

APLICAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA NO PROCESSO DE EMBALAGEM CKD (COMPLETELY KNOCKED DOWN) ATRAVÉS DA REUTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

Bruna de Almeida Paiva¹
James de Oliveira Ferreira²
Webert Balieiro Gomes³
Ricardo Augusto Lunière Fonseca⁴

RESUMO: Este estudo analisou a aplicação da logística reversa no processo de embalagem Completely Knocked Down (CKD), com foco na reutilização de estruturas metálicas empregadas no acondicionamento e transporte de peças automotivas. A pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão integrativa da literatura, com abordagem qualitativa e caráter exploratório e descritivo. Foram examinados estudos sobre logística reversa, economia circular, embalagens industriais retornáveis, itens de transporte reutilizáveis, rastreamento, custos e gestão de fluxos no setor automotivo. Os resultados indicaram que a reutilização depende da organização de etapas como identificação, inspeção, classificação, armazenamento, consolidação, transporte de retorno, reparo e liberação para novo carregamento. Também foram identificados fatores que interferem na implantação, entre eles distância, taxa de devolução, tempo de ciclo, disponibilidade, avarias, espaço de armazenagem, custos de manutenção e controle das movimentações. A comparação entre o fluxo de descarte e o sistema reverso mostrou que o reaproveitamento pode reduzir a aquisição de novas estruturas e postergar o encaminhamento do metal para reciclagem, desde que haja retorno regular e acompanhamento dos ciclos. Foram propostos indicadores relacionados à taxa de retorno, ao número de utilizações, ao tempo de devolução, às perdas, aos reparos, ao custo por ciclo e à quantidade de resíduos evitada. Conclui-se que a logística reversa pode viabilizar a permanência das estruturas metálicas no processo CKD, desde que seja integrada ao planejamento operacional e à gestão das informações.

Palavras-chave: Logística Reversa. Embalagem CKD. Estruturas Metálicas. Reutilização. Indústria Automotiva.

¹ Tecnóloga em Gestão da Qualidade - Faculdade Metropolitana de Manaus - FAMETRO. Discente da Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Controle e Qualidade nos Processos pela Faculdade Metropolitana de Manaus - FAMETRO.

² Engenharia de Controle e Automação - Faculdade UNINORTE. Discente da Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Controle e Qualidade nos Processos pela Faculdade Metropolitana de Manaus - FAMETRO.

³ Bacharel em Administração com Habilitação em Gestão de Negócios - Centro Universitário Nilton Lins. Discente da Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Controle e Qualidade nos Processos pela Faculdade Metropolitana de Manaus - FAMETRO.

⁴ Professor Orientador. Doutorando do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Mestrado acadêmico em Administração pela Universidade Federal de Viçosa (UFV); Auditor (de carreira) da Universidade do Estado do Amazonas (UEA); Orientador do artigo. Formado em Administração de Empresas.

ABSTRACT: This study analyzed the application of reverse logistics in the Completely Knocked Down (CKD) packaging process, focusing on the reuse of metal structures used for the packaging and transportation of automotive parts. The research was conducted through an integrative literature review, using a qualitative, exploratory, and descriptive approach. Studies on reverse logistics, circular economy, returnable industrial packaging, reusable transport items, traceability, costs, and flow management in the automotive sector were examined. The results indicated that reuse depends on the organization of stages such as identification, inspection, classification, temporary storage, load consolidation, return transportation, repair, and release for a new loading cycle. Factors affecting implementation were also identified, including distance, return rate, cycle time, availability, damage, storage space, maintenance costs, and movement control. The comparison between disposal and reverse flows showed that reuse may reduce the acquisition of new structures and delay the recycling of metal, provided that regular returns and cycle monitoring are ensured. Indicators related to return rate, number of uses, return time, losses, repairs, cost per cycle, and avoided waste were proposed. It was concluded that reverse logistics can support the continued use of metal structures in CKD operations when integrated into operational planning and information management.

Keywords: Reverse Logistics. CKD packaging. Metal Structures. Reuse. Automotive Industry.

I INTRODUÇÃO

A logística integra atividades de planejamento, movimentação, armazenagem e controle dos fluxos de materiais e informações ao longo da cadeia de suprimentos. No setor automotivo, essas atividades envolvem fornecedores, operadores logísticos, montadoras e unidades de montagem localizadas em diferentes países. Nesse contexto, a embalagem não se limita à

2

proteção das peças, pois interfere no transporte, no armazenamento, no manuseio, na ocupação dos contêineres, na integridade dos componentes e nos custos do processo (Aguirre Rodríguez et al., 2024).

Uma das modalidades empregadas pela indústria automotiva é o sistema *Completely Knocked Down* (CKD), no qual conjuntos de peças e componentes são enviados desmontados para montagem no país ou na unidade de destino. Esse modelo exige embalagens capazes de acondicionar peças com diferentes dimensões, pesos e condições de manuseio. Dependendo do componente transportado, são utilizadas caixas, pallets, racks e estruturas metálicas projetadas para impedir deslocamentos, impactos, deformações e danos durante o transporte.

Durante parte das operações CKD, as estruturas utilizadas no acondicionamento podem ser descartadas, armazenadas sem controle ou destinadas como sucata após o recebimento das peças. Essas práticas provocam consumo de matérias-primas, ocupação de áreas de armazenagem, geração de resíduos e necessidade de aquisição de novas embalagens. Silva e

Pålsson (2022), ao examinarem 98 artigos sobre embalagens industriais, identificaram que as decisões relacionadas a essas embalagens afetam a eficiência da cadeia, os custos, o impacto ambiental e o atendimento às exigências regulatórias. Os autores verificaram que a reutilização constitui uma das estratégias adotadas para inserir a embalagem industrial em ciclos de uso sucessivos.

