Sistêmico, propõe uma metodologia baseada em 6 passos (Figura 8), descritos a seguir.

Figura 8 - Metodologia de Design Sistêmico



Fonte: Battistoni, Nohra e Barbero (2019)

1. **Diagnóstico holístico:** inclui pesquisa de campo e pesquisa *desk*. Trata-se de uma análise e visualização de todos os componentes que definem o cenário atual, considerando tanto o contexto circundante quanto o fluxo de energia e matéria.
2. **Definição de problemas e oportunidades para a mudança:** com os dados complexos coletados no diagnóstico holístico, é possível destacar as ameaças e potencialidades, além de reunir diretrizes ecológicas para a definição de novos sistemas complexos.
3. **Projeto sistêmico:** visa criar um novo modelo de produção com o objetivo de alcançar zero emissões. Esse sistema é desenvolvido com base nas relações entre processos e atores, otimizando os fluxos de energia e material e valorizando os resíduos como recursos.
4. **Estudo dos resultados:** inclui uma avaliação preliminar dos benefícios proporcionados pelo novo sistema proposto em termos ambientais, econômicos e sociais.
5. **Implementação e avaliação:** implementação do novo sistema no contexto específico e a avaliação da viabilidade no plano de negócios.
6. **Análise dos resultados e feedback:** Os insights provenientes da implementação melhoram o projeto e possibilitam a descoberta de novas oportunidades, tornando-o organizado e autossuficiente.

O design sistêmico não é uma disciplina de design, como o design gráfico ou o design industrial, mas sim uma abordagem desenvolvida por necessidade para avançar as práticas de design em problemas sistêmicos (JONES, 2014). Como uma prática robusta de design, o

objetivo final é projetar políticas, programas e sistemas de serviço melhores a partir de métodos e princípios que são extraídos de diversas escolas de pensamento, tanto em sistemas quanto em design *thinking* (JONES, 2014). De acordo com Battistoni et al. (2019), essa metodologia tem ganhado relevância em diversos ambientes, principalmente no meio acadêmico. Ela tem sido usada no programa de mestrado em Design Sistemico na Escola de Design do Politecnico di Torino. Também é utilizada em projetos europeus e em estudos colaborativos com indústrias.

Barbero (2017) sugere que deve ser elaborado um relatório no qual todos os dados e informações recolhidos sejam adequadamente organizados, interpretados e visualizados; isso se torna um suporte fundamental para o designer que definirá as diretrizes e iniciará a fase de conceito. Tornar as ideias visíveis e acessíveis, e traduzi-las em ferramentas concretas através de técnicas e competências, recorrendo diretamente à cultura criativa individual e coletiva, torna-se estratégico no processo de inovação sustentável. A informação recolhida é um ativo capaz de comunicar o potencial de um território, de transmitir novas mensagens de sustentabilidade e integração a um público mais vasto e a todos os envolvidos no projeto (BARBERO, 2017).

Segundo Barbero (2017), a aplicação do Design Sistemico permite atingir o importante e esperado ponto de inflexão de tornar produtos, serviços, comportamentos e processos sustentáveis e inovadores. Assim, a Metodologia de Design Sistemico é uma ferramenta para atingir os objetivos da Economia Circular não só tornando a utilização dos recursos mais eficiente, mas também mudando estilos de vida, desmaterializando, digitalizando, enriquecendo aspectos tradicionais e agindo de forma socialmente inovadora, ao mesmo tempo que satisfaz novas necessidades e destaca valores como responsabilidade, cooperação e partilha (BARBERO, 2017).

A teoria dos sistemas e suas diretrizes na prática - o pensamento sistemico - têm sido promovidos para aumentar a consciência social sobre sistemas complexos interconectados, visto que o conceito de interconexões representa uma capacidade primária para enfrentar os atuais cenários complexos e o imediatismo de um futuro sustentável, que envolve uma perspectiva social, econômica e ambiental completa (JONES, 2014). Por isso, um dos objetivos de design sistemico é implementar sistemas produtivos sustentáveis em que os fluxos de materiais e energia sejam concebidos de forma que os resíduos de um processo produtivo se tornem insumos para outros processos, evitando que resíduos sejam lançados no meio ambiente (JONES, 2014).

Além disso, o Design Sistemico fornece um ponto de partida diferente para o desenvolvimento de políticas empresariais, por meio do processo de detecção de problemas e

por meio do mapeamento do sistema. As oportunidades de intervenção e inovação podem emergir a partir de uma compreensão profunda e detalhada dos contextos sistêmicos — que podem, por si só, apresentar uma perspectiva nova e diferente sobre um determinado problema — abrindo novas possibilidades, ao invés de simplesmente aplicar soluções pré-existentes para o problema a ser resolvido (BARBERO, 2017).

Desta forma, o enfoque de Design Sistêmico baseia-se em cinco princípios, conforme descrito por diversos autores (BARBERO; TOSO, 2010; JONES, 2014; BARBERO, 2017; BATTISTONI; NOHRA; BARBERO, 2019; CESCHIN; GAZIULUSOY, 2019) , que podem ser aplicados ao contexto dos Sistemas de Embalagem de forma a estimular um novo ponto de partida para a solução dos problemas complexos e sistêmicos presentes nos processos industriais relacionados às embalagens. Os cinco princípios descritos pelos autores são:

1. **transformação de resíduos em recursos** - este é o princípio fundamental, que envolve a transição de um modelo linear de produção e consumo para um modelo circular, no qual os resíduos são considerados matérias-primas para outros processos. Isso cria um fluxo contínuo de material, energia e informação entre diferentes atores socioeconômicos.
2. **relações geram o sistema** - um sistema é composto por nós (atores socioeconômicos) em uma determinada área geográfica e pelas conexões (fluxo de materiais, energia e informação) entre esses nós. O foco está na concepção da complexidade dessas relações.
3. **auto-regulação do sistema** - desenvolver sistemas que se auto-regulem e tenham a capacidade dinâmica de responder a mudanças internas e externas, semelhantes aos sistemas biológicos. Isso significa que os sistemas devem ser capazes de evoluir em resposta às mudanças em seu contexto.
4. **ações locais** - priorizar o uso de recursos locais, incluindo recursos naturais, fluxos de material e energia de atividades produtivas, bem como recursos sociais e culturais do território. Isso promove sistemas baseados localmente que podem impulsionar o desenvolvimento econômico local e preservar a herança cultural.
5. **foco no ser humano** - colocar as relações entre o indivíduo, a comunidade e o contexto local no centro do projeto. Começar com a dimensão humana para desenvolver sistemas

que protejam a cultura local e o conhecimento, integrando aspectos técnicos e socioculturais na reorganização dos fluxos de material e energia.

Ao adotar uma perspectiva integrada, o Design Sistêmico busca otimizar a eficiência, adaptabilidade e sustentabilidade do sistema como um todo. Serve como uma ferramenta para atingir os objetivos da Economia Circular não só tornando a utilização dos recursos mais eficiente, mas incluindo uma compreensão mais profunda das dinâmicas sistêmicas, a identificação de oportunidades de melhoria e a criação de soluções mais eficazes (BARBERO, 2017). Neste sentido, se combinado com os princípios do *Lean Manufacturing*, o design sistêmico pode se beneficiar da ênfase do *Lean* na eliminação de desperdícios, redução de variabilidades e melhoria contínua. A fusão dessas abordagens tem potencial para levar à otimização mais completa e integrada dos processos, resultando em sistemas organizacionais mais eficientes, ágeis e alinhados com as metas estratégicas.

