

Internet das coisas como viabilizadora da logística reversa na indústria calçadista: evidências de um estudo de caso no Brasil

Internet of things as an enabler of reverse logistics in the footwear industry: evidence from a case study in Brazil

- Dusan Schreiber** Doutor em Administração. Universidade Feevale – Brasil.
<https://orcid.org/0000-0003-4258-4780> dusan@feevale.br
- Silaine Carini Sander** Mestra em Administração. Universidade Feevale – Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-7242-875X> silaine.sander@gmail.com
- Vilson José Becker** Bacharel em Administração. Universidade Feevale – Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-5585-7779> vilson.becker@hotmail.com
- Cristiane Froehlich** Doutora em Administração. Universidade Feevale – Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-7198-6469> cristianefroehlich@hotmail.com

RESUMO

A logística reversa é considerada uma das práticas mais eficazes no âmbito da Política Nacional de Resíduos Sólidos para contribuir com a redução do impacto ambiental. Em determinadas atividades econômicas ela já é uma realidade, com processos e operações implementados. No entanto, na maioria dos setores econômicos, considerados pela legislação atual como de menor risco para o meio ambiente, a logística reversa ainda se encontra em fase de debate e planejamento. Um desses setores é a indústria de calçados. O impacto ambiental do calçado é relevante devido ao volume que representa quando disposto em aterros sanitários, porém a legislação vigente não exige a sua implementação. O objetivo da pesquisa consiste em analisar as possíveis contribuições da internet das coisas (IoT) para operacionalizar a logística reversa em uma das maiores indústrias de calçados do Brasil. Para alcançar esse objetivo, optou-se pela estratégia de estudo de caso único. Os dados empíricos foram coletados por meio de entrevistas em profundidade com gestores operacionais da empresa, além de levantamento documental e observação sistemática não participante. Os resultados indicam que a IoT pode viabilizar a logística reversa na indústria calçadista ao ampliar a rastreabilidade do fluxo de retorno, integrar dados de devolução, apoiar decisões operacionais e favorecer o engajamento do consumidor no descarte e na devolução. O caso também evidencia que sua adoção tende a concentrar-se em estruturas já digitalizadas e em centrais logísticas e recicladoras, sendo limitada por restrições de investimento e pela baixa prioridade estratégica atribuída à logística reversa no setor.

Palavras-chave: Logística reversa; Fabricação de calçados; IoT; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Reverse logistics is considered one of the most effective practices within the framework of the National Solid Waste Policy for contributing to the

reduction of environmental impacts. In certain economic activities, it is already a reality, with established processes and operations. However, in most economic sectors, which are regarded by current legislation as posing lower environmental risk, reverse logistics remains at the stage of debate and planning. One such sector is the footwear industry. The environmental impact of footwear is significant due to the volume it represents when disposed of in landfills; however, current legislation does not require its implementation. The objective of this study is to analyze the potential contributions of the Internet of Things (IoT) to the operationalization of reverse logistics in one of the largest footwear industries in Brazil. To achieve this objective, a single case study strategy was adopted. Empirical data were collected through in-depth interviews with the company's operational managers, as well as through document analysis and non-participant systematic observation. The results indicate that IoT can enable reverse logistics in the footwear industry by enhancing the traceability of return flows, integrating return data, supporting operational decision-making, and fostering consumer engagement in disposal and return practices. The case also shows that its adoption tends to be concentrated in already digitalized structures and in logistics and recycling centers, being constrained by investment limitations and the low strategic priority assigned to reverse logistics in the sector.

Keywords: Reverse logistic; Footwear manufacturing; IoT; Sustainability.

Recebido em 12/05/2024. Aprovado em 25/06/2026. Avaliado pelo sistema *double blind peer review*. Publicado conforme normas da ABNT.

<https://doi.org/10.22279/navus.v18.1924>

1 INTRODUÇÃO

Para Feil e Schreiber (2017) e Meadows, Randers e Meadows (2004), a consolidação do conceito de desenvolvimento sustentável se faz necessária em virtude da crescente precarização ambiental, que contribui para o agravamento das mudanças climáticas e que poderá, nas próximas décadas, colocar em risco o ecossistema global já fragilizado. Nessa perspectiva, justifica-se a articulação de forças sociais e políticas para promover mudanças que possam, ao menos, retardar esse processo de deterioração ambiental.

As leis e normas legais que existem no Brasil são consideradas, pelos especialistas, adequadas, pertinentes e suficientes para assegurar a proteção ambiental. O problema consiste na sua aplicação, que está distante do ideal (Augusto, 2020). A reduzida efetividade do seu cumprimento se deve, em grande parte, à ineficácia da ação fiscalizatória dos órgãos públicos responsáveis pela tarefa. Dentre os principais motivos para uma atuação aquém do necessário, destacam-se a restrição orçamentária e os quadros reduzidos de funcionários. Em face do exposto, os órgãos de fiscalização priorizam ações em atividades econômicas comprovadamente mais impactantes para o meio ambiente (Schreiber, 2022).

Existem atividades econômicas que não constam na lista de prioridades de órgãos fiscalizadores e que também são representativas, sob a perspectiva de impacto ambiental, em aspectos relacionados ao volume de resíduos sólidos gerados (Santos; Silva, 2017). Dentre os setores econômicos citados, destaca-se a fabricação de calçados. Trata-se de uma das atividades industriais mais tradicionais da humanidade, com registros históricos de sua existência que remontam aos seus primórdios. Caracteriza-se pela utilização intensiva de pessoas na operação e, ainda, por apresentar baixo nível de tecnologia embarcada na produção. Apesar de o risco ambiental ser considerado de baixa intensidade, a atividade industrial gera volumes expressivos de resíduos ao longo da cadeia produtiva e, ao final do ciclo de vida, quando o calçado é descartado, representa um volume que contribui para a redução da vida útil dos aterros sanitários, além de conter, em sua composição, uma quantidade crescente de polímeros, cuja decomposição pode levar séculos (Vier et al., 2021; Schreiber; Sander; Vier, 2023).

A solução para o problema poderia ser a operacionalização de um processo de logística reversa em calçados (Abdulrahman; Gunasekaran; Subramanian, 2014). Desde 2010, o Brasil possui normatização e respaldo legal para a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), com a definição de responsabilidades e a previsão de medidas legais para quem vier a descumprir a referida legislação. A logística reversa consta na PNRS, mas sua aplicação é priorizada em atividades e setores econômicos de maior risco ambiental. A fabricação de calçados não está entre as prioridades (Staikos et al., 2006; Santos; Silva, 2017).