A substituição do fluxo linear de aquisição, utilização e descarte por um sistema de retorno permite que as estruturas metálicas sejam recolhidas, inspecionadas, reparadas e encaminhadas para novo ciclo de utilização. Essa organização corresponde à logística reversa, compreendida como o conjunto de processos destinados ao retorno de produtos, materiais e embalagens aos ciclos produtivos. No Brasil, essa abordagem encontra respaldo na Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305/2010, que estabelece princípios como prevenção, redução da geração de resíduos, reutilização, responsabilidade compartilhada e destinação dos materiais (Brasil, 2010).

Aguirre Rodríguez et al. (2024) explicam que a operacionalização da economia circular pode ocorrer por práticas de logística reversa, como reutilização, reciclagem, recuperação de materiais e remanufatura. No caso das embalagens CKD, a reutilização das estruturas metálicas preserva sua função de acondicionamento e posterga o descarte do material. Dessa maneira, a estrutura deixa de ser tratada como resíduo após uma única operação e passa a ser administrada como item retornável de transporte.

3

Os itens retornáveis de transporte incluem pallets, racks, caixas, contêineres e suportes que circulam entre os agentes de uma cadeia. Katsanakis et al. (2023) destacam que a gestão desses itens deve abranger aquisição, utilização, retorno, manutenção, reparo, reutilização e destinação ao final da vida útil. Para que esse sistema funcione, torna-se necessário definir responsabilidades, rotas de retorno, pontos de armazenamento, critérios de inspeção e formas de controle dos ciclos realizados por cada estrutura.

Guzmán, Andrés e Poler (2026) observam que a gestão de contêineres reutilizáveis nas cadeias automotivas Just-in-Time envolve variações de demanda, estoque de recipientes vazios, custos de movimentação e risco de falta de embalagens. Essa condição indica que a simples existência de estruturas com capacidade de reutilização não assegura seu retorno. O processo depende de planejamento, informações sobre disponibilidade, definição das rotas, controle do tempo de ciclo e integração entre expedição, transporte, recebimento e armazenagem.

Apesar da produção científica sobre embalagens industriais retornáveis e cadeias automotivas, foram identificados poucos trabalhos que examinam conjuntamente o processo CKD, a logística reversa e a reutilização de estruturas metálicas. Parte das pesquisas concentra-se em embalagens reutilizáveis de modo geral, enquanto outra parte trata das cadeias de retorno sem analisar as particularidades do acondicionamento de peças desmontadas. Essa lacuna permite investigar como a logística reversa pode ser aplicada às estruturas metálicas utilizadas em operações CKD e quais resultados podem ser medidos no processo.

Diante desse contexto, estabelece-se o seguinte problema de pesquisa: como a aplicação da logística reversa no processo de embalagem CKD pode viabilizar a reutilização de estruturas metálicas e contribuir para a redução do descarte, do consumo de materiais e dos custos associados à aquisição de novas embalagens?

A pesquisa justifica-se pela necessidade de analisar um processo que articula logística, gestão de embalagens, uso de recursos e controle de custos. No âmbito acadêmico, o estudo contribui para a discussão sobre logística reversa aplicada às embalagens industriais utilizadas no setor automotivo. No âmbito profissional, pode fornecer critérios para organizar o retorno, a inspeção, a manutenção e a reutilização das estruturas. No âmbito ambiental, a investigação aborda a extensão da vida útil dos materiais e a redução do envio de estruturas metálicas para descarte ou reciclagem antes do esgotamento de sua capacidade de uso.

4

O objetivo geral deste estudo é analisar a aplicação da logística reversa no processo de embalagem CKD por meio da reutilização de estruturas metálicas.

Como objetivos específicos, pretende-se:

- a) descrever o fluxo de utilização e destinação das estruturas metálicas empregadas nas embalagens CKD;
- b) identificar as etapas necessárias para coleta, retorno, inspeção, reparo, armazenamento e reutilização dessas estruturas;
- c) verificar os fatores que interferem na implantação da logística reversa no processo analisado;
- d) comparar o fluxo de descarte ou aquisição de novas estruturas com a alternativa de reutilização;
- e) propor indicadores para acompanhar taxa de retorno, número de ciclos, perdas, tempo de retorno, manutenção, geração de resíduos e custos do processo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Logística reversa e organização dos fluxos de retorno

A logística reversa compreende o planejamento, a execução e o controle do deslocamento de produtos, embalagens, componentes e materiais desde o ponto de consumo ou de recebimento até locais nos quais possam ser reaproveitados, reparados, remanufaturados, reciclados ou destinados de acordo com suas características. Diferentemente da movimentação direta, que conduz os bens do fornecedor ao cliente, o percurso inverso exige a criação de canais de recolhimento, triagem, transporte, armazenagem e reintrodução nos processos produtivos. Sua aplicação não se resume ao tratamento de resíduos, pois inclui a recuperação de itens que ainda conservam condições de uso e podem retornar à cadeia de suprimentos (Aguirre Rodríguez et al., 2024).