3.4 LEAN MANUFACTURING

O *Lean Manufacturing* é uma abordagem que visa à eliminação consistente de desperdícios, buscando fornecer ao cliente produtos ou serviços sem defeitos, na quantidade correta e no momento adequado. Trata-se de uma metodologia centrada no cliente, cujo propósito é melhorar continuamente os processos por meio da eliminação consistente de desperdícios, que ocorrem em três formas principais: *Muda*, *Mura* e *Muri*. *Muda* diz respeito a sete tipos de desperdícios *Lean*, que incluem superprodução, processamento excessivo, espera, movimento, transporte, defeitos e inventário. Já o *Mura* é o desperdício causado pela variação ou irregularidade, enquanto o *Muri* refere-se ao desperdício devido à sobrecarga ou estresse (VINODH; BEN RUBEN, 2015).

Para alcançar a eliminação de desperdícios, promover a eficiência, aprimorar a qualidade dos produtos e serviços e aumentar a satisfação do cliente, o *Lean Manufacturing* se baseia em cinco princípios fundamentais propostos por Womack et al. (1990):

1. Especificar o valor do ponto de vista do cliente;
2. Identificar todas as etapas envolvidas na fabricação do produto e mapear o fluxo de valor para eliminar as atividades que não agregam valor;
3. Criar um fluxo contínuo do produto em direção ao alcance do cliente;

4. Fazer com que os clientes "puxem" o valor da próxima atividade a montante;
5. Iniciar o processo novamente e continuar até alcançar um estado de perfeição para criar valor perfeito, sem desperdícios.

Com base nos cinco princípios-chave mencionados anteriormente, Womack et al. (1990) destacou os princípios como Valor, Fluxo de Valor, Fluxo Contínuo, Produção Puxada e Perfeição. Embora os cinco princípios-chave do *Lean Manufacturing* sejam considerados como princípios orientadores, existem outros que são úteis na implementação das práticas, tais como Melhoria Contínua, Respeito pelas Pessoas, Produção Nivelada, Produção Just-In-Time, Qualidade Incorporada, entre outros (VINODH; BEN RUBEN, 2015; WOMACK; JONES, 1997).

Vinodh e Ben Ruben (2015) e Womack e Jones (1997) explicam que é necessário compreender o que o cliente precisa e espera do produto ou serviço. É esse valor que determina quanto o cliente está disposto a pagar pelos produtos e serviços. Portanto, é importante identificar o valor a partir da perspectiva do cliente. Após identificar o valor, é necessário realizar o mapeamento do fluxo de valor, para que a empresa possa compreender as atividades que agregam valor e aquelas que não agregam, a fim de eliminar desperdícios e criar um fluxo contínuo no processo de produção. Um fluxo adequadamente projetado em toda a cadeia de valor tenderá a minimizar o desperdício e aumentar o valor para o cliente. Abordar a produção de forma "puxada" significa que não é necessário produzir nada até que o cliente faça um pedido. Para alcançar isso, o sistema deve ser flexível, com tempos de ciclo muito curtos para design, produção e entrega de produtos e serviços. O tipo de produção deve ser orientado pelo "puxar", em vez de ser impulsionado, para garantir uma utilização eficaz dos recursos e evitar incertezas relacionadas à demanda. Por fim, após criar o fluxo e alcançar o "puxar", mais camadas de desperdício se tornam visíveis e o processo continua em direção ao ponto teórico de perfeição. Esse ponto de perfeição representa a atitude fundamental para que uma organização adote o sistema *Lean*.

O *Lean Manufacturing* é uma abordagem que visa à eliminação consistente de desperdícios, buscando fornecer ao cliente produtos ou serviços sem defeitos, na quantidade correta e no momento adequado. Trata-se de uma metodologia centrada no cliente, cujo propósito é melhorar continuamente os processos por meio da eliminação consistente de desperdícios (WOMACK; JONES, 1997). O *Lean Manufacturing* pode influenciar positivamente o SE de uma empresa ao integrar princípios de eficiência, eliminação de desperdícios, colaboração entre *stakeholders*, foco no cliente, agilidade e minimização de riscos

desde as fases iniciais de desenvolvimento. Ao adotar essa abordagem, as empresas podem criar embalagens mais sustentáveis, econômicas e alinhadas com as necessidades dos clientes e do mercado.

Na seção 3.5 o *Lean Manufacturing* será analisado em conjunto com as demais abordagens tratadas neste referencial teórico.

3.5 ANÁLISE DO REFERENCIAL E PROPOSIÇÕES

Quando voltamos aos conceitos de SE definidos pelos autores analisados (seção 3.2. Sistema de Embalagem), pode-se perceber que, apesar de muitas abordagens tratarem do tema, não existe um consenso quanto à definição do SE. Cada autor dá um enfoque diferente, como processos produtivos (CABRAL; CABRAL, 2010), armazenamento e transporte (MOURA; BANZATO, 1997), desenvolvimento de embalagem (MOLINA-BESCH; PÅLSSON, 2014), automação industrial (OKE; FAGBOLAGUN, 2020) ou cadeias de suprimentos (PÅLSSON; FINNSGÅRD; WÄNSTRÖM, 2013; PÅLSSON; HELLSTRÖM, 2016; MATYI; TAMÁS, 2023). Os autores citam a necessidade de observar a classificação das embalagens como parte do SE, mas alguns limitam a classificação até o nível terciário (PÅLSSON; FINNSGÅRD; WÄNSTRÖM, 2013; MOLINA-BESCH; PÅLSSON, 2014; PÅLSSON; HELLSTRÖM, 2016; MATYI; TAMÁS, 2023), com exceção de dois que não citam a classificação (OKE; FAGBOLAGUN, 2020; CABRAL; CABRAL, 2010).

Quanto à relação com custos, os autores consultados concordam que um SE projetado adequadamente pode economizar recursos por meio da redução de materiais, otimização do espaço, redução de danos e perdas, e aumento da eficiência global ou, de igual forma, causar o efeito oposto se a empresa não der a importância necessária a esse sistema. Do mesmo modo, acerca dos impactos ambientais, os autores concordam que um SE ineficiente pode aumentar desnecessariamente os impactos ambientais do sistema, com exceção de Moura e Banzato (1997) que não abordam este assunto (Quadro 1).

