

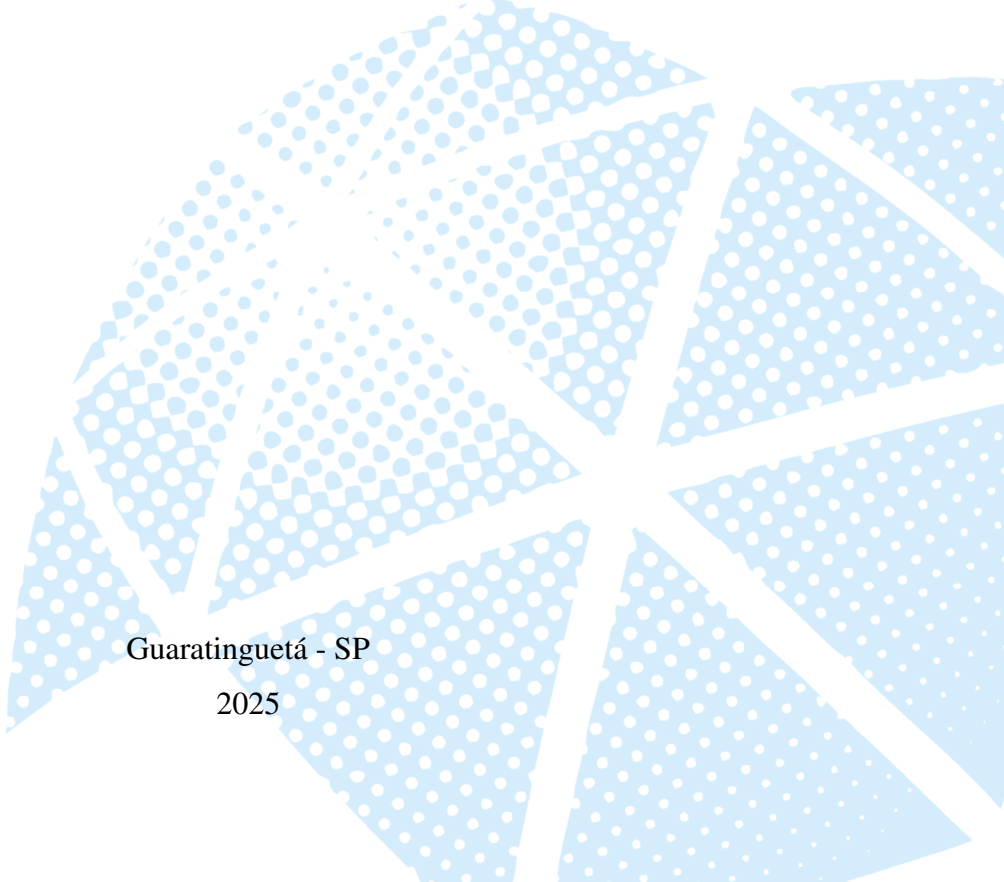
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Júlio de Mesquita Filho - Campus de Guaratinguetá

JOSÉ ANTONIO SABADINI

**INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA MITIGAR AS
INVERSÕES DE KANBAN NA MANUFATURA AUTOMOTIVA**

Guaratinguetá - SP

2025



JOSÉ ANTONIO SABADINI

**INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA MITIGAR AS
INVERSÕES DE *KANBAN* NA MANUFATURA AUTOMOTIVA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração:

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva
Marins

Coorientador: Prof. Dr. Aneirson Francisco da
Silva

Guaratinguetá - SP

2025

S113i	Sabadini, José Antônio Integração de tecnologias da indústria 4.0 para mitigar as inversões de <i>Kanban</i> na manufatura automotiva / José Antônio Sabadini - Guaratinguetá, 2025. 50 f : il. Bibliografia: f. 43-46 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2026. Orientador(a): Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins Coorientador: Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva 1. Produção enxuta. 2. Controle de produção. 3. Internet das coisas. 4. Indústria automobilística. I. Título. CDU 658.5(043)
-------	--

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa contribui para a redução de falhas logísticas e desperdícios na manufatura automotiva, ao integrar tecnologias da Indústria 4.0 ao *Kanban*, fortalecendo a rastreabilidade, a eficiência operacional e a sustentabilidade dos processos produtivos.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research contributes to reducing logistic failures and waste in automotive manufacturing by integrating Industry 4.0 technologies into Kanban, strengthening traceability, operational efficiency, and the sustainability of production processes.

JOSÉ ANTÔNIO SABADINI

**Integração de tecnologias da indústria 4.0 para mitigar as inversões de Kanban
na manufatura automotiva.**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Data da defesa: 13/03/2026

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS**
Data: 17/03/2026 09:41:11-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS

Orientador - UNESP



Digitally signed by Elen
Yanina Aguirre Rodriguez
Date: 2026.03.13 13:58:39
-04'00'

Profª Drª ELEN YANINA AGUIRRE RODRÍGUEZ

Universidad Tecnológica del Perú

Documento assinado digitalmente
 **ERICA XIMENES DIAS**
Data: 13/03/2026 11:13:50-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. ERICA XIMENES DIAS

UNESP

Dedico este trabalho, primeiramente, a DEUS, por me guiar, fortalecer e conceder sabedoria ao longo desta jornada. Sem sua graça e misericórdia, este momento não seria possível.