A constituição de um fluxo reverso depende da integração entre agentes que executam atividades distintas. Fornecedores, montadoras, operadores logísticos, transportadores e unidades receptoras precisam compartilhar informações sobre quantidade, localização, estado de conservação e disponibilidade dos itens retornáveis. Quando essa coordenação não ocorre, recipientes e suportes podem permanecer retidos em determinados pontos, enquanto outras unidades adquirem novos materiais para suprir a falta temporária. Assim, o retorno deve ser administrado como parte do abastecimento, e não como uma operação isolada realizada após o uso (Pinho Santos; Proença, 2022).

Na cadeia automotiva, a movimentação inversa apresenta relação com os ritmos de produção, os cronogramas de expedição e a disponibilidade de recipientes para acondicionamento. Uma estrutura que não retorna no prazo esperado deixa de atender à próxima remessa, podendo provocar falta de embalagens, interrupção do carregamento ou compra emergencial de unidades adicionais. O gerenciamento precisa considerar o tempo decorrido entre expedição, recebimento, descarregamento, separação, devolução e disponibilização para novo ciclo (Guzmán; Andrés; Poler, 2026).

2.2 Política nacional de resíduos sólidos e responsabilidade compartilhada

No Brasil, a Lei nº 12.305/2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos e estabeleceu princípios relacionados à prevenção, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação dos resíduos. O dispositivo legal define a logística reversa como instrumento

destinado à coleta e à restituição de materiais ao setor empresarial, para reaproveitamento em ciclos produtivos ou encaminhamento compatível com a legislação. Essa concepção reconhece que o encerramento do uso por um agente não representa, necessariamente, o fim da utilidade do bem ou de seus componentes (Brasil, 2010).

A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida distribui atribuições entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana. No contexto empresarial, essa diretriz exige que as decisões sobre materiais e recipientes considerem as fases de obtenção, fabricação, distribuição, utilização e pós-uso. Para embalagens industriais, a aplicação desse princípio pode ocorrer mediante sistemas de recolhimento, contratos de devolução, identificação patrimonial e reaproveitamento em operações posteriores (Brasil, 2010).

3 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, desenvolvida com abordagem qualitativa e finalidade exploratória e descritiva. A revisão integrativa permite reunir, organizar e sintetizar resultados de pesquisas sobre uma questão delimitada, possibilitando a identificação de conceitos, procedimentos, convergências, diferenças e lacunas existentes na produção científica. Esse método mostra-se compatível com o objetivo de analisar a aplicação da logística reversa no processo de embalagem Completely Knocked Down (CKD), com ênfase na reutilização de estruturas metálicas (Souza; Silva; Carvalho, 2010).

Quanto aos objetivos, a pesquisa é exploratória porque busca ampliar a compreensão sobre a relação entre logística reversa, embalagens industriais retornáveis e operações CKD. Também possui caráter descritivo, pois procura apresentar as etapas necessárias ao recolhimento, retorno, inspeção, reparo, armazenamento e reaproveitamento das estruturas. Conforme Gil (2022), estudos exploratórios favorecem a delimitação de problemas ainda pouco sistematizados, enquanto os descritivos permitem reconhecer e apresentar características, processos e relações vinculadas ao fenômeno investigado.

A abordagem qualitativa foi adotada porque o trabalho não pretende realizar testes estatísticos ou mensurar relações causais. A análise concentra-se na interpretação das contribuições apresentadas pelos autores, considerando conceitos, modelos operacionais, dificuldades de implantação, critérios econômicos, condições ambientais e mecanismos de

controle. Nessa perspectiva, os documentos selecionados são examinados conforme seu conteúdo e sua relação com o problema de pesquisa, sem reduzir os resultados a frequências numéricas isoladas (Marconi; Lakatos, 2021).

A questão orientadora da revisão foi definida da seguinte forma: como a aplicação da logística reversa no processo de embalagem CKD pode viabilizar a reutilização de estruturas metálicas e contribuir para a redução do descarte, do consumo de materiais e dos custos relacionados à aquisição de novas embalagens? A formulação dessa pergunta orientou a escolha dos descritores, das fontes consultadas, dos critérios de seleção e das categorias utilizadas na interpretação dos estudos.

O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO e Google Acadêmico. Também foram consultados documentos oficiais relacionados à Política Nacional de Resíduos Sólidos e publicações institucionais pertinentes às embalagens utilizadas em operações CKD. A inclusão de bases multidisciplinares decorreu da relação do tema com logística, engenharia de produção, gestão da cadeia de suprimentos, sustentabilidade, economia circular e indústria automotiva.

As buscas utilizaram combinações de termos em português e inglês. Em português, foram empregados os descritores “logística reversa”, “embalagem CKD”, “estruturas metálicas reutilizáveis”, “embalagens industriais retornáveis”, “itens retornáveis de transporte”, “indústria automotiva” e “economia circular”. Em inglês, utilizaram-se “reverse logistics”, “CKD packaging”, “reusable metal structures”, “reusable industrial packaging”, “returnable transport items”, “automotive supply chain” e “circular economy”. Os termos foram combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR, conforme os recursos disponíveis em cada base.

Foram considerados artigos científicos, revisões de literatura, estudos aplicados, documentos legais e publicações institucionais divulgados entre 2020 e 2026. O recorte temporal foi definido para reunir trabalhos relacionados às práticas recentes de circularidade, rastreabilidade, gestão de recipientes retornáveis e organização das cadeias automotivas. A Lei nº 12.305/2010 foi mantida por constituir o marco normativo brasileiro da Política Nacional de Resíduos Sólidos, apesar de sua publicação anteceder o intervalo estabelecido para os estudos científicos.