Quadro 1 – Comparativo entre abordagem dos autores analisados

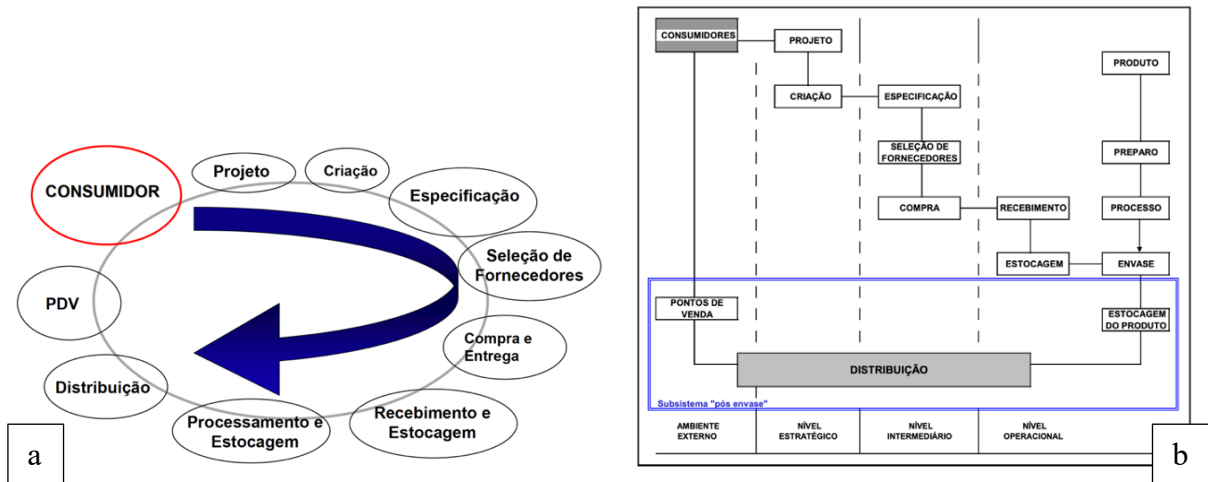
Autores	Enfoque	Classificação das embalagens	Representação Visual	Custos	Impactos ambientais
CABRAL; CABRAL, 2010	Processos produtivos	Não consta	Figura 5	Sim	Sim
MOURA; BANZATO, 1997	Armazenamento e transporte	Primária, secundária, terciária, quarto nível e quinto nível	Não há	Sim	Não
OKE; FAGBOLAGUN, 2020	Automação industrial	Não consta	Não há	Sim	Sim
MOLINA-BESCH; PÅLSSON, 2014	Desenvolvimento de embalagem	Primária, secundária, terciária	Não há	Sim	Sim
MATYI; TAMÁS, 2023	Cadeias de suprimentos	Primária, secundária, terciária	Não há	Sim	Sim
PÅLSSON; HELLSTRÖM, 2016		Primária, secundária, terciária	Não há	Sim	Sim
PÅLSSON; FINNSGÅRD; WÄNSTRÖM, 2013		Primária, secundária, terciária	Não há	Sim	Sim

Fonte: a autora

Cabral e Cabral (2010), dentre os autores analisados, foram os únicos dentre os identificados que buscaram representar sua definição de SE de forma visual para auxiliar na compreensão, ambas figuras desenvolvidas por eles estão compiladas novamente na figura 9. Na figura 9(a), observa-se uma abordagem mais generalista em relação às operações relacionadas com as embalagens ao longo de um ciclo de vida que tem seu início e foco nas necessidades do consumidor. Ao olhar para o SE com foco no consumidor, direciona o sistema para o consumo e, conseqüentemente, para a embalagem primária dos produtos. Esse conceito apresenta as operações de forma sequencial, sem considerar as interrelações entre as etapas, tampouco os fluxos de produtos e embalagens ao longo da cadeia. Esta é uma forma de visualizar uma parte da cadeia de valor, com foco nos atores desta cadeia, porém dificulta o entendimento sobre qual é a interação prática que esses atores têm com as embalagens, quais as oportunidades de melhoria que poderiam estar latentes, e quais resíduos ou impactos ambientais podem estar associados ao sistema.

Em um segundo momento, Cabral e Cabral (2010) apresentam a figura 9(b), que reorganiza as operações abordadas na figura anterior, agora em formato de fluxo, ampliando o entendimento sobre como a embalagem interage em diferentes níveis (estratégico, intermediário, operacional) dentro da empresa, e mostrando o momento em que a embalagem e o produto se unem no processo de envase. Entretanto, não fica claro qual nível de embalagem está sendo analisado, o que leva a entender que são operações relacionadas às embalagens primárias, e desconsidera outras interações que ocorrem com os demais níveis de embalagem que compõem o sistema.

Figura 9 – Figuras analisadas sobre a representação do Sistema Embalagem (SE)

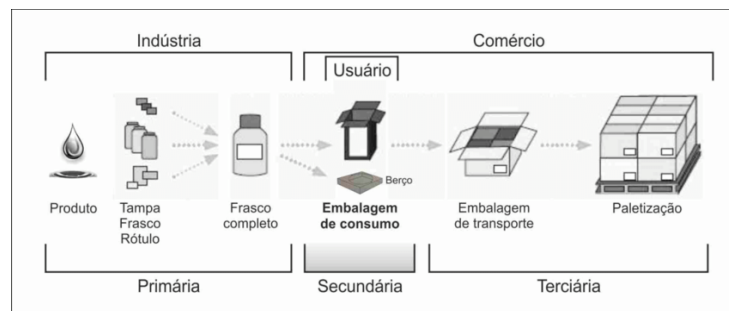


- a) Representação do Sistema Embalagem (SE), que tem o foco no Consumidor
- b) Inserção do SE nos níveis de gestão operacional, intermediário e estratégico

Fonte: Cabral e Cabral (2010)

A figura 3, de Sastre et al. (2019), compilada como figura 10, aborda os níveis hierárquicos das embalagens, mostrando a interação que acontece entre os diferentes níveis. Nela, é possível ter uma percepção dos fluxos de embalagem, desde o processo de envase até a paletização ou containerização. Analisando do ponto de vista do projetista, percebe-se que, se houver uma alteração de projeto estrutural em um dos níveis, os demais serão impactados e provavelmente deverão ser alterados também. Entretanto, a figura demonstra apenas até o nível terciário, sendo que a classificação se estende para embalagens de quarto nível, que facilitam a movimentação e armazenagem em transportes, como os pallets e seus acessórios; até as de quinto nível, utilizadas para envios de longa distância, como os containers (MOURA; BANZATO, 1997). Observa-se um conflito nesta figura onde a paletização é classificada como terciária, visto que outros autores classificam a paletização como de quarto nível.