Apesar dos avanços conceituais sobre logística reversa e das contribuições atribuídas à Internet das Coisas (IoT) para conectividade, rastreabilidade e integração de informações, ainda são incipientes as evidências sobre a articulação entre esses dois campos no contexto da indústria calçadista, especialmente em setores nos quais a logística reversa não decorre de forte imposição regulatória (Abdulrahman; Gunasekaran; Subramanian, 2014; Staikos et al., 2006; De Vass; Shee; Miah, 2018; Ben-Daya; Hassini; Bahroun, 2019; Schreiber; Sander; Vier, 2023). Nesse sentido, investigar as possíveis contribuições da IoT para

operacionalizar a logística reversa nesse setor configura-se como uma oportunidade de avanço teórico e empírico, ao permitir compreender como tecnologias da Indústria 4.0 podem apoiar práticas de sustentabilidade em contextos industriais específicos.

Ainda, apesar de não estar listada entre as atividades de maior risco ambiental, a fabricação de calçados gera impacto decorrente dos volumes descartados, o que reforça a relevância da adoção de práticas de logística reversa (Staikos *et al.*, 2006; Schreiber; Wallauer, 2023). Nessa perspectiva, foi conduzido o estudo com o objetivo de analisar as possíveis contribuições da IoT para operacionalizar a logística reversa em uma das maiores indústrias de calçados do Brasil.

As tecnologias da Indústria 4.0, cujo eixo estruturante é a conectividade facultada pela internet, têm sido amplamente investigadas pelos potenciais benefícios que podem oferecer, principalmente para a competitividade organizacional (Liu; Gao, 2014; Moktadir *et al.*, 2018). No entanto, nos últimos anos, observa-se um crescimento de pesquisas que visam avaliar suas contribuições para a promoção da sustentabilidade e para a redução do impacto ambiental em diversos segmentos industriais. Dentre essas tecnologias, destaca-se a Internet das Coisas (Jabbour *et al.*, 2018; Schreiber, 2022).

Como estratégia de pesquisa, optou-se pelo estudo de caso único em uma das maiores indústrias de calçados do país, situada na região sul. A escolha dessa estratégia foi deliberada, por entender que oferece melhores condições para alcançar o objetivo do estudo, ao permitir a compreensão aprofundada do ambiente organizacional que modela o processo decisório. Em alinhamento com a estratégia de estudo de caso, adotou-se a abordagem qualitativa e, como técnicas de coleta de dados, foram utilizadas entrevistas em profundidade com gestores e coordenadores, além de observação sistemática não participante e levantamento documental.

O trabalho inicia com a revisão teórica acerca de logística reversa e Internet das Coisas. Na sequência, apresenta-se o detalhamento dos procedimentos metodológicos adotados na coleta e análise dos dados empíricos. Posteriormente, são apresentados os resultados, seguidos da análise e discussão, e, por fim, as considerações finais.

2 LOGÍSTICA REVERSA

O conceito de logística teve sua origem em organizações militares, em função da necessidade de estudar e planejar o abastecimento das tropas com armamentos, alimentos, água, medicamentos e alojamento. Os novos hábitos de vida e consumo trazem novos desafios e, conseqüentemente, novas demandas para a sociedade e para as organizações (Abdulrahman; Gunasekaran; Subramanian, 2014). A logística é diretamente afetada pela globalização e pelas características atuais de consumo. Essas características são marcadas pela criação de produtos cada vez mais descartáveis, em função da constante renovação das formas e do ciclo de vida mais curto. Esse cenário contribui para o sucateamento dos bens de consumo, gerando um volume cada vez maior de resíduos (Bouzon; Govindan; Rodriguez, 2018).

Schreiber, Sander e Vier (2023) afirmam que, ao se falar em logística, imagina-se um fluxo de produtos desde o momento em que é gerada a necessidade de atendimento até sua chegada ao cliente. Para os autores, a logística integra três campos de ação: a) as técnicas de gestão da distribuição e transporte dos produtos finais; b) as técnicas de gestão do

transporte e manuseio interno; c) as técnicas de gestão do transporte das matérias-primas necessárias ao processo produtivo.

Segundo Liu e Gao (2014), a vida do produto não termina com a sua entrega ao cliente, mas sim com seu retorno ao ponto de origem, para ser adequadamente descartado, reparado ou reaproveitado. Assim, a logística reversa é o segmento que compreende o planejamento, a operação e o controle do fluxo físico e de informações relacionados ao retorno de bens de pós-venda e de pós-consumo à cadeia produtiva. Nesse contexto, a logística reversa tem como objetivo facilitar a devolução de bens de consumo ou de seus materiais constituintes à produção ou ao ciclo de negócios. Esse processo agrega valor econômico, ecológico, de serviço, legal e de localização.

Shaharudin, Zailani e Tan (2015) explicam que, durante a década de 1980, a logística se encarregou também do movimento de materiais no contrafluxo, ou seja, do cliente para o produtor, recebendo, posteriormente, uma definição mais complexa, conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Definições de logística reversa

Período temporal	Definições de logística reversa
Década de 1990 a 2000	A definição da logística reversa é um termo relacionado às atividades envolvidas no gerenciamento da movimentação e disposição de embalagens e resíduos.
	O gerenciamento do caminho inverso dos materiais, quando comparado ao fluxo direto da cadeia de suprimentos, é chamado de logística reversa.
	Área da logística que trata da devolução de produtos, redução da fonte, reciclagem, reaproveitamento de materiais, substituição ou reparo, remanufatura e reforma de mercadorias e destinação adequada de resíduos.
	As atividades da logística reversa consistem basicamente na coleta de materiais usados, danificados ou rejeitados, produtos fora de validade, e da sua embalagem e transporte, do ponto do consumidor final até o revendedor.
	Processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e econômico de matérias-primas, produtos em processo, produtos acabados e informações relacionadas, desde o ponto de extremidade do consumidor, até o ponto de origem, com o objetivo de recuperar valor ou dar um descarte adequado.
Década de 2001 a 2010	A logística reversa é um termo que pode ser considerado genérico e significa, em seu sentido mais amplo, todas as operações relacionadas à reutilização de produtos e materiais, englobando todas as atividades logísticas de coletar, desmontar e processar produtos e/ou materiais e peças usadas, a fim de assegurar uma recuperação sustentável.
	<i>Council of Supply Chain Management Professional</i> considera que a logística reversa faz parte do gerenciamento logístico e que, ao se gerenciar a cadeia de suprimentos, é necessário planejar, implementar e controlar, de forma eficiente, os fluxos tradicional e reverso de mercadorias, serviços e informações, visando atender as necessidades dos clientes.
	Fluxo reverso, do ponto de consumo até o ponto onde este produto teve seu início de produção. Este fluxo reverso precisa ser gerenciado, para que ocorra uma obtenção de ganhos nos negócios.
Década de 2010 a 2020	A logística reversa é como uma área da logística empresarial, que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor, de natureza econômica, ecológica, logística, de imagem corporativa, dentre outros.
	Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra

	destinação final ambientalmente adequada.
	Contempla importantes etapas do ciclo de vida de um produto, como o reparo, reuso e reciclagem de materiais e componentes, recuperação e destinação final, ou seja, é uma ferramenta que pode propiciar importantes ganhos sociais, ambientais e econômicos, possuindo um papel muito relevante na gestão do ciclo de vida dos produtos.