Os critérios de inclusão compreenderam publicações disponíveis em texto completo, redigidas em português ou inglês e relacionadas a pelo menos um dos seguintes eixos: logística reversa; reutilização de embalagens; itens retornáveis de transporte; recipientes empregados no setor automotivo; gestão do ciclo de vida de embalagens; rastreamento; custos de retorno; economia circular; ou operações CKD. Também foram aceitos estudos que apresentassem modelos, indicadores ou fatores capazes de orientar a análise das estruturas metálicas.

Foram excluídas publicações duplicadas, textos sem identificação de autoria, materiais sem descrição metodológica, notícias, postagens em blogs, trabalhos voltados apenas a embalagens de consumo doméstico e estudos que mencionassem economia circular sem relação com embalagens, transporte ou retorno de materiais. Pesquisas sobre resíduos automotivos também foram retiradas quando tratavam exclusivamente de veículos em fim de vida, baterias, pneus ou peças descartadas, sem conexão com o acondicionamento e a movimentação de componentes.

A seleção ocorreu em etapas. Inicialmente, foram examinados títulos, palavras-chave e resumos para verificar a aderência ao objeto. Na sequência, os textos potencialmente relacionados foram lidos integralmente. Após essa leitura, permaneceram no conjunto de análise somente as publicações que apresentavam informações aplicáveis ao problema e aos objetivos estabelecidos. Esse procedimento permitiu separar estudos gerais sobre sustentabilidade daqueles que abordavam diretamente embalagens industriais, retorno, reutilização ou cadeias automotivas.

Para organizar as informações, foi utilizada uma matriz de extração elaborada em planilha eletrônica. O instrumento reuniu os seguintes campos: autor e ano; título; país ou contexto da investigação; objetivo; tipo de estudo; setor analisado; modalidade de embalagem; etapas do fluxo reverso; fatores de implantação; custos considerados; indicadores sugeridos; resultados apresentados; limitações; e contribuição para esta pesquisa. A sistematização permitiu comparar as publicações por critérios comuns e reduzir a dispersão das informações.

Os dados extraídos foram submetidos à análise temática de conteúdo. Esse procedimento compreendeu leitura inicial dos documentos, identificação das unidades relacionadas ao objeto, agrupamento por semelhança e interpretação das categorias formadas. A análise de conteúdo possibilita organizar comunicações e documentos de maneira sistemática, permitindo reconhecer sentidos, relações e padrões presentes no material examinado (Bardin, 2016).

As categorias analíticas foram definidas a partir dos objetivos específicos e ajustadas durante a leitura das fontes. Foram estabelecidos os seguintes eixos: fluxo de utilização e destinação das estruturas; coleta e transporte de retorno; inspeção e classificação; manutenção e reparo; armazenamento; rastreamento; fatores operacionais; custos; geração de resíduos; vida útil; taxa de devolução; número de ciclos; perdas; e tempo de retorno. Essa organização permitiu relacionar cada grupo de resultados às questões examinadas no trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das publicações permitiu organizar os achados em cinco eixos: características das embalagens retornáveis; etapas do fluxo reverso; fatores que interferem na implantação; comparação entre descarte e reutilização; e indicadores de acompanhamento. Os trabalhos examinados abordam embalagens industriais, itens retornáveis de transporte, cadeias automotivas, economia circular, rastreabilidade e custos do ciclo de uso. Embora nem todos tratem diretamente de estruturas metálicas empregadas no sistema Completely Knocked Down (CKD), seus resultados fornecem elementos aplicáveis ao objeto desta pesquisa (Silva; Pålsson, 2022; Katsanakis et al., 2023).

4.1 Caracterização dos estudos analisados

As publicações selecionadas concentram-se no período de 2020 a 2026 e incluem revisões de literatura, modelos de decisão, pesquisas aplicadas e análises de cadeias de retorno. Parte dos autores investiga os efeitos da embalagem sobre custos, transporte e geração de resíduos, enquanto outros examinam rastreamento, taxa de devolução, manutenção e circulação de recipientes entre os participantes da cadeia. Essa diversidade permitiu observar o tema sob perspectivas operacionais, econômicas e ambientais (Coelho et al., 2020; Bradley; Corsini, 2023). O Quadro 1 sintetiza as contribuições utilizadas para interpretar a reutilização das estruturas metálicas no processo CKD.

Quadro 1. Síntese dos estudos analisados

Autor(es) e ano	Objeto analisado	Contribuição para o estudo
Coelho et al. (2020)	Sustentabilidade de embalagens reutilizáveis	Identifica influência do número de ciclos, distância, limpeza, reparo e retorno vazio

Škerlić e Muha (2020)	Embalagens no setor automotivo	Compara alternativas descartáveis, retornáveis e dobráveis com base em custos do ciclo
Garcia-Arca et al. (2021)	Seleção de embalagens industriais	Apresenta critérios para avaliar proteção, logística, custo e características operacionais
Pinho Santos e Proença (2022)	Cadeia reversa automotiva	Discute coordenação entre agentes, devolução e estruturação do percurso inverso
Silva e Pålsson (2022)	Embalagem industrial e circularidade	Demonstra a relação entre acondicionamento, cadeia de suprimentos e uso sucessivo
Sonar et al. (2022)	Cadeia automotiva e economia circular	Relaciona práticas circulares às estratégias de fornecimento e produção
Zhu et al. (2022)	Projeto de embalagem circular	Examina durabilidade, reparação, reutilização e fim da vida útil
Ellsworth-Krebs et al. (2022)	Rastreamento de embalagens reutilizáveis	Defende controle de localização, ciclos, retenções e condições de uso
Bradley e Corsini (2023)	Sustentabilidade de embalagens reutilizáveis	Aponta fatores que alteram os resultados econômicos e ambientais
Katsanakis et al. (2023)	Ciclo de itens retornáveis de transporte	Organiza aquisição, uso, retorno, manutenção, reparo e destinação
Guo et al. (2024)	Estratégias para devolução de itens retornáveis	Analisa atrasos, retenção, incentivos e penalidades
Aguirre Rodríguez et al. (2024)	Logística reversa e economia circular	Relaciona retorno, reutilização, reciclagem e Política Nacional de Resíduos Sólidos
Kudrenko e Hall (2025)	Adoção de embalagens de transporte reutilizáveis	Identifica barreiras organizacionais, financeiras e operacionais
Guzmán, Andrés e Poler (2026)	Contêineres reutilizáveis na indústria automotiva	Analisa demanda, disponibilidade, estoque e risco de falta de recipientes