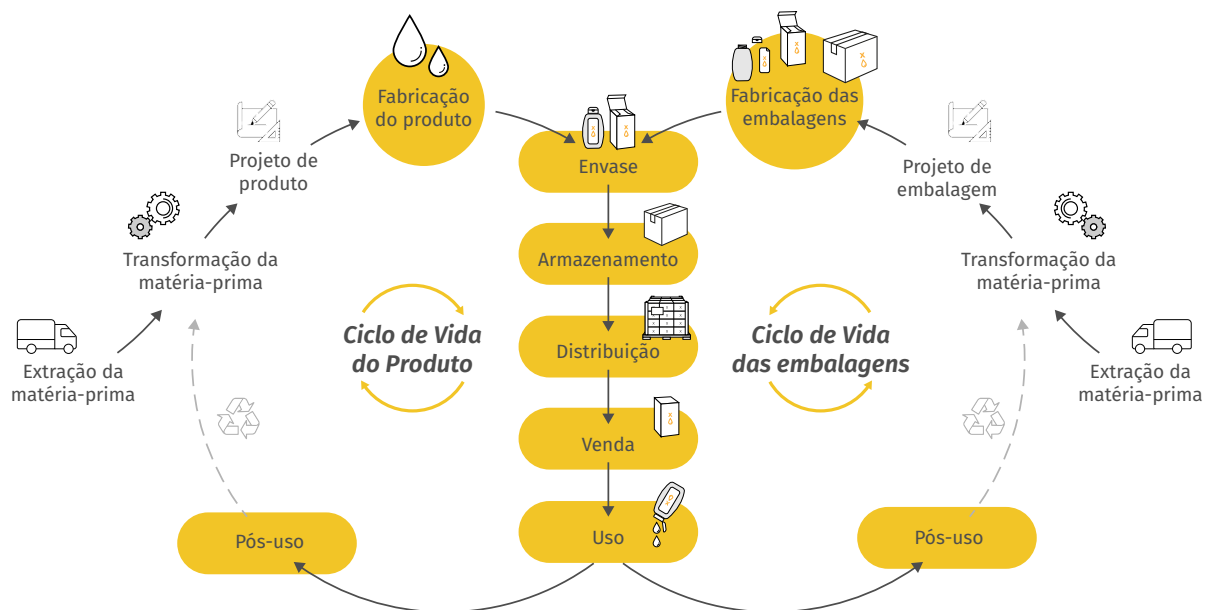
Figura 10 – Classificação das embalagens



Fonte: SASTRE et al. (2019)

Na figura 11, é possível perceber que o ciclo de vida do produto e o ciclo de vida da embalagem ocorrem em paralelo até a etapa de envase, onde a embalagem passa a se confundir com o produto assumindo a função de contê-lo e protegê-lo até o seu consumo ou utilização. Na visão dos autores do presente estudo, o SE está situado exatamente nesta superposição entre o ciclo de vida do produto e da embalagem, exigindo o amplo conhecimento das características técnicas e limitações das linhas de produção e dos equipamentos envolvidos, assim como dos processos de distribuição, venda, uso e pós-uso dos produtos e suas embalagens. O estudo se desenvolve pela perspectiva das empresas fabricantes de produtos que utilizam embalagens em suas linhas de envase. Acredita-se que é este olhar para o ciclo de vida e para os processos que pode auxiliar o projetista e demais *stakeholders* a analisarem os processos de forma mais sistêmica, em busca de maior eficiência econômica e ambiental.

Figura 11 - Superposição entre os ciclos de vida da embalagem e do produto



Fonte: elaborado pela autora

Do ponto de vista ambiental, é importante que se tenha uma abordagem holística dos impactos ambientais da embalagem, desde a extração de matéria-prima para sua fabricação até o pós-uso da embalagem. Quando o tema sustentabilidade se volta às embalagens, as empresas, os veículos de comunicação, redes sociais e consumidores apontam para o descarte das embalagens que restaram após o consumo dos produtos, mas não há uma análise crítica para os descartes e resíduos gerados ao longo da cadeia produtiva. Por exemplo, a forma e a dimensão da embalagem afetam a eficiência da embalagem no transporte, a escolha do material influencia

o manuseio e a reciclagem de resíduos e a proteção da embalagem afeta a quantidade de resíduos na cadeia de suprimentos. Por isso, métodos sistêmicos são necessários para avaliar um SE e seu impacto na cadeia de suprimentos (PÅLSSON; HELLSTRÖM, 2016), pois se olharmos apenas para a embalagem que o consumidor descarta, estamos focando em uma pequena parcela de uma série de perdas que aconteceram ao longo do seu ciclo de vida. Em um cenário onde o SE é projetado para aumentar a eficiência ambiental, pode haver o retorno da embalagem às fábricas para sua reciclagem ou outro procedimento que estenda sua vida útil (reuso, remanufatura), por exemplo (JANG et al., 2020). Há ainda a possibilidade de retorno da embalagem ao sistema natural, quando ela for compostável (CASAREJOS et al., 2018).

Na perspectiva do Design Sistêmico (seção 3.3.), abordagens em relação à complexidade baseiam-se na afirmação de que “problemas sistêmicos e interconectados precisam de soluções sistêmicas e interconectadas” (BATTISTONI; NOHRA; BARBERO, 2019), ou seja, é uma abordagem de design que considera sistemas inteiros, em vez de apenas partes individuais, ao criar soluções para problemas complexos. A integração dos princípios de Design Sistêmico e *Lean Manufacturing* no contexto do SE das empresas constitui uma abordagem estratégica para otimizar a eficiência, sustentabilidade e eficácia global desse sistema. Inicialmente, é imperativo compreender minuciosamente o SE, diagnosticando fragilidades em seus componentes, processos e interações, desde a concepção do projeto da embalagem até a distribuição e pós-uso. O *Lean Manufacturing* desempenha um papel importante ao permitir a identificação e mitigação de desperdícios no sistema, incluindo estoque excessivo, movimentação desnecessária, produção defeituosa e tempos de espera. Simultaneamente, o Design Sistêmico guia a criação de embalagens eficientes, levando em consideração a utilização de materiais sustentáveis e a facilidade de reciclagem ou reutilização ao longo do ciclo de vida das embalagens.

Ainda, o *Lean* promove a visibilidade dos processos por meio de ferramentas visuais, padrões, organização, comunicação aberta e uma cultura de melhoria contínua. Esta abordagem defende que tornar os processos visíveis é fundamental para identificar e resolver problemas, bem como para alcançar maior eficiência e qualidade em uma organização. Em concordância, o Design Sistêmico defende que deve ser elaborado um relatório de dados no qual todos os dados e informações recolhidos sejam adequadamente organizados, interpretados e visualizados. A partir destes dados e informações as ideias se tornam visíveis e acessíveis, traduzindo-as em ferramentas através de técnicas e competências, que podem ser estratégicas no processo de inovação sustentável. Para facilitar a compreensão da relação entre os conceitos,

no Quadro 2 buscou-se associar os princípios do *Lean Manufacturing*, do Design Sistemico e do Sistema de Embalagem.

Quadro 2 – Relação entre os princípios do *Lean Manufacturing*, Design Sistemico e o Sistema de Embalagem