Fonte: adaptado de Schreiber, Sander e Vier (2023).

São diversos os fatores que estimulam a logística reversa nas empresas. Vier *et al.* (2021) citam, entre os mais relevantes, a sensibilidade ecológica, as pressões legais, a redução do ciclo de vida dos produtos, a busca por imagem diferenciada (competitividade) e a redução de custos (economia), tanto na compra de matéria-prima, como no descarte dos resíduos. O elevado nível de consumo observado nos últimos anos, aliado ao aumento do lançamento de novos produtos com menor tempo de ciclo mercadológico e com obsolescência precoce, tem contribuído para o aumento do volume de produtos descartados no ambiente. Muitos desses produtos são descartados com pouco ou nenhum uso ou, ainda, antes do término de sua vida útil (Wallauer; Martins; Schreiber, 2016).

Ainda, Santos e Silva (2017) destacam que, dependendo das características do produto, a logística reversa pode se tornar mais ou menos complexa, devido à incerteza em relação à quantidade, qualidade, tempo, heterogeneidade, envolvimento e custo das operações de retorno dos produtos ao fabricante de origem. Nesse sentido, Vier *et al.* (2021) destacam cinco fatores importantes que devem ser observados na organização da gestão da logística reversa:

a) fatores econômicos: referem-se à capacidade de recapturar o valor financeiro da matéria-prima remanufaturada ou reciclada, ao retornar ao ciclo produtivo original ou secundário por meio da comercialização, viabilizando o retorno econômico aos agentes da cadeia reversa;

b) fatores tecnológicos: relacionam-se à identificação e à aplicação de tecnologias adequadas para o tratamento econômico dos resíduos, desde o descarte até sua reintegração ao ciclo produtivo; na ausência de viabilidade de revalorização, os resíduos podem ser transformados em fonte de energia ou destinados a locais ambientalmente seguros, como incineração ou aterros sanitários;

c) fatores logísticos: envolvem a estruturação de sistemas de transportes, localização e organização entre os diversos elos da cadeia reversa, abrangendo atividades de coleta, classificação, segregação e transporte de bens pós-consumo aos diferentes locais destinados para remanufatura, desmanche, desmontagem ou sucata quando destinado à indústria de transformação;

d) fatores ecológicos: motivados pela sensibilidade ecológica ou pela sustentabilidade ambiental, incluindo iniciativas governamentais, pressões sociais, seletividade ecológica no consumo, responsabilidade ambiental das empresas, promoção da educação ambiental e incentivos à melhoria das condições de retorno dos produtos ao ciclo produtivo; também envolvem a prevenção de destinações inadequadas, como o descarte em lixões, rios e terrenos baldios, que resultam em poluição ambiental;

e) fatores legais: referem-se ao cumprimento de leis e regulamentações ambientais, à redução de custos governamentais e atender leis de proteção ao consumidor final; incluem, ainda, o desembaraço final dos resíduos, fazendo uso da disposição final segura, por meio de incineração ou aterro sanitário (meios controlados que não danificam o meio ambiente e que não atingem a sociedade, onde os resíduos são dispostos com

os devidos cuidados para gerar energia, no caso de os aterros não contaminarem o lençol freático).

A partir desses fatores, observa-se que a gestão da logística reversa demanda não apenas diretrizes estratégicas, mas também a estruturação de sistemas logísticos eficientes. As empresas precisam, cada vez mais, de canais de distribuição rápidos e eficazes, com agilidade de entregas, o que se configura como um dos fatores decisivos na escolha do consumidor final. O desenvolvimento desses canais de apoio pode contribuir para o alcance desses objetivos, os quais podem ser viabilizados por meio da avaliação dos resíduos gerados no processo produtivo e da sua destinação final adequada (Abdulrahman; Gunasekaran; Subramanian, 2014).

Considerando a complexidade operacional da logística reversa, especialmente em cadeias produtivas marcadas por dispersão pós-consumo, heterogeneidade de materiais e necessidade de coordenação entre múltiplos atores, torna-se importante examinar recursos tecnológicos capazes de qualificar a gestão desse fluxo. Nessa perspectiva, a internet das coisas desponta como uma alternativa promissora, ao possibilitar conectividade, geração de dados em tempo real, rastreabilidade e suporte ao processo decisório, aspectos que podem contribuir para viabilizar e aprimorar práticas de logística reversa.

2.1 Internet das coisas (IoT)

Na sociedade atual, na qual estar conectado é quase uma necessidade, a IoT se torna fundamental. Ela proporciona o elo entre tudo que está conectado globalmente (Aeknarajindawat, 2019). Por meio dessa tecnologia, a distância física é reduzida, a velocidade da informação é ampliada e as atualizações ocorrem em tempo real. Além disso, a competitividade torna-se mais intensa e a gestão empresarial pode ser realizada em tempo real, entre outros aspectos relevantes (Ahmed *et al.*, 2021).

A IoT pode ser definida como a interconexão entre objetos, por meio da internet, realizada com base em sensores, de reduzido tamanho, embutidos nos referidos objetos, constituindo um ecossistema computacional onipresente (Ben-Daya; Hassini; Bahroun, 2019). Esse ecossistema possibilita a geração e o compartilhamento instantâneo de informações para a tomada de decisão, seja por pessoas ou por máquinas, com o objetivo de solucionar problemas específicos (Gerami; Sarihi, 2020).

Nesta perspectiva, torna-se necessário destacar que os dados não são apenas gerados e compartilhados em formato binário ou em linguagem de máquinas, mas também são analisados e facultam visualização em formatos compreensíveis e/ou, até mesmo, usando a tecnologia de inteligência artificial, sugerindo alternativas no processo de tomada de decisão (De Vass; Shee; Miah, 2018). Dessa forma, os custos referentes ao processo decisório tiveram uma redução significativa a partir da adoção da IoT (Jiang, 2019; Pal; Yasar, 2020). A geração de dados por meio de sensores incorporados em dispositivos contribui para a redução de riscos às pessoas e ao meio ambiente, além de potencializar a qualidade de vida e a sustentabilidade (Ahmed *et al.*, 2021).

A IoT pode oferecer diversas oportunidades, mas também apresenta desafios, uma vez que questões de segurança são relevantes no contexto atual das organizações. Autores como Lu, Papagiannidis e Alamanos (2018) conceituam a internet das coisas como novo paradigma tecnológico que visa conectar qualquer coisa e qualquer pessoa a qualquer momento e em qualquer lugar, dando origem a novas aplicações e serviços inovadores. Ao fazê-lo,

essa tecnologia oferece uma série de oportunidades e desafios que os usuários e organizações precisam enfrentar.