Fonte: elaborado pelos autores com base nos estudos selecionados (2026).

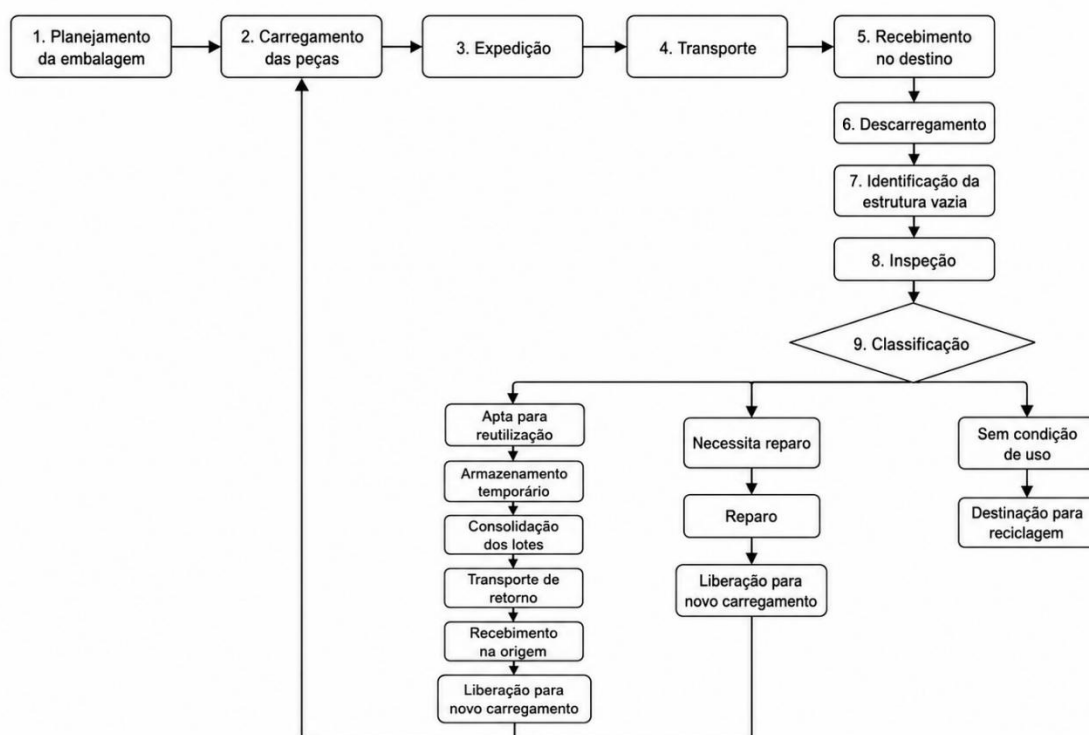
Os estudos indicam que o percurso da embalagem inicia-se antes da expedição, durante a definição do modelo, da capacidade, dos pontos de fixação e da compatibilidade com o componente transportado. Após o carregamento, a estrutura acompanha as peças até a unidade receptora, onde ocorre o descarregamento. A destinação posterior determina se o recipiente será descartado, armazenado sem previsão, vendido como sucata ou devolvido para outra utilização (Garcia-Arca et al., 2021; Katsanakis et al., 2023).

No modelo linear, o acondicionamento encerra sua função depois da entrega. Essa lógica exige que cada nova remessa seja acompanhada pela fabricação ou aquisição de outra unidade.

No sistema reverso, o descarregamento não representa o fim do ciclo. A unidade vazia precisa ser identificada, separada e encaminhada para avaliação. Caso esteja em condições de uso, pode retornar sem intervenção; quando apresenta danos, deve seguir para reparo; se não houver possibilidade de recuperação, o material é retirado e enviado para reciclagem. Essa classificação evita que todas as estruturas recebam a mesma destinação, independentemente do seu estado (Katsanakis et al., 2023).

A comparação dos estudos permitiu elaborar uma proposta de fluxo aplicável ao processo CKD:

Figura 1. Fluxo proposto para reutilização das estruturas metálicas



Fonte: elaborado pelos autores com base em Katsanakis et al. (2023) e Ellsworth-Krebs et al. (2022).

Fonte: elaborado pelos autores com base em Katsanakis et al. (2023) e Ellsworth-Krebs et al. (2022).

O fluxo proposto diferencia a estrutura apta para novo emprego daquela que necessita de manutenção ou retirada. Essa separação deve ocorrer por meio de critérios previamente registrados, como presença de deformações, trincas, corrosão, falhas de solda, ausência de

componentes e alteração nos pontos de apoio. Sem essa avaliação, uma unidade danificada pode retornar ao processo e comprometer a proteção das peças (Zhu et al., 2022).