Princípios Lean Manufacturing	Descrição	Princípios do Design Sistemico	Descrição	Aplicação no Sistema de Embalagem
Criação de valor (Value):	Todo o esforço deve ser direcionado para entender o que os clientes valorizam, a fim de produzir produtos e serviços que atendam às necessidades deles.	Foco no ser humano	Colocar as relações entre o indivíduo, a comunidade e o contexto local no centro do projeto, integrando aspectos técnicos e socioculturais na reorganização dos fluxos de material e energia	O SE deve ser orientado para proteger os produtos adequadamente e proporcionar uma experiência positiva aos clientes e demais stakeholders, de forma a agregar valor à cadeia e aos produtos.
Fluxo de Valor (Value Stream)	Mapear e compreender todo o fluxo de valor do processo produtivo, a fim de eliminar desperdícios e ineficiências.	Relações geram o sistema	Um sistema é composto por nós (atores socioeconômicos) em uma determinada área geográfica e pelas conexões (fluxo de materiais, energia e informação) entre esses nós	Identificar todas as etapas e atividades envolvidas no processo de embalagem, desde a seleção de materiais até a distribuição e uso dos produtos embalados, a fim de eliminar atividades que não geram valor, como excesso de materiais, retrabalho ou processos ineficientes.
Fluxo Contínuo (Flow)	Buscar aperfeiçoar o fluxo contínuo de trabalho, materiais e informações para eliminar interrupções e atrasos, permitindo que o trabalho flua de forma mais suave e rápida, reduzindo estoques e melhorando a eficiência.	Transformação de resíduos em recursos	Resíduos são considerados matérias-primas para outros processos. Isso cria um fluxo contínuo de material, energia e informação entre diferentes atores socioeconômicos	Otimizar o fluxo contínuo das embalagens, desde a sua produção até o uso nas operações e na entrega aos clientes. Reduzir atrasos, gargalos e ineficiências no fluxo de embalagens, além de reutilizar resíduos pós-produção e pós-consumo para melhorar a eficiência geral do processo.
Produção Puxada (Pull):	Ao invés de produzir com base em previsões de demanda, adotar a abordagem "pull", onde os produtos são fabricados apenas quando há uma demanda real por eles.	Auto-regulação do sistema	Desenvolver sistemas que se auto-regulem e tenham a capacidade dinâmica de responder a mudanças internas e externas, evoluindo em resposta às mudanças em seu contexto.	Os SE podem ser projetados para monitorar dinamicamente as demandas, ajustando-se automaticamente para garantir uma produção eficiente e responsiva. Melhora a eficiência operacional, e aumenta a flexibilidade do SE, permitindo sua adaptação às mudanças no ambiente de negócios.
Perfeição (Perfection):	Buscar a melhoria contínua, não fazendo apenas melhorias incrementais, mas buscando a excelência e a perfeição nos processos, produtos e serviços.			O SE deve buscar a melhoria contínua para alcançar embalagens e processos cada vez mais eficientes, seguros e sustentáveis.
		Ações locais	Priorizar o uso de recursos locais, incluindo recursos naturais, fluxos de material e energia de atividades produtivas, bem como recursos sociais e culturais do território	Priorizar o uso de recursos locais nos processos de fabricação e distribuição, incluindo materiais, energia e mão de obra, o que reduz a pegada de carbono e promove a sustentabilidade ambiental e social.

Fonte: elaborado pela autora

A partir do referencial teórico analisado e da observação e experiência em indústrias de envase, pode-se definir que o Sistema de Embalagem é:

(...) um conjunto de fluxos entrelaçados onde diferentes níveis de embalagens, operações, insumos, maquinários e atores trabalham em sincronia para conter, conservar e transportar produtos desde a fabricação até os pontos de venda ou uso, sempre com o compromisso de atender às necessidades dos stakeholders, consumidores e clientes, respeitando o meio ambiente e a sociedade, mantendo um custo justo e adequado. Esta abordagem integradora e holística não apenas se restringe aos processos de produção, envase e distribuição, mas estende-se para além, considerando desperdícios pré-produção, pós-produção e pós-consumo, enfatizando a importância de analisar todas as fases do processo, desde a concepção até o descarte, exigindo uma consideração integral do projeto da embalagem dentro do sistema (os autores).

Neste sentido, antes da etapa de desenvolvimento do método de Design de Sistema de Embalagem, objeto deste estudo, percebeu-se a necessidade do desenvolvimento de um

framework que pudesse representar e tornar estes conceitos mais visíveis, de forma a auxiliar na compreensão da complexidade do SE. O desenvolvimento deste *framework*, será apresentado nas seções seguintes, servindo como base para o desenvolvimento do método, visto que aborda diversos aspectos que devem ser observados ao analisar e mapear o contexto atual dos processos do SE da empresa para melhorar os fluxos relacionados com as embalagens.

4. DETALHAMENTO DO MÉTODO DE TRABALHO

Nesta seção, são descritas as etapas realizadas para o desenvolvimento do estudo, com base na metodologia Design Science Research explicada na seção 2.2 sobre o método de trabalho.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

A partir de visitas a diversas empresas fabricantes de produto ao longo da experiência profissional dos autores, observou-se a dificuldade de gerenciamento do SE, do fluxo de artefatos entre os processos de envase, armazenamento e distribuição, e da divisão de responsabilidades relacionadas às embalagens entre os diversos setores envolvidos. Destas empresas, foram escolhidas duas de setores completamente distintos (laticínios e tapetes), para uma análise aprofundada que contribuiu para o desenvolvimento deste estudo (Quadro 3). A partir de conversas informais com envolvidos em diferentes setores das empresas, identificou-se que em nenhum dos casos havia um profissional ou gestor que analisasse o SE de forma sistêmica dentro do processo, o que acabava por fragmentar o sistema entre os setores, tornando-o quase invisível no processo.

Quadro 3 – Perfil das empresas estudadas

	Caso 1	Caso 2
Segmento	Indústria de Laticínios	Indústria de tapetes
Porte	Médio / 350 funcionários	Grande / 700 funcionários
Entrevistados	SAC, P&D, produção, estoque, expedição, manutenção, engenharia ambiental, gerências e direção	SAC, qualidade, marketing, produção, estoque, almoxarifado, expedição, e-commerce, exportação, engenharia ambiental, comercial, compras, gerências e direção
Período da entrevista	Março de 2023	Abril a Junho de 2023
Tópicos abordados nas visitas	Tipos de embalagens existentes na empresa	Tipos de embalagens existentes na empresa
	Responsabilidades de cada setor sobre as embalagens	Responsabilidades de cada setor sobre as embalagens
	Resíduos gerados pré-produção e pós-produção	Resíduos gerados pré-produção, pós-produção e pós-consumo
	Processos de envase e distribuição	Processos de envase e distribuição
	Canais de vendas	Canais de vendas
	Feedbacks dos clientes	Feedbacks dos clientes
	Gargalos e ineficiências dos processos	Gargalos e ineficiências dos processos
Fornecedores de embalagens	Fornecedores de embalagens	

Fonte: a autora

Essa fragmentação induz o setor a resolver os problemas relacionados com as embalagens de forma isolada, não se atentando às consequências, negativas ou positivas, que impactarão outros setores ou às etapas seguintes. Isso pode levar ao aumento de custos de produção e logística devido ao uso excessivo de materiais, necessidade de retrabalho ou substituição de produtos danificados, espaço desperdiçado durante o armazenamento e maiores despesas logísticas, resultando em atrasos na produção, gargalos e redução da eficiência global.

4.2 DEFINIÇÃO DOS RESULTADOS ESPERADOS

As etapas de observação das empresas, conversas com os envolvidos no processo e revisão de literatura, permitiram a delimitação do estudo e dos resultados esperados. Assim, foi estruturada a seguinte questão de pesquisa: Como estruturar os fluxos de embalagens de uma empresa, de forma a tornar o sistema de embalagens mais eficiente, minimizando custos e impactos ambientais? E como objetivo: o desenvolvimento de um método de Design de Sistema de Embalagem (DSE). Visto que um Sistema de Embalagem pode ser composto de diversos fluxos entrelaçados para atender diversas necessidades interagindo de formas complexas, optou-se por delimitar o foco em redução de custos e impactos ambientais, uma vez que ambos os aspectos se mostraram fortemente conectados. Por exemplo, melhorias em projetos de embalagens que reduzam a utilização de matérias-primas podem reduzir o custo global do

processo de fabricação do produto, o desperdício de recursos e, conseqüentemente, os impactos ambientais.