Já Roblek, Mesko e Krapez (2016, p.3) afirmam que a "IoT representa um conceito fundamental na integração de todos os dispositivos inteligentes que fazem parte de grandes projetos inteligentes". Silva et al. (2017, p.4) complementam ao afirmar que a "IoT viabiliza a transformação dos equipamentos da fábrica em sistemas ciber-físicos - CPS (Cyber-Physical Systems)", ou seja, para viabilizar a Indústria 4.0 (I4.0) é necessário infraestrutura adequada que suporte a IoT, caso contrário, haverá dificuldades em sua implementação. Com a evolução das tecnologias, através da IoT, cada vez mais dados são gerados dando origem ao *big data*. Essa capacidade de converter dados em informações relevantes, de forma ágil, e de apoiar a tomada de decisão nos contextos comercial e operacional pode gerar vantagens competitivas em relação aos concorrentes.

Ao se observar a logística reversa como um processo que envolve coleta, retorno, triagem, reaproveitamento e destinação adequada de produtos e materiais, verifica-se que sua operacionalização depende não apenas de infraestrutura física, mas também de capacidade informacional capaz de coordenar fluxos dispersos e incertos. Nesse ponto, a IoT pode contribuir ao ampliar a conectividade entre objetos, sistemas e agentes organizacionais, favorecendo a geração e o compartilhamento de dados em tempo real, o que tende a qualificar o monitoramento e o controle das operações reversas (Liu; Gao, 2014; De Vass; Shee; Miah, 2018; Ben-Daya; Hassini; Bahrour, 2019). Em síntese, a IoT oferece suporte para reduzir parte das incertezas que tornam a logística reversa mais complexa, especialmente no que se refere à rastreabilidade do retorno e à visibilidade dos fluxos ao longo da cadeia.

Essa relação torna-se especialmente relevante em cadeias produtivas nas quais o pós-consumo é marcado por dispersão geográfica, heterogeneidade de materiais e baixa previsibilidade de retorno, como ocorre em diversos bens de consumo. Estudos sobre logística reversa indicam que fatores como custo, tempo, qualidade do material retornado e dificuldade de coordenação entre os elos da cadeia constituem entraves recorrentes à sua implementação (Abdulrahman; Gunasekaran; Subramanian, 2014; Bouzon; Govindan; Rodriguez, 2018; Vier et al., 2021). Nesse contexto, a IoT pode atuar como mecanismo de integração informacional, ao permitir identificar, registrar, localizar e acompanhar produtos, resíduos e embalagens, além de apoiar decisões relativas à coleta, transporte, separação e destinação, ampliando a eficiência operacional e a capacidade de resposta das organizações (Ahmed et al., 2021; Gerami; Sarihi, 2020; Pal; Yasar, 2020).

Entretanto, a simples disponibilidade tecnológica não assegura a viabilização da logística reversa. Conforme sugerem os estudos sobre IoT e cadeias de suprimentos, os benefícios da conectividade dependem de condições organizacionais e estratégicas, como a existência de infraestrutura adequada, a integração entre sistemas, a capacidade analítica e o alinhamento entre objetivos econômicos e ambientais (Jiang, 2019; Lu, Papagiannidis; Alamanos, 2018; Ahmed et al., 2021). Assim, mais do que uma solução isolada, a IoT pode ser compreendida como um recurso habilitador, cuja contribuição para a logística reversa decorre de sua articulação com processos, rotinas e decisões organizacionais orientadas à sustentabilidade. Essa compreensão permite aproximar, de forma mais consistente, os dois eixos teóricos deste estudo: a necessidade de

operacionalizar fluxos reversos e o potencial das tecnologias conectadas para apoiar essa operacionalização.

3 METODOLOGIA

O objetivo da pesquisa, de analisar as possíveis contribuições da IoT para operacionalizar a logística reversa em uma das maiores indústrias de calçados do Brasil, orientou a concepção do desenho metodológico, bem como dos procedimentos de coleta e análise de dados empíricos. Considerando que o alcance desse objetivo exige a compreensão do ambiente organizacional no qual os processos operacionais são concebidos e implementados, optou-se pelo estudo de caso único em uma indústria de calçados de grande porte, com abordagem qualitativa, por se mostrar mais adequado (Yin, 2015; Gil, 2008).

Em alinhamento com a escolha da estratégia de estudo de caso, para a coleta de dados empíricos optou-se por entrevistas em profundidade, levantamento documental a partir de registros eletrônicos da organização e observação sistemática não participante. Os dados empíricos obtidos foram submetidos à análise de conteúdo, considerada adequada para a identificação de evidências que subsidiam a discussão dos resultados à luz da literatura revisada. Tais decisões metodológicas encontram respaldo na literatura científica que aborda os procedimentos mencionados (Bardin, 2011).

A empresa participante deste estudo de caso atua no setor calçadista do estado do Rio Grande do Sul e possui onze filiais e oito marcas, as quais oferecem produtos que combinam qualidade, conforto e moda para diferentes estilos de consumo. Destaca-se por sua capacidade de inovação e pela adoção de práticas de gestão eficazes, sendo líder em seu segmento e uma das maiores fabricantes brasileiras de calçados, com presença em mais de 95 países, além de atuação em todo o território nacional. Para efeitos deste estudo, será denominada empresa Alfa.

Para a realização da pesquisa, foram selecionadas três filiais da empresa Alfa, considerando que representam distintos perfis de produto e de processo fabril, o que favorece a compreensão de variações internas relevantes para o exame da aplicabilidade da IoT em diferentes contextos operacionais de uma mesma organização. Foram incluídas, especificamente, a filial 1, responsável pela fabricação de sandálias femininas; a filial 3, dedicada à produção de tênis infantis masculinos; e a filial 16, voltada à fabricação de sapatilhas femininas injetadas.

As entrevistas foram realizadas com funcionários dessas filiais e com o Gerente Jurídico e de Processos de Qualidade da empresa Alfa. Também participou das entrevistas o CEO da empresa de reciclagem responsável pelo processamento dos resíduos gerados pela empresa Alfa. Nove entrevistas tiveram seus áudios gravados e transcritos na íntegra, sendo realizadas via ligação telefônica, com uso do aplicativo Whatsapp; duas foram respondidas no formato de questionário, ou seja, dois respondentes optaram por digitar suas respostas. Já a entrevista com o CEO da empresa de reciclagem foi realizada presencialmente, com áudio gravado e posteriormente transcrito.

Entre os onze entrevistados, cinco eram mulheres e seis homens, com idades variando entre 25 e 54 anos. A qualificação dos entrevistados, como a formação acadêmica e o cargo atual estão apresentados no Quadro 2.

Os entrevistados foram identificados neste estudo pelas siglas E1 ao E11.