4.3 Etapas necessárias à implantação da logística reversa

A primeira etapa identificada consiste no levantamento das estruturas em circulação. A organização precisa conhecer quantidade, tipo, dimensões, proprietário, aplicação, localização e condição física. Sem esse inventário, não é possível definir quantas unidades devem retornar, quais estão disponíveis nem quantas precisam ser substituídas. Ellsworth-Krebs et al. (2022) afirmam que a rastreabilidade sustenta a administração de embalagens utilizadas em vários ciclos.

A segunda corresponde à definição das responsabilidades. O remetente deve registrar a saída, enquanto a unidade receptora precisa confirmar o recebimento, separar os itens vazios e solicitar a coleta. O transportador registra a retirada e a entrega no destino estabelecido. Quando essas atribuições não são formalizadas, cada participante pode considerar que a devolução pertence a outro agente, ampliando o tempo de retenção (Pinho Santos; Proença, 2022).

A terceira envolve a criação de padrões para inspeção e reparo. Devem ser definidos defeitos permitidos, danos que exigem intervenção e situações que impedem novo uso. O registro das ocorrências permite acompanhar causas recorrentes e verificar se os problemas decorrem do projeto, do carregamento, do transporte ou do descarregamento. Zhu et al. (2022) relacionam a extensão da vida útil à existência de condições de manutenção e substituição de partes.

A quarta refere-se ao transporte vazio. Como racks rígidos podem ocupar o mesmo espaço utilizado na ida, o retorno precisa ser consolidado em lotes ou integrado a veículos que fariam o trajeto sem carga. Estruturas desmontáveis ou empilháveis permitem transportar maior quantidade por viagem, porém demandam mecanismos de abertura, fechamento e controle das peças móveis. A decisão deve considerar espaço, frequência e custo de movimentação (Škerlić; Muha, 2020).

A quinta etapa abrange o controle das informações. Cada movimentação deve gerar registro de data, origem, destino, quantidade, estado e responsável. Códigos de barras, QR Codes ou identificação por radiofrequência podem apoiar esse processo, desde que sejam realizadas leituras nas transferências. A tecnologia não substitui os procedimentos, pois o

rastreamento depende da atualização dos dados durante todo o percurso (Ellsworth-Krebs et al., 2022).

4.4 Fatores que interferem no retorno e na reutilização

A taxa de devolução aparece entre os fatores mais citados. Uma estrutura fabricada para diversos ciclos não produz o resultado esperado quando permanece retida no destino ou desaparece durante as transferências. A falta de retorno reduz a disponibilidade e obriga a organização a adquirir novas unidades. Guo et al. (2024) observam que atrasos e retenções alteram o equilíbrio do sistema e podem exigir incentivos ou penalidades.

O tempo de ciclo também interfere na quantidade necessária. Quanto maior o intervalo entre a saída e a liberação para nova remessa, maior tende a ser o estoque exigido. Esse período inclui transporte de ida, permanência no destino, descarregamento, armazenamento, coleta, retorno, inspeção e manutenção. Em cadeias com produção Just-in-Time, atrasos podem provocar falta de recipientes mesmo quando o número total parece suficiente (Guzmán; Andrés; Poler, 2026).

A distância modifica os custos e os efeitos ambientais do sistema. Retornos longos, realizados com veículos pouco ocupados, podem reduzir os benefícios esperados. Por essa razão, os autores recomendam consolidar unidades, aproveitar trajetos existentes e avaliar possibilidades de desmontagem ou empilhamento. Coelho et al. (2020) destacam que a distância não deve ser analisada isoladamente, mas em conjunto com a quantidade transportada e o número de reutilizações.

A durabilidade depende das condições de projeto e manuseio. Estruturas com resistência inadequada podem exigir reparos frequentes, enquanto modelos com excesso de material elevam o investimento e o peso transportado. O dimensionamento precisa considerar características das peças, pontos de apoio, esforço durante o trajeto e equipamentos empregados no carregamento. Garcia-Arca et al. (2021) defendem uma seleção baseada em requisitos técnicos e logísticos.

A padronização pode reduzir a quantidade de modelos mantidos em estoque e facilitar o compartilhamento. Entretanto, componentes automotivos apresentam dimensões, pesos e superfícies diferentes, o que limita a adoção de uma única configuração. Bradley e Corsini (2023)

associam a padronização à eficiência dos sistemas reutilizáveis, mas reconhecem que a solução deve respeitar as exigências do conteúdo transportado.

4.5 Comparação entre descarte, aquisição e reutilização

A literatura não sustenta que embalagens retornáveis sejam sempre mais econômicas do que as descartáveis. Os resultados dependem da distância, da taxa de devolução, da duração do projeto, do número de ciclos e dos gastos com manutenção. Uma estrutura de maior preço pode apresentar custo inferior por utilização quando permanece em circulação por um período maior. Caso ocorram perdas ou reparos frequentes, essa relação pode ser invertida (Bradley; Corsini, 2023). O Quadro 2 apresenta a comparação entre os dois fluxos identificados.