Desta forma, o resultado esperado das etapas do DSR é a proposição de artefatos visuais que auxiliem os gestores das empresas a mapear e visualizar seus SE, com a sugestão de ferramentas técnicas para suporte ao projeto de SEs e à melhoria contínua dos mesmos.

4.3 PROJETO E DESENVOLVIMENTO

Esta etapa aborda o desenvolvimento de dois artefatos principais, sendo o primeiro um *framework* para auxiliar na compreensão da complexidade de um SE e suas interações com processos internos e externos da empresa; o segundo, o desenvolvimento do método de Design de Sistema de Embalagem (DSE), onde o *framework* do SE está inserido. Ambos os desenvolvimentos partiram da observação dos processos dentro de empresas e, com a integração das informações coletadas na revisão de literatura, foi possível alcançar modelos que foram aplicados e validados nos casos apresentados posteriormente. Esta lógica para a concepção partiu do agrupamento de diversos princípios e conceitos que foram analisados ao longo da revisão de literatura (seção 3), e podem ser observados no quadro 4.

Quadro 4 – Agrupamento de princípios e ferramentas utilizados no desenvolvimento deste estudo

Princípios Lean Manufacturing ¹	Princípios Design Sistêmico ²	Etapas do método de Design Sistêmico ³	Elementos integrativos dos processos de desenvolvimento de embalagens ⁴
Criação de valor (Value)	Foco no ser humano	Diagnóstico Holístico	Integração com o desenvolvimento do produto
Fluxo de Valor (Value Stream)	Relações geram o sistema	Definição de problemas e oportunidades para a mudança	Desenvolvimento integrado dos níveis do sistema de embalagem
Fluxo Contínuo (Flow)	Transformação de resíduos em recursos	Projeto sistêmico	Funcionalidade cruzada do processo
Produção Puxada (Pull)	Auto-regulação do sistema	Estudo dos resultados	Envolvimento de atores externos da cadeia de suprimentos
Perfeição (Perfection)	Ações locais	Implementação e avaliação	
		Análise dos resultados e feedback	
Referências:			
¹ WOMACK ET AL. (1990)			
² BARBERO; TOSO (2010); JONES (2014); BARBERO (2017); BATTISTONI; NOHRA; BARBERO (2019); CESCHIN; GAZIULUSOY (2019).			
³ BATTISTONI; NOHRA; BARBERO (2019)			
⁴ MOLINA-BESCH; PÅLSSON (2014)			

Fonte: a autora

4.4 DEMONSTRAÇÃO

A concepção do *framework* de Sistema de Embalagem e do método de Design de Sistema de Embalagem ocorreram de forma paralela ao estudo e análise das empresas selecionadas. As informações de partida para o *framework* foram as descrições conceituais de um SE e os esboços de Cabral e Cabral (2010) e de Sastre et al. (2019).

As visitas técnicas às empresas permitiram esboçar o mapa dos setores mais frequentemente envolvidos com os diferentes níveis de embalagens utilizadas para a proteção e promoção do produto. Também foi possível observar embalagens de insumos e componentes utilizados ao longo do ciclo de vida de fabricação do produto. Para fins de elaboração do *framework*, delimitou-se que o espaço de investigação abrangeria desde a etapa de envase do produto até a etapa de pós-uso. Cada etapa percorrida gerou novas percepções sobre as interações que ocorrem no SE, e conforme foi-se desenvolvendo o *framework*, este foi sendo aplicado nas indústrias selecionadas, avaliado pelos envolvidos nos processos e por 2 especialistas, e adaptado pela autora até se chegar no modelo final. Este ciclo se repetiu algumas vezes, gerando 5 representações visuais distintas antes da finalização do *framework* proposto. Este modelo de construção dos artefatos respeita os princípios da metodologia Design Science Research, que propõe um ciclo iterativo que envolve concepção, desenvolvimento, avaliação e refinamento do artefato.

Assim, foi possível certificar se os artefatos atendiam às necessidades dos usuários e aprimorá-los ao longo do tempo. Identificou-se que os usuários do *framework* podem ser os colaboradores de diversos setores das empresas fabricantes de produtos, que tenham contato com embalagens. Sejam eles dos setores produtivos, administrativos ou gerenciais, os colaboradores podem se beneficiar com a ferramenta, visto que ela fornece uma visão sistêmica sobre os processos, podendo gerar insights e facilitar a resolução de problemas. Concomitantemente, foi possível implementar algumas alterações nos processos das empresas, a partir das oportunidades de melhorias que foram observadas ao longo da aplicação do método DSE nos casos analisados.

4.5 AVALIAÇÃO

A avaliação consistiu na análise dos resultados obtidos ao longo do estudo, tanto nas pesquisas exploratórias e bibliográficas, como no desenvolvimento das ferramentas e suas aplicações nas empresas analisadas. Ao passo que o estudo foi evoluindo, algumas

oportunidades de melhoria latentes nos casos foram implementadas e avaliadas, de forma a gerar novos *insights* para a evolução do método em aplicações futuras. De forma geral, ambas empresas obtiveram redução de desperdícios e impacto ambiental com a implementação do método proposto, corroborando com a hipótese de que um projeto eficiente de SE nas empresas pode resultar em redução de custos e impacto ambiental em diversas etapas dos processos.

4.6 COMUNICAÇÃO

Ao longo do estudo e da aplicação nos casos foram gerados diversos documentos, tais como: tabelas, infográficos, figuras, fotografias, anotações, fluxos, dentre outros, que foram sendo organizados em forma de relatórios para apresentação às equipes envolvidas nas empresas analisadas. Os documentos gerados foram fornecidos em forma de arquivos digitais para as equipes poderem continuar com o processo de implantação das melhorias mesmo após o encerramento deste estudo, e também serviram como base para a elaboração da presente dissertação. Entretanto, estes documentos contém dados sigilosos das empresas, não podendo ser compartilhados ou divulgados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta o resultado do desenvolvimento do *framework* do Sistema de Embalagem e do método de Design de Sistema de Embalagem, assim como sua aplicação nas 2 empresas e as descobertas acerca da aplicabilidade deste estudo.

6. IMPLICAÇÕES PRÁTICAS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo foi concebido a partir das experiências teórico-prática da autora através de um aprofundamento na literatura, de experiências profissionais em indústrias de diversos segmentos e da aplicação do estudo sobre o Sistema de Embalagem em 2 indústrias. Desta forma, foram desenvolvidos 3 produtos ao longo do estudo: a) uma descrição conceitual de um Sistema de Embalagem; b) uma representação gráfica do Sistema de Embalagem; c) um método de Design de Sistema de Embalagem em empresas fabricantes de produtos.

Respondendo à questão de pesquisa: “como minimizar custos e impactos ambientais causados por embalagens, acessórios e seus componentes, considerando uma perspectiva sistêmica de uma empresa?” O *framework* proposto contribuiu para tornar facilitar a compreensão do que é um Sistema de Embalagem, qual é a relação entre os processos, as embalagens e componentes, bem como os sistemas convergentes dos fornecedores de insumos, as etapas do ciclo de vida e os resíduos gerados durante cada etapa na integração entre a embalagem e o produto. Da mesma forma, o desenvolvimento de um método para auxiliar na análise do SE permitiu facilitar a identificação das oportunidades de melhorias, sugerindo ferramentas para adaptar as análises de acordo com o contexto.