Quadro 2 – Formação acadêmica e cargo atual dos entrevistados

Respondente/ Unidade	Formação acadêmica	Cargo atual
E1 - Filial 16	Gestão Financeira	Supervisora Administrativa
E2 - Filial 1	Gestão de Processos Gerenciais	Supervisora Administrativa
E3 - Filial 3	Engenharia de Produção	Gerente Industrial
E4 - Filial 3	Administração de Empresas	Supervisora Administrativa
E5 - Filial 1	Publicidade e Propaganda	Designer de calçado
E6 - Filial 1	Administração de Empresas	Supervisora Administrativa
E7 - Filial 16	Design de Produto	Designer
E8 - Filial 3	Técnico em Design de Calçados	Designer
E9 - Matriz	Gestão de Processos e Gestão da Qualidade	Gerente de Processos e Qualidade
E10 - Matriz	Engenheiro Mecânico e Mestre em Engenharia Generalista	Estagiário
E11 - Fornecedor	Economia com Ênfase em Projetos e Psicologia Empresarial	Empresário e CEO da empresa

Em relação ao tempo de experiência total dos colaboradores no mercado de trabalho, apenas um deles está com menos de um ano, quatro colaboradores possuem até dez anos de trabalho e os demais possuem mais tempo, chegando a 20, 35 e até 42 anos de tempo total de trabalho. Quanto ao tempo em que atuam na empresa Alfa, dois entrevistados atuam a menos de um ano, seis colaboradores há dez anos, enquanto os demais acumulam uma média de quatorze anos de experiência na empresa.

As transcrições foram submetidas à validação dos entrevistados. O processo de coleta de dados empíricos, bem como sua análise ocorreu ao longo do mês de abril e maio de 2023.

A análise de conteúdo foi conduzida com base em Bardin (2011), em três etapas: (i) pré-análise, com leitura flutuante das transcrições, dos registros documentais e das notas de observação; (ii) exploração do material, por meio de codificação temática das evidências relacionadas à operacionalização da logística reversa com apoio da IoT; e (iii) tratamento e interpretação, com agrupamento dos códigos em categorias analíticas e confronto com a literatura.

As categorias analíticas foram definidas a partir da articulação entre literatura e evidências empíricas. Após a pré-análise e a codificação temática das entrevistas, documentos e registros de observação, os códigos foram agrupados em quatro categorias: (i) engajamento do consumidor e ativação do fluxo reverso; (ii) rastreabilidade, integração de dados e suporte ao processo decisório; (iii) coordenação logística, triagem e destinação de resíduos; e (iv) condicionantes para adoção da IoT na logística reversa. Essas categorias orientaram a organização e a interpretação dos resultados.

A credibilidade foi buscada por meio da triangulação de dados, envolvendo entrevistas, documentos organizacionais e observação não participante, além da validação das transcrições pelos respondentes. A consistência interpretativa foi reforçada pelo confronto entre diferentes fontes de evidência, bem como entre evidências convergentes e divergentes. A saturação teórica foi considerada alcançada quando as entrevistas adicionais passaram a reiterar percepções já identificadas nas categorias em construção, sem acrescentar novos elementos substantivos sobre as contribuições e limites da IoT para a logística reversa.

4 RESULTADOS

Considerando a diversidade das evidências obtidas por meio de entrevistas, levantamento documental e observação sistemática não

participante, os resultados foram organizados nas quatro categorias analíticas apresentadas a seguir. Essa organização permitiu sistematizar os achados empíricos e evidenciar, de forma mais analítica, como a IoT pode contribuir para a viabilização da logística reversa no contexto investigado.

4.1 IoT para engajamento do consumidor e ativação do fluxo reverso

Uma primeira frente de contribuição da IoT evidenciada no caso analisado refere-se ao engajamento do consumidor final e à ativação do fluxo reverso. Os entrevistados E2, E3 e E4 destacaram que, antes mesmo da estruturação operacional do retorno, é necessário ampliar a conscientização tanto da empresa quanto dos consumidores, de modo que, ao final da vida útil do produto, o calçado possa ser devolvido à empresa de origem. Nesse sentido, os entrevistados sugeriram campanhas específicas apoiadas por recursos digitais, bem como a criação de uma página na internet por meio da qual o cliente pudesse sinalizar a devolução do produto e receber orientações sobre os procedimentos de retorno. Também foi mencionada a possibilidade de disponibilizar pontos de entrega nas próprias lojas, favorecendo o fluxo reverso a partir do pós-consumo. Esse resultado converge com Schreiber, Sander e Vier (2023), ao indicarem que a ampliação da conscientização social fortalece a dimensão ambiental da logística reversa, e com Vier et al. (2021), ao destacarem a relevância do retorno adequado de produtos pós-consumo para a gestão ambiental no setor calçadista.

Essa percepção também apareceu na fala do entrevistado E11, para quem a internet das coisas poderia contribuir para informar e conscientizar as pessoas sobre o que fazer com o calçado pós-consumo. Assim, no caso investigado, a IoT não aparece apenas como um recurso técnico voltado ao monitoramento, mas também como um meio de conexão entre empresa, varejo e consumidor final. Tal interpretação encontra respaldo em Ben-Daya, Hassini e Bahroun (2019) e De Vass, Shee e Miah (2018), para os quais a IoT amplia a conectividade entre objetos, sistemas e agentes, favorecendo a circulação de informações em tempo real e apoiando a coordenação de processos logísticos mais complexos.

4.2 IoT para rastreabilidade, integração de dados e suporte ao processo decisório

A segunda categoria analítica identificada diz respeito ao uso da IoT para ampliar a rastreabilidade, a integração de dados e o suporte ao processo decisório relacionado à logística reversa. O entrevistado E6 sugeriu a importância de quantificar e acompanhar o volume de itens devolvidos, conforme o tipo de evento, como devolução por defeito, insatisfação do cliente ou erros na gestão de estoques. Na percepção dele, a articulação dessas informações permitiria identificar oportunidades de melhoria de processos. Esse resultado aproxima-se do que Schreiber (2022) assinala ao discutir o potencial das tecnologias da Indústria 4.0 para redução de custos ambientais e qualificação da gestão por meio da geração e uso estratégico de informações.

Na mesma direção, os entrevistados E5, E7 e E8 destacaram a utilização da plataforma Power BI, já empregada pela empresa Alfa, como ferramenta que reúne informações dos produtos desde a fabricação até a venda. Para eles, a criação de filtros ou campos específicos poderia contribuir para acompanhar a movimentação dos produtos e apoiar seu retorno

no contexto da logística reversa. Os dados indicam, portanto, que a IoT, articulada a sistemas já existentes, pode fortalecer a visibilidade do fluxo reverso e apoiar decisões relacionadas ao reaproveitamento e à gestão das devoluções. Essa interpretação dialoga com Risso, Ganga e Godinho Filho (2019), ao apontarem aplicações das tecnologias da Indústria 4.0 na economia circular, e com Pal e Yasar (2020), ao enfatizarem o potencial da conectividade e da integração de dados para aprimorar o gerenciamento de cadeias produtivas.

O levantamento documental também reforçou essa dimensão. O acesso a registros internos da organização evidenciou que os responsáveis por atividades operacionais abordam, de forma recorrente, a adoção de tecnologias da Indústria 4.0, bem como a possibilidade de ampliar seus benefícios para dimensões associadas à sustentabilidade ambiental, social e econômica. Esse movimento é coerente com o argumento de Augusto (2020), segundo o qual a sustentabilidade vem exigindo maior articulação entre exigências ambientais e práticas organizacionais, e com Ahmed et al. (2021), que destacam o papel da IoT na ampliação da visibilidade e na integração das operações em cadeias de suprimentos.