Quadro 2. Comparação entre o fluxo linear e o fluxo reverso

Aspecto	Descarte ou nova aquisição	Reutilização
Aquisição	Necessária para cada reposição	Investimento distribuído pelos ciclos
Transporte vazio	Não ocorre	Necessário entre destino e origem
Inspeção	Limitada ao recebimento	Realizada antes de novo carregamento
Manutenção	Geralmente não prevista	Incluída no ciclo
Armazenamento	Área para resíduos ou sucata	Área para unidades aguardando retorno
Controle	Focado no consumo	Focado em localização, condição e ciclos
Geração de resíduos	Ocorre após o uso	Postergada até o fim da vida útil
Risco principal	Compras sucessivas e descarte	Perdas, retenções e atraso na devolução
Indicador de custo	Valor por unidade adquirida	Valor por ciclo realizado

Fonte: elaborado pelos autores com base em Škerlić e Muha (2020), Coelho et al. (2020) e Katsanakis et al. (2023).

No fluxo linear, os custos concentram-se em fabricação, aquisição, transporte de ida e destinação. A repetição desses gastos acompanha cada lote enviado. No percurso reverso, o investimento inicial é acrescido de coleta, transporte vazio, inspeção, reparo, rastreamento e armazenagem. A comparação deve reunir todos esses componentes para evitar que uma alternativa seja avaliada por critérios diferentes (Škerlić; Muha, 2020).

O custo por ciclo constitui uma medida aplicável à análise. Ele pode ser calculado pela soma do valor de aquisição, retorno, manutenção, controle e destinação, dividida pela quantidade de utilizações. Quanto maior o número de usos, menor tende a ser a parcela referente

à fabricação. Contudo, essa redução depende da permanência do item na cadeia e do controle das perdas (Bradley; Corsini, 2023).

Em termos ambientais, o reaproveitamento posterga a reciclagem e reduz a necessidade de fabricar novas estruturas. Porém, a literatura recomenda considerar combustível, distância, limpeza, reparos e ocupação dos veículos. Uma comparação restrita ao peso do metal descartado pode omitir impactos gerados pelo retorno. Por isso, os efeitos precisam ser avaliados conforme a configuração do circuito (Coelho et al., 2020).

4.6 Indicadores propostos para acompanhamento

Com base nos estudos analisados, foram definidos indicadores para verificar o funcionamento da proposta. As medidas abrangem retorno, tempo, vida útil, perdas, manutenção, resíduos e custos. Sua utilização permite comparar períodos, destinos e modelos de estrutura, desde que os dados sejam registrados de forma contínua (Ellsworth-Krebs et al., 2022).

Quadro 3. Indicadores para gestão das estruturas metálicas

Indicador	Forma de cálculo	Finalidade
Taxa de retorno	$\text{Estruturas devolvidas} \div \text{estruturas enviadas} \times 100$	Verificar a proporção reinserida no fluxo
Tempo médio de retorno	$\text{Soma dos dias de retorno} \div \text{quantidade devolvida}$	Medir a duração do ciclo
Número médio de usos	$\text{Total de utilizações} \div \text{quantidade de estruturas}$	Acompanhar a vida útil
Taxa de perdas	$\text{Unidades não localizadas} \div \text{unidades enviadas} \times 100$	Identificar extravios e retenções
Taxa de avarias	$\text{Unidades danificadas} \div \text{unidades recebidas} \times 100$	Verificar danos durante o processo
Frequência de reparo	$\text{Reparos realizados} \div \text{quantidade de ciclos}$	Avaliar necessidade de manutenção
Custo por ciclo	$\text{Custos totais} \div \text{número de utilizações}$	Comparar alternativas de embalagem
Resíduo evitado	Peso das estruturas reutilizadas que deixaram de ser descartadas	Estimar redução do descarte

Taxa de disponibilidade	$\text{Unidades aptas para uso} \div \text{total registrado} \times 100$	Verificar capacidade de atendimento
Índice de utilização	$\text{Estruturas em uso} \div \text{estruturas disponíveis} \times 100$	Identificar excesso ou falta de estoque

Fonte: elaborado pelos autores com base em Bradley e Corsini (2023), Katsanakis et al. (2023) e Ellsworth-Krebs et al. (2022).

A taxa de retorno deve ser analisada por origem, destino e período. Um resultado geral pode ocultar unidades com atrasos recorrentes. O detalhamento permite verificar se as falhas decorrem de um participante, de determinada rota ou de um modelo específico. Guo et al. (2024) demonstram que o comportamento dos usuários interfere na disponibilidade dos itens retornáveis.

O tempo médio precisa ser decomposto pelas etapas do percurso. A medição somente entre saída e chegada não mostra se o atraso ocorreu no descarregamento, no armazenamento ou no transporte. A separação dos intervalos orienta ações relacionadas ao ponto responsável e reduz a adoção de medidas que não atingem a causa do problema (GUZMÁN; ANDRÉS; POLER, 2026).

O número de usos permite comparar a duração real com a expectativa definida no projeto. Estruturas que apresentam vida inferior devem ser analisadas quanto a avarias, corrosão, movimentação inadequada ou alteração das peças. Essa informação também interfere no custo por ciclo, pois unidades retiradas antes do previsto distribuem o investimento por quantidade menor de operações (Zhu et al., 2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a aplicação da logística reversa no processo de embalagem *Completely Knocked Down* (CKD), com foco na reutilização de estruturas metálicas. A revisão permitiu compreender que o aproveitamento desses itens depende de um sistema organizado de retorno, capaz de integrar recebimento, identificação, inspeção, classificação, armazenamento, transporte, reparo e liberação para novo carregamento.

Em relação ao problema de pesquisa, concluiu-se que a logística reversa pode viabilizar a reutilização das estruturas metálicas quando o fluxo é planejado desde a expedição até a reinserção no processo. A redução do descarte, do consumo de materiais e da aquisição de novas unidades não ocorre apenas pela resistência física do metal, mas pela existência de

procedimentos, responsabilidades definidas, controle das movimentações e acompanhamento das condições de uso.