Entende-se que este estudo incentiva uma visão sistêmica sobre os processos de embalagem, sendo uma ferramenta inicial para a análise de desperdícios que possam estar ocorrendo dentro de empresas fabricantes de produtos e/ou empresas de envase. Demais ferramentas de apoio, métricas e indicadores para avaliação das melhorias implementadas, setores e stakeholders a serem analisados ao longo do estudo devem ser personalizados de acordo com os tipos de produtos, processos e contexto da empresa. Isso porque buscou-se desenvolver o *framework* e o método de forma que fossem aplicáveis em empresas de diversos segmentos e independente de suas características específicas.

A organização do SE influencia diretamente o desempenho econômico e ambiental da empresa. No entanto, os modelos e métodos atuais usados para apoiar a seleção de embalagens nas indústrias, raramente consideram ambas essas dimensões. Além disso, eles geralmente não contemplam os requisitos da cadeia de suprimentos, nem mesmo dos processos internos da empresa, visto que os sistemas de montagem dos produtos e os níveis de embalagem são projetados separadamente, e não como um conjunto sistêmico, levando a desperdícios de recursos e geração de resíduos — fatos que foram discutidos na revisão de literatura e observados na prática dos estudos de caso.

As embalagens deveriam ser analisadas como elementos-chave nos processos produtivos e logísticos, visto que acompanham o produto desde o ponto de envase até o ponto de consumo. Ao longo do estudo, foi possível observar que, além da melhor organização dos processos e da redução de custos, a identificação dos desperdícios de recursos que emergem ao longo do mapeamento do SE podem orientar a empresa à busca incessante por melhorias incrementais e contínuas nos processos organizacionais de forma sistemática e constante, permitindo atingir níveis cada vez mais altos de eficiência e qualidade. Por exemplo, na indústria de laticínios foi possível identificar uma oportunidade de aumentar a eficiência logística ao entregar até 20% mais produto no mesmo volume de transporte. Na indústria de tapetes, a partir da reorganização do SE foi estimada uma redução de até 61% de custos e 66% de matéria-prima de embalagem utilizada nos processos. Essas melhorias foram identificadas em uma primeira aplicação do estudo nestas empresas, e poderiam ser ampliadas através de reavaliações constantes do SE, aplicando o método e métricas definidas para aumentar a eficiência dos setores e *stakeholders* envolvidos nos processos.

As mudanças propostas podem variar desde a reorganização física das estações de trabalho até a implementação de novas tecnologias para agilizar o processo de embalagem. Monitorar e medir o impacto dessas mudanças por meio de indicadores-chave de desempenho permite uma avaliação objetiva dos resultados alcançados. Ademais, engajar toda a equipe de embalagem nesse processo de avaliação possibilita a coleta de insights valiosos de quem está diretamente envolvido no fluxo de trabalho. Reconhecer as contribuições individuais e estimular a apresentação de ideias de aprimoramento cria um ambiente propício para a inovação e evolução dos processos de embalagem. Além disso, aprender com os erros e fracassos é uma parte intrínseca desse processo, permitindo que a empresa cresça a partir das lições extraídas das experiências anteriores.

Sob o ponto de vista de sustentabilidade, entende-se que bons projetos devem substituir ou minimizar o acúmulo de níveis de embalagens ao longo dos processos logísticos, visto que o tempo de vida útil destas costuma ser curto e nem sempre são produzidas de forma sustentável (MAHMOUDI; PARVIZIOMRAN, 2020b). Essa abordagem não apenas tem implicações diretas no desempenho ambiental, incluindo o manuseio de resíduos e as taxas de enchimento no transporte, mas também destaca a necessidade de uma visão sistêmica em Sistemas de Embalagens (SE) com diferentes níveis. Dentro desse contexto, as funções desempenhadas pelas embalagens devem ser consideradas de maneira integrada, reconhecendo que é o conjunto do sistema que, por exemplo, deve garantir a proteção adequada do produto, garantindo a proteção desejada ao produto, sem consumo excessivo de material. Portanto, ao aprimorar a

embalagem secundária, é possível reduzir a necessidade de proteção na embalagem primária e vice-versa, adaptando-se às exigências específicas do contexto. Nessa perspectiva, recomenda-se a seleção de matérias-primas de embalagem adequadas para a reutilização das embalagens secundárias, terciárias e de níveis superiores, ou que tenham valor de reciclagem para o contexto local onde a empresa está inserida, promovendo assim a circularidade e estendendo a vida útil desses materiais.

Desta forma, foi possível perceber que em SE muitas vezes as oportunidades para redução de custos e impactos ambientais estão interligadas. Por isso, recomenda-se repensar os projetos de embalagens de um ou mais níveis (primário, secundário, terciário etc.); ajustar processos de envase e manuseio das mercadorias; avaliar a troca de materiais, processos de produção e fornecedores de embalagens; readequar os sistemas de distribuição e logística; eliminar acessórios de embalagens; estudar, junto aos fornecedores de insumos, possibilidades de redução de resíduos nos fluxos convergentes; por fim, destinar adequadamente os resíduos pré-consumo, de preferência buscando reinseri-los no ciclo. Entender que a embalagem está inserida em um contexto complexo e sistêmico, onde muitas variáveis estão envolvidas e muitos setores da empresa e *stakeholders* externos podem e devem ter responsabilidade em um caminho voltado para o aumento da eficiência, a redução de custos e, principalmente, de impactos ambientais.

Durante o estudo percebeu-se que, muitas vezes, as oportunidades de redução de custos e impactos ambientais também estão diretamente ligadas com desperdícios que acontecem ao longo dos processos, sendo que ajustes simples podem resultar em impactos positivos. Por isso, foram utilizados os sete desperdícios do *Lean Manufacturing* (superprodução, processamento excessivo, espera, movimento, transporte, defeitos e inventário) como base para identificar as oportunidades de melhoria nas empresas analisadas. Na aplicação do estudo na indústria de laticínios, observou-se desperdícios relacionados principalmente a processamento excessivo, transporte e defeitos. Na indústria de tapetes, observou-se principalmente o processamento excessivo, espera, movimento e inventário. No primeiro caso, a empresa optou por não dar andamento ao estudo; no segundo caso, não houve tempo hábil para a implantação de todas as alterações propostas no período de realização deste estudo, o que acabou limitando os resultados. Entretanto, acredita-se que as empresas podem ter benefícios significativos ao incentivar nos colaboradores e *stakeholders* o olhar sistêmico sobre o SE, reavaliando o DSE e os desperdícios frequentemente.