4.3 IoT para coordenação logística, triagem e destinação de resíduos

A terceira categoria refere-se às contribuições da IoT para a coordenação logística do fluxo reverso, incluindo transporte, triagem e destinação de resíduos. Para os entrevistados E9 e E10, a implementação da IoT dependeria dos procedimentos empregados para a logística e a reciclagem do material. Segundo os entrevistados, as máquinas equipadas com sensores poderiam transmitir informações em rede, facilitando decisões e controle dos processos. Contudo, devido às limitações práticas observadas na empresa, o uso dessa tecnologia tenderia a concentrar-se em centrais de distribuição unificadas ou em fábricas de reciclagem centralizadas. Essa percepção se aproxima de Wallauer, Martins e Schreiber (2016), ao tratarem da logística reversa no contexto calçadista, e de Risso, Ganga e Godinho Filho (2019), ao assinalarem que a incorporação de dispositivos eletrônicos e sensores à infraestrutura produtiva viabiliza ações mais automatizadas no fluxo reverso.

Na percepção do entrevistado E1, a IoT poderia contribuir para viabilizar o transporte do produto do consumidor final até a indústria, por meio de aplicativos, programas de otimização de coleta e definição de destino. Já o entrevistado E11 destacou o potencial dessa tecnologia para apoiar a separação de resíduos sólidos. Em conjunto, esses dados sugerem que a contribuição da IoT não se limita à geração de dados, mas também abrange a coordenação operacional do retorno, da triagem e da destinação dos materiais. Vier et al. (2021) enfatizam a importância da gestão adequada dos resíduos no setor calçadista, e Liu e Gao (2014) ressaltam a relevância da conectividade e do compartilhamento de informações, que favorecem a coordenação de cadeias logísticas mais complexas.

Além disso, o próprio corpus empírico e a literatura mobilizada no artigo permitiram reconhecer aplicações da IoT em atividades como o uso de Radio Frequency Identification, isto é, identificação por radiofrequência (RFID), a recuperação de materiais, a utilização de informações para o gerenciamento do fluxo de retorno, a readequação de rotas e a melhoria da transparência operacional em depósitos. Tais possibilidades reforçam que a IoT pode contribuir para o aumento da confiabilidade, da visibilidade e da

agilidade nas operações reversas, desde que existam condições organizacionais e infraestruturais adequadas para sua adoção.

4.4 Condicionantes e limitações para adoção da IoT na logística reversa

Apesar do reconhecimento das contribuições potenciais da IoT, os resultados também evidenciaram condicionantes e limitações à sua adoção no contexto da logística reversa na indústria calçadista. Segundo os entrevistados, a empresa Alfa avançou na adoção de tecnologias de conectividade após resultados positivos obtidos em projetos-piloto implantados em duas unidades da organização, especialmente com o uso de RFID, manufatura aditiva e IoT. Entretanto, esse movimento foi precedido por planejamento e pela adoção de técnicas operacionais, como o método Toyota de produção e a Produção Mais Limpa. Tal evidência está de acordo com Schreiber (2022) e Ahmed et al. (2021), ao apontarem que a incorporação de tecnologias da Indústria 4.0 depende de preparação organizacional prévia, estrutura adequada e alinhamento com processos já estabilizados.

A observação sistemática não participante permitiu identificar iniciativas da Alfa relacionadas à logística reversa de embalagens, embora ainda marcadas por falhas desde o recebimento até o acondicionamento e reaproveitamento. Essa percepção foi confirmada pelos entrevistados, que associaram tais limitações à hierarquização de prioridades na empresa. Conforme relataram, a prioridade da Alfa, assim como de outras indústrias calçadistas, permanece centrada no produto, na manufatura e na logística out, enquanto a dimensão ambiental e, mais especificamente, a logística reversa, ocupam posição secundária. Nesse sentido, Schreiber e Wallauer (2023) indicam que a adoção de tecnologias no setor calçadista tende a ser orientada prioritariamente por ganhos produtivos e competitivos, e não necessariamente por objetivos ambientais. Abdulrahman, Gunasekaran e Subramanian (2014), Bouzon, Govindan e Rodriguez (2018) e Vier et al. (2021) apontam o custo, a complexidade operacional e a baixa priorização estratégica como barreiras recorrentes à implementação da logística reversa.

De modo geral, os resultados evidenciam que a indústria de calçados investigada reconhece a relevância da logística reversa e percebe vantagens no uso da IoT, especialmente para integrar informações, apoiar decisões, facilitar a coordenação logística e ampliar a interação com o consumidor final. Entretanto, o caso também mostra que a adoção da IoT tende a ser mais viável quando se apoia em sistemas computacionais já existentes, em ajustes incrementais e em estruturas logísticas mais centralizadas, do que em investimentos amplos e imediatos em novas infraestruturas tecnológicas. Nesse sentido, os resultados reforçam que a contribuição da IoT para a logística reversa no setor calçadista está condicionada não apenas à disponibilidade tecnológica, mas também à prioridade estratégica atribuída ao tema e à percepção de retorno organizacional dos investimentos realizados.

5 Discussão

Os resultados obtidos são discutidos, a seguir, à luz da literatura, com ênfase nas contribuições e nos condicionantes da IoT para a logística reversa na indústria calçadista. O quadro 3 apresenta as principais evidências empíricas de acordo com cada categoria analítica.

Quadro 3 – Síntese das evidências empíricas por categoria analítica

Categoria analítica	Fonte	Evidências empíricas	Base teórica
IoT para engajamento do consumidor e ativação do fluxo reverso	Entrevistas E2, E3 e E4 + registros setor	Uso da IoT para campanhas de conscientização do consumidor final, com criação de página na internet para que o cliente sinalize a devolução do produto e receba orientações sobre como proceder no retorno do calçado à empresa.	Schreiber, Sander e Vier (2023)
IoT para engajamento do consumidor e ativação do fluxo reverso	Entrevista E11	A IoT poderia contribuir na informação e conscientização para que as pessoas saibam o que fazer e como destinar adequadamente o calçado pós-consumo.	Vier et al. (2021)
IoT para rastreabilidade, integração de dados e suporte ao processo decisório	Entrevista E6 + registros setor de produção	Uso da IoT para identificar oportunidades de melhoria dos processos, com base na quantificação e classificação do volume de devoluções conforme o tipo de ocorrência, como defeito, insatisfação do cliente ou erros na gestão dos estoques.	Schreiber (2022)
IoT para rastreabilidade, integração de dados e suporte ao processo decisório	Entrevistas E5, E7 e E8 + registros se	Uso da plataforma Power BI, já empregada pela empresa, para reunir e filtrar informações sobre os produtos desde a fabricação até a venda, favorecendo o acompanhamento da movimentação e do retorno dos itens no contexto da logística reversa.	Risso, Ganga e Godinho Filho (2019); Pal e Yasar (2020)
IoT para coordenação logística, triagem e destinação de resíduos	Entrevistas E9 e E10	No caso da empresa Alfa, a implementação da IoT para logística reversa não seria de fácil operacionalização em toda a cadeia, mostrando-se mais viável em centrais de distribuição unificadas ou em fábricas de reciclagem centralizadas.	Risso, Ganga e Godinho Filho (2019)
IoT para coordenação logística, triagem e destinação de resíduos	Entrevista E1 + registros setor de produção	A IoT contribuiria para viabilizar o transporte do produto do consumidor final até a indústria, com apoio de aplicativos, programas de otimização da coleta e definição do destino dos calçados devolvidos.	Schreiber (2022)
Condicionantes e limitações para adoção da IoT na logística reversa	Observação sistemática não participante + entrevistas + registros internos	A adoção da IoT para a logística reversa é condicionada pela prioridade atribuída ao produto, à manufatura e à logística direta, bem como pelo elevado investimento necessário para implementação e manutenção das soluções tecnológicas.	Abdulrahman, Gunasekaran e Subramanian (2014); Bouzon, Govindan e Rodriguez (2018); Vier et al. (2021); Schreiber e Wallauer (2023)