Os objetivos propostos foram atendidos. O trabalho descreveu o percurso das embalagens, identificou as etapas necessárias ao retorno, apontou os fatores que interferem na implantação, comparou o modelo de descarte com a alternativa de reaproveitamento e apresentou indicadores para acompanhamento. Entre os aspectos observados, destacaram-se taxa de retorno, tempo de ciclo, distância, disponibilidade, frequência de reparos, perdas, espaço de armazenagem e custo por utilização.

A comparação entre os fluxos mostrou que o sistema descartável concentra gastos em compras sucessivas e destinação dos materiais, enquanto o modelo reverso exige investimento em transporte vazio, rastreamento, inspeção e manutenção. Dessa forma, a reutilização deve ser avaliada conforme as características de cada operação. Quando há devolução regular, controle das estruturas e quantidade suficiente de ciclos, o custo de aquisição pode ser distribuído por diversas remessas e o descarte pode ser postergado.

A pesquisa também demonstrou que a reutilização não deve ser confundida com reciclagem. No primeiro caso, a estrutura permanece exercendo sua função de acondicionamento. No segundo, o metal passa por transformação após a perda da capacidade de uso. Assim, a inspeção e o reparo permitem prolongar o período de utilização antes do encaminhamento para recuperação material.

17

Como contribuição, o estudo reuniu elementos dispersos na literatura e os organizou em uma proposta aplicável ao processo CKD. O fluxo apresentado pode orientar empresas na definição de etapas, responsabilidades e formas de controle. Os indicadores sugeridos também podem apoiar comparações entre períodos, destinos, modelos de embalagem e condições de transporte.

Entre as limitações, destaca-se o caráter bibliográfico da investigação. Não foram utilizados dados de uma empresa, registros de custos, tempos reais de retorno, quantidade de estruturas ou histórico de avarias. Por esse motivo, não foi possível calcular a economia obtida nem verificar o comportamento dos indicadores em uma operação específica. Outra limitação decorre da quantidade reduzida de estudos que abordam, de forma conjunta, embalagens CKD, estruturas metálicas e logística reversa.

Conclui-se que a reutilização de estruturas metálicas no processo CKD é uma alternativa que exige planejamento, informação e integração entre os participantes. Sua adoção pode reduzir a retirada antecipada de materiais da cadeia, desde que as decisões sejam sustentadas por registros operacionais, critérios de inspeção e acompanhamento contínuo dos ciclos realizados.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE RODRÍGUEZ, Elias Carlos et al. Reverse logistics and the circular economy: a study before and after the implementation of the National Solid Waste Policy in Brazil. **Recycling**, v. 9, n. 4, art. 64, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/recycling9040064>.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

BRADLEY, Charles G.; CORSINI, Lucia. A literature review and analytical framework of the sustainability of reusable packaging. **Sustainable Production and Consumption**, v. 37, p. 126–141, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.02.009>.

COELHO, Patricia Megale et al. Sustainability of reusable packaging: current situation and trends. **Resources, Conservation & Recycling: X**, v. 6, art. 100037, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100037>.

ELLSWORTH-KREBS, Katherine et al. Circular economy infrastructure: why we need track and trace for reusable packaging. **Sustainable Production and Consumption**, v. 29, p. 249–258, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.10.007>.

GARCIA-ARCA, Jesus et al. Methodology for selecting packaging alternatives: an “action research” application in the industrial sector. **Central European Journal of Operations Research**, v. 29, p. 1427–1446, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-020-00724-3>.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GUO, Min et al. Incentivising-by-penalty: the optimal return strategy for a reusable transport item rental platform. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 134, art. 104339, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104339>.

GUZMÁN, Eduardo; ANDRÉS, Beatriz; POLER, Raúl. Hybrid MILP-deep reinforcement learning approach for reusable container flows in the automotive industry. **International Journal of Production Economics**, art. 109927, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2026.109927>.

in context to the circular economy: a strategic framework. **Business Strategy and the Environment**, v. 31, n. 7, p. 3635–3648, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.3112>.

KATSANAKIS, Nikolaos et al. Circular economy strategies for life cycle management of returnable transport items. **Sustainable Production and Consumption**, v. 43, p. 333–348, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.11.016>.

KUDRENKO, Ivan; HALL, Lindsey. Adoption of reusable transit packaging in US industries: a framework for enhanced sustainability. **Review of Managerial Science**, v. 19, p. 2633–2666, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11846-024-00826-1>.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

PINHO SANTOS, Liane; PROENÇA, João F. Developing return supply chain: a research on the automotive supply chain. **Sustainability**, v. 14, n. 11, art. 6587, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14116587>.

SILVA, Nathalie; PÅLSSON, Henrik. Industrial packaging and its impact on sustainability and circular economy: a systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 333, art. 130165, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130165>.

ŠKERLIČ, Sebastjan; MUHA, Robert. A model for managing packaging in the product life cycle in the automotive industry. **Sustainability**, v. 12, n. 22, art. 9431, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12229431>.

SONAR, Harshad et al. Sustainable supply chain management of automotive sector

SOUZA, Marcela Tavares de; SILVA, Michelly Dias da; CARVALHO, Rachel de. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 102–106, 2010. DOI: [10.1590/S1679-45082010RW1134](https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134).

ZHU, Zicheng et al. Packaging design for the circular economy: a systematic review. **Sustainable Production and Consumption**, v. 32, p. 817–832, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.06.005>.