Em suma, este estudo evidenciou a importância de mapear e organizar criteriosamente os Sistemas de Embalagens nas indústrias, visando o aprimoramento da eficiência dos

processos, a redução de custos e a mitigação dos impactos ambientais. A análise profunda realizada ao longo deste estudo confirma que a implementação de SE bem estruturados não só contribui para a otimização operacional, resultando em eficiência e economia de recursos financeiros, mas também pode promover práticas sustentáveis visto que destaca os impactos de todo o conjunto, e não apenas ações pontuais. Portanto, este estudo reforça a tese de que investir na organização e mapeamento eficaz dos Sistemas de Embalagens representa não apenas uma estratégia operacional, mas também um compromisso com a sustentabilidade e a eficácia global das práticas industriais. Por fim, recomenda-se como estudos futuros:

I) o desenvolvimento de métricas para avaliação da redução de custos e impactos ambientais nas empresas que aplicarem o método de DSE;

II) aplicação do DSE em indústrias de outros portes e segmentos;

III) avaliar a integração do *framework* e do método de DSE com outras ferramentas de apoio, oriundas de diversas áreas de conhecimento, tais como: *Lean manufacturing*, Design de Sistemas, Design de Serviços, Engenharia de Produção, Economia Circular, dentre outros.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. ABRE. **Embalagem e sustentabilidade: desafios e orientações no contexto da economia circular**. 1ed. São Paulo: CETESB, 2016.

BARABASI, A.-L. **The architecture of complexity**. p. 3–3, 2005.

BARBERO, S. **Systemic Design Method Guide for Policymaking: a Circular Europe on the Way**. Torino: [s.n.]. Disponível em: <<http://porto.polito.it/2685125/>>.

BARBERO, S.; TOSO, D. **Systemic design of a productive chain: Reusing coffee waste as an input to agricultural production**. *Environmental Quality Management*, p. 67–77, 2010.

BATTISTONI, C.; NOHRA, C. G.; BARBERO, S. **A systemic design method to approach future complex scenarios and research towards sustainability: A holistic diagnosis tool**. *Sustainability (Switzerland)*, v. 11, n. 16, 1 ago. 2019.

BUCCI, D. Z.; FORCELLINI, F. A. **Sustainable packaging design model**. *Complex Systems Concurrent Engineering: Collaboration, Technology Innovation and Sustainability*, v. 55, n. 47, p. 363–370, 2007.

CABRAL, A. C. D.; CABRAL, A. C. B. **Gerenciamento sistêmico de embalagem em indústrias fabricantes de bens de consumo**. São Carlos, SP: [s.n.]. Disponível em: <https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_130_833_15679.pdf>.

CARVALHO, M. A. **Engenharia de embalagens: uma abordagem técnica do desenvolvimento de projetos de embalagem**. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2008.

CASAREJOS, F. et al. **Rethinking packaging production and consumption vis-à-vis circular economy: A case study of compostable cassava starch-based material**. *Journal of Cleaner Production*, v. 201, p. 1019–1028, 2018.

CESCHIN, F.; GAZIULUSOY, İ. **Design for Sustainability**. London: Routledge, 2019.
DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JUNIOR, J. A. V. A. **Design Science Research**. 1. ed. Porto Alegre: [s.n.], 2015.

DRESCH, A.; PACHECO LACERDA, D.; CAUCHICK-MIGUEL, P. A. **Design science in operations management: conceptual foundations and literature analysis**. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v. 16, n. 2, p. 333–346, 2019.

SELVIARIDIS, K.; MATOPOULOS, A.; SZAMOSI, L.; PSYCHOGIOS, A. Reverse resource exchanges in service supply chains: the case of returnable transport packaging. **An International Journal**, v. 21, n. 3, p. 1–25, 2016.

JONES, P. H. **Systemic Design Principles for Complex Social Systems**. Translational Systems Science Series. [s.l.] Springer Verlag, 2014. v. 1p. 91–128.

JANG, Y. C. et al. Recycling and management practices of plastic packaging waste towards a circular economy in South Korea. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 158, n. February, 2020.

MACHADO, M. A.; FORMIGA, E. DE L.; REIS FILHO, P. DE O. **Aplicação da metodologia Design Science Research na indústria do carnaval: a gestão dos métodos e processos de criação coletiva na fábrica do carnaval sob a ótica do design**. 9º CIDI e 9º CONGIC ed. Belo Horizonte, Brazil: Sociedade Brasileira de Design da Informação - SBDI, 2019.

MAHMOUDI, M.; PARVIZIOMRAN, I. Reusable packaging in supply chains: A review of environmental and economic impacts, logistics system designs, and operations management **International Journal of Production Economics** Elsevier B.V. 2020a.

MOLINA-BESCH, K.; PÅLSSON, H. **Packaging for eco-efficient supply chains: Why logistics should get involved in the packaging development process**. *Transport and Sustainability*, v. 6, p. 137–163, 2014.

MOURA, R. A.; BANZATO, J. M. **Embalagem, unitização e containerização**. 2. ed. São Paulo: IMAM, 1997.

MUNIZ, E. C. L.; POSSAMAI, O. **Complexidade de novos produtos: um modelo dinâmico para análise da perda de produtividade em sistemas produtivos**. *Gestão & Produção*, v. 26, n. 1, 2019.

NOSVASKI. et al. **APLICAÇÃO DE MATRIZ GUT E GRÁFICO DE PARETO PARA PRIORIZAÇÃO DE PERDAS NO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA PANIFICADORA**. *International Journal of Development Research*, v. 10, n. 11, p. 42203–42207, 2020.

OKE, S. A.; FAGBOLAGUN, I. O. **The Optimization of Packaging System Process Parameters Using Taguchi Method**. *International Journal of Industrial Engineering and Engineering Management (IJIEEM)*, v. 2, 2020.

PÅLSSON, H.; FINNSGÅRD, C.; WÄNSTRÖM, C. **Selection of packaging systems in supply chains from a sustainability perspective: The case of volvo**. *Packaging Technology and Science*, v. 26, n. 5, p. 289–310, ago. 2013.

PÅLSSON, H.; HELLSTRÖM, D. **Packaging logistics in supply chain practice – current state, trade-offs and improvement potential.** *International Journal of Logistics Research and Applications*, v. 19, n. 5, p. 351–368, 2 set. 2016.

PEFFERS, K. et al. A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, v. 24, n. 3, p. 45–77, dez. 2007.

ROBERTSON, K., GARNHAM, M., & SYMES, W. **Life cycle carbon footprint of the packaging and transport of New Zealand kiwifruit.** *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19 (10), 1693–1704, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0775-5>

SASTRE, R. M. et al. **RADAR DA EMBALAGEM: UMA REFERÊNCIA PRELIMINAR PARA O PROJETO DE EMBALAGEM EM UM CONTEXTO SISTÊMICO E DE COMPLEXIDADE.** Blucher Engineering Proceedings. *Anais...*São Paulo: Editora Blucher, nov. 2019.

SASTRE, R. M. et al. **PACKAGING RADAR: A PRELIMINARY REFERENCE for PACKAGING DESIGN in A SYSTEMIC and COMPLEX CONTEXT.** Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference. Cambridge University Press, 2020.

SHINGO, Shigeo. **A study of the Toyota Production System from an industrial engineering viewpoint.** Cambridge, MA: Productivity Press, 1989.

VINODH, S.; BEN RUBEN, R. Lean Manufacturing: Recent Trends, Research & Development and Education Perspectives. Em: **Research Advances in Industrial Engineering.** Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 1–16.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. Lean Thinking—Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*, v. 48, n. 11, p. 1148, 18 dez. 1997.

WOMACK, J.; P JONES, D. T.; ROOS, D. **The machine that changed the world.** [s.l: s.n.].