A literatura sobre IoT sustenta que a conectividade entre objetos, sistemas e agentes amplia a circulação de informações em tempo real e tende a favorecer a coordenação de processos logísticos mais complexos (Ben-Daya; Hassini; Bahroun, 2019; De Vass; Shee; Miah, 2018). No caso investigado, essa proposição foi parcialmente confirmada, a principal contribuição

identificada não está, em um primeiro momento, na automação intensiva do fluxo reverso, mas na criação de mecanismos de ativação desse fluxo por meio do engajamento do consumidor. As evidências sobre campanhas digitais, páginas para sinalização de devolução e orientação sobre destinação mostram que, na indústria calçadista, a conectividade assume uma função menos fabril e mais relacional, aproximando consumidor, varejo e empresa. Assim, enquanto a literatura enfatiza a IoT como infraestrutura de monitoramento e integração, o caso revela que, em setores marcados por descarte difuso e baixa imposição regulatória, sua contribuição inicial tende a ocorrer no estímulo ao retorno do produto, o que configura uma especificidade relevante do contexto calçadista.

Os estudos sobre logística reversa e tecnologias da Indústria 4.0 também indicam que a IoT pode ampliar a rastreabilidade, a visibilidade dos fluxos e o suporte ao processo decisório, reduzindo assimetrias informacionais e qualificando a gestão das operações reversas (Ahmed et al., 2021; Pal; Yasar, 2020; Risso; Ganga; Godinho Filho, 2019). O caso analisado corrobora essa perspectiva, ao evidenciar o uso potencial de sistemas já existentes, como o Power BI, bem como a quantificação e a classificação das devoluções como base para identificar oportunidades de melhoria. Entretanto, o avanço empírico do estudo está em mostrar que essa contribuição não se dá, necessariamente, por meio de soluções tecnológicas inéditas ou altamente sofisticadas. Ao contrário, o caso revela que, na indústria calçadista, a IoT parece mais viável quando acoplada a estruturas informacionais já disponíveis e orientada à integração incremental de dados. Desse modo, o estudo não apenas confirma a literatura quanto ao potencial informacional da IoT, mas acrescenta que, nesse setor, a viabilidade tecnológica está associada à capacidade de reaproveitamento de infraestruturas existentes, e não à implantação imediata de sistemas complexos em toda a cadeia.

Por outro lado, a literatura sobre logística reversa aponta que custo, complexidade operacional, heterogeneidade dos fluxos de retorno e baixa priorização estratégica constituem barreiras recorrentes à sua implementação (Abdulrahman; Gunasekaran; Subramanian, 2014; Bouzon; Govindan; Rodriguez, 2018; Vier et al., 2021). O caso confirma esses obstáculos, mas também revela uma contradição relevante: embora a organização reconheça a importância ambiental e reputacional da logística reversa, sua prioridade permanece concentrada no produto, na manufatura e na logística direta. Desse modo, no setor calçadista, a relevância simbólica da sustentabilidade não se converte automaticamente em prioridade operacional ou em investimento correspondente. Além disso, o caso mostra que a adoção da IoT tende a concentrar-se em pontos mais centralizados e controláveis da cadeia, como centros de distribuição e operações de reciclagem, em detrimento de sua aplicação ao fluxo reverso como um todo. Essa constatação explícita uma especificidade do setor, caracterizada pela combinação entre grande volume pós-consumo, baixa previsibilidade de retorno, dispersão do descarte e fraca pressão regulatória, que torna a logística reversa reconhecida como necessária, mas ainda tratada como secundária, limitando a conversão do potencial tecnológico da IoT em prática operacional efetiva.

6 CONCLUSÃO

Este estudo analisou as possíveis contribuições da IoT para a operacionalização da logística reversa em uma das maiores indústrias de

calçados do Brasil. Os resultados indicam que, no caso investigado, a IoT pode contribuir especialmente para o engajamento do consumidor, a rastreabilidade do fluxo reverso, a integração de dados, o suporte ao processo decisório e a coordenação de operações de retorno, triagem e destinação. Ao mesmo tempo, a pesquisa mostrou que a adoção dessa tecnologia permanece condicionada por restrições de investimento, pela necessidade de infraestrutura organizacional prévia e pela baixa prioridade estratégica ainda atribuída à logística reversa no setor.

Como contribuição teórica, o estudo amplia a literatura de logística reversa ao mostrar que, em um setor de baixa pressão regulatória e com descarte pós-consumo disperso, como o calçadista, a IoT tende a gerar valor inicialmente mais pela coordenação informacional do fluxo reverso do que pela automação integral de suas operações. A pesquisa também contribui para os estudos sobre Indústria 4.0 e sustentabilidade ao mostrar que o potencial ambiental da IoT depende de sua articulação com rotinas organizacionais, estruturas logísticas e decisões gerenciais, e não apenas da simples disponibilidade tecnológica.

Em termos práticos, os resultados sugerem que a adoção da IoT para a logística reversa tende a ser mais viável quando baseada em soluções incrementais e em estruturas já existentes, como sistemas corporativos, plataformas digitais de interação com consumidores e operações logísticas centralizadas. Para gestores industriais, isso implica reconhecer que avanços na logística reversa podem ocorrer por meio da integração progressiva de dados, do fortalecimento dos canais de devolução e do aprimoramento do monitoramento do fluxo reverso, sem a necessidade de investimentos imediatos em infraestruturas tecnológicas complexas.

O estudo oferece um insight empírico ao mostrar que, na indústria calçadista, a aplicação da IoT à logística reversa assume configuração própria, marcada pela coexistência entre reconhecimento da relevância ambiental do tema e sua baixa centralidade nas prioridades operacionais da organização. Essa tensão ajuda a explicar por que a IoT é percebida como promissora, mas sua adoção permanece seletiva e concentrada em pontos mais controláveis da cadeia.

Como limitações, destacam-se o desenho de estudo de caso único, a concentração da análise em uma organização de grande porte e a ênfase nas percepções de atores diretamente vinculados ao caso. Além disso, o estudo não mensurou economicamente a adoção da IoT na logística reversa nem incorporou consumidores finais como fonte empírica, embora seu papel tenha emergido como relevante nos resultados.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de estudos comparativos entre empresas calçadistas com diferentes portes e níveis de digitalização, bem como investigações sobre a viabilidade econômica da adoção da IoT na logística reversa, o papel do consumidor na ativação do fluxo reverso e os efeitos de diferentes arranjos de governança sobre a coordenação entre indústria, varejo e operadores de reciclagem.

REFERÊNCIAS

ABDULRAHMAN, M. D.; GUNASEKARAN, A.; SUBRAMANIAN, N. Critical barriers in implementing reverse logistics in the Chinese manufacturing sectors.

International Journal of Production Economics, v. 147, p. 460-471, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.08.003>.

AEKNARAJINDAWAT, N. Dynamic capabilities and internet of things as predictors of supply chain performance in Thailand: mediating role of operational agility. **International Journal of Supply Chain Management**, v. 8, n. 5, p. 585-596, 2019.

AHMED, S.; KALSOOM, T.; RAMZAN, N.; PERVEZ, Z.; AZMAT, M.; ZEB, B.; UR REHMAN, M. Towards supply chain visibility using internet of things: a dyadic analysis review. **Sensors**, v. 21, n. 12, art. 4158, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21124158>.

AUGUSTO, C. Economia circular: por que importa? E onde nos levará? **Terraço Econômico**, São Paulo, 23 jul. 2020. Disponível em: <https://terracoeconomico.com.br/economia-circular-por-que-importa-e-onde-nos-levara/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

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

BEN-DAYA, M.; HASSINI, E.; BAHROUN, Z. Internet of things and supply chain management: a literature review. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 15-16, p. 4719-4742, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402140>.

BOUZON, M.; GOVINDAN, K.; RODRIGUEZ, C. M. T. Evaluating barriers for reverse logistics implementation under a multiple stakeholders' perspective analysis using grey decision making approach. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 128, p. 315-335, 2018.

DE VASS, T.; SHEE, H.; MIAH, S. J. The effect of "Internet of Things" on supply chain integration and performance: an organisational capability perspective. **Australasian Journal of Information Systems**, v. 22, 2018. Disponível em: <https://ajis.aaisnet.org/index.php/ajis/article/view/1734>. Acesso em: 29 mar. 2026.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 15, n. 3, p. 667-681, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1679-395157473>.

GERAMI, M.; SARIHI, S. The impacts of Internet of Things (IOT) in supply chain management. **Journal of Management and Accounting Studies**, v. 8, n. 3, p. 31-37, 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

JABBOUR, A. B. L. S. et al. Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. **Annals of Operations Research**, v. 270, n. 1, p. 273-286, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2772-8>.

JIANG, W. An intelligent supply chain information collaboration model based on Internet of Things and big data. **IEEE Access**, v. 7, p. 58324-58335, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2913192>.

LIU, W.; GAO, Z. Study on IOT based architecture of logistics service supply chain. **International Journal of Grid and Distributed Computing**, v. 7, n. 1, p. 169-178, 2014. DOI: <https://doi.org/10.14257/ijgdc.2014.7.1.15>.

LU, Y.; PAPAGIANNIDIS, S.; ALAMANOS, E. Internet of Things: a systematic review of the business literature from the user and organisational perspectives. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 136, p. 285-297, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.022>.

MEADOWS, D. H.; RANDERS, J.; MEADOWS, D. L. **The limits to growth: the 30-year update**. London: Earthscan, 2004.

MOKTADIR, M. A. et al. Drivers to sustainable manufacturing practices and circular economy: a perspective of leather industries in Bangladesh. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 1366-1380, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.063>.

PAL, K.; YASAR, A.-U.-H. Internet of things and blockchain technology in apparel manufacturing supply chain data management. *Procedia Computer Science*, v. 170, p. 450-457, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.088>.

RISSO, L. A.; GANGA, G. M. D.; GODINHO FILHO, M. Aplicações de tecnologias da indústria 4.0 na economia circular: uma revisão sistemática. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 39., 2019, São Paulo. **Anais [...]** Santos, SP: ABEPRO, 2019.

ROBLEK, V.; MEŠKO, M.; KRAPEŽ, A. A complex view of Industry 4.0. **SAGE Open**, v. 6, n. 2, p. 1-11, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>.

SANTOS, É. H.; SILVA, M. A. Sustentabilidade empresarial: um novo modelo de negócio. **Revista Ciência Contemporânea**, v. 2, n. 1, p. 75-94, 2017.

SCHREIBER, D. Análise reflexiva acerca das alternativas de redução de custos ambientais por meio da adoção das tecnologias da indústria 4.0 mediadas pelas ferramentas Design Thinking e Cooper's Stage Gate. **Revista Organizações em Contexto**, v. 18, n. 36, p. 253-275, 2022. DOI: <https://doi.org/10.15603/roc1836253-275>.

SCHREIBER, D.; SANDER, S. C.; VIER, M. B. Reverse logistics in footwear production - in the stage after returned from consumer. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 17, n. 1, e03160, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n1-017>.

SCHREIBER, D.; WALLAUER, L. A. Análise de alternativas de adoção da internet das coisas (IoT) no processo de fabricação de calçados. **Exacta**, v. 23, n. 1, p. 223-246, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5585/2023.23012>.

SHAHARUDIN, M. R.; ZAILANI, S.; TAN, K. C. Barriers to product returns and recovery management in a developing country: investigation using multiple methods. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 220-232, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.071>.

SILVA, A. C. S. da et al. A modularização e a indústria 4.0. In: SIMPÓSIO GAÚCHO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2., 2017, Novo Hamburgo, RS. **Anais [...]** Novo Hamburgo, RS: SIGEPRO, 2017. Disponível em: <https://www.event3.com.br/anais/sigepro2017/51301-a-modularizacao-e-a-industria-40/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

STAIKOS, T. et al. End-of-life management of shoes and the role of biodegradable materials. In: CIRP INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE ENGINEERING, 13., 2006, Leuven, Belgium. **Proceedings [...]** Loughborough, UK: Centre for Sustainable Manufacturing and Recycling Technologies, 2006. p. 497-502.

VIER, M. B. et al. Ecodesign e logística reversa na indústria calçadista. **Desenvolvimento em Questão**, v. 19, n. 55, p. 246-266, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2021.55.11239>.

WALLAUER, L. A.; MARTINS, P. D.; SCHREIBER, D. Logística reversa: uma percepção ambiental com consumidores de calçados. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 36., 2016, João Pessoa, PB. **Anais [...]** João Pessoa, PB: ABEPRO, 2016.

YIN, R. **Estudo de caso**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.