Aos meus pais, a minha esposa Marcella Melosi e me filho Miguel Melosi, pelo amor incondicional, pelo apoio em cada desafio e por sempre acreditarem no meu potencial. Vocês foram minha base e minha inspiração para seguir em frente.

Aos professores doutores que fizeram parte da minha trajetória acadêmica, transmitindo conhecimento, incentivando o pensamento crítico e me desafiando a crescer. Sou imensamente grato por cada ensinamento e orientação ao longo desta caminhada.

Aos colegas Thiago Santos de Ramos, Ricardo Correia Brossi, Anderson Queiroz Chayamiti, Natanael Cleiton Quartim Campos, Lucas Henrique Barbosa e Raphael Gonçalves de Araujo, pelo companheirismo e pela troca de experiências ao longo do percurso acadêmico.

RESUMO

A pesquisa investiga a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 para mitigar a inversão de *Kanbans* na manufatura automotiva, com foco na fábrica da Toyota do Brasil. O sistema *Kanban*, fundamental para a produção enxuta, sofre inversões devido às falhas na gestão manual dos cartões, afetando a eficiência produtiva e a logística. Nessa dissertação adotou-se tecnologias como a Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) e Identificação por Radiofrequência (RFID – *Radio Frequency Identification*) para monitoramento em tempo real, prevenindo erros e melhorando a rastreabilidade do fluxo produtivo. A abordagem metodológica combinou análise bibliométrica, levantamento de dados históricos e a técnica Delphi para obtenção de consenso entre especialistas. A implementação das soluções sugeridas contribuiu para a redução de desperdícios, melhoria operacional e alinhamento do sistema *Kanban* com os princípios da Indústria 4.0, garantindo maior confiabilidade nos processos produtivos.

Palavras-chave: Manufatura Automotiva; Inversão de *Kanban*; Indústria 4.0; Internet das Coisas; Identificação por Rádio Frequência.

ABSTRACT

The research investigates the application of Industry 4.0 technologies to mitigate Kanban inversion in automotive manufacturing, focusing on the Toyota factory in Brazil. The Kanban system, which is fundamental to lean production, experiences inversions due to failures in the manual management of cards, affecting both production efficiency and logistics. The dissertation adopted technologies such as the Internet of Things (IoT) and Radio Frequency Identification (RFID) for real-time monitoring, aiming to prevent errors and enhance the traceability of the production flow. The methodological approach combined bibliometric analysis, historical data collection, and the Delphi technique to reach a consensus among experts. The implementation of the proposed solutions contributed to waste reduction, operational improvement, and alignment of the Kanban system with Industry 4.0 principles, ensuring greater reliability in production processes.

Keywords: Automotive Manufacturing; Inversion of Kanban cards; Industry 4.0; Internet of Things; Radio Frequency Identification.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DE QUESTÕES PESQUISA.....	8
1.2 OBJETIVO GERAL, ESPECÍFICO E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	9
1.3 JUSTIFICATIVAS	10
1.4 MATERIAIS E MÉTODOS	22
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1 EVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	25
2.2 SISTEMA <i>KANBAN</i>	25
2.3 DESAFIOS DO <i>KANBAN</i> TRADICIONAL.....	26
2.4 TECNOLOGIA RFID NO <i>KANBAN</i>	27
2.5 INTEGRAÇÃO DO RFID COM SOFTWARE DE GESTÃO DE DADOS	28
3 DESCRIÇÃO DA EMPRESA, DO PROBLEMA TRATADO E A SOLUÇÃO PROPOSTA.....	30
3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DO PROBLEMA TRATADO.....	30
3.2 DESENVOLVIMENTO E DESCRIÇÃO DA PROPOSTA	33
4 CONCLUSÕES.....	41
4.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DE PESQUISA.....	41
4.2 SUGESTÕES PARA A CONTINUIDADE DO TRABALHO	42
REFERÊNCIAS.....	43
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS APLICADOS NO MÉTODO DELPHI	47
DADOS CURRICULARES	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DE QUESTÕES PESQUISA

A crescente adoção da Indústria 4.0 (*Industry 4.0* – I4.0) na manufatura automotiva tem impulsionado a necessidade de modernização dos processos produtivos (MONYE *et al.*, 2023). Neste contexto, o sistema Kanban, amplamente utilizado para gestão visual da produção e controle de fluxo de materiais, enfrenta desafios operacionais significativos (KAMAL, 2020).

Um dos principais problemas observados é a inversão de *Kanbans*, que ocorre quando cartões de controle são removidos ou reposicionados incorretamente, comprometendo a rastreabilidade das peças, a eficiência do processo e a satisfação do cliente (AGARWAL e AGARWAL, 2020)

A inversão de *Kanbans* gera impactos diretos na logística de peças de reposição, ocasionando desperdício de materiais, aumento nos custos operacionais e necessidade de retrabalho, o que pode afetar a competitividade da empresa (KAMAL, 2020).

A literatura existente destaca o potencial da integração de tecnologias da Indústria 4.0, como Identificação por Radiofrequência ((*Radio Frequency Identification* - *RFID*) e Internet das Coisas (*Internet of Things* - *IoT*), para otimizar processos produtivos e minimizar falhas operacionais (ZHANG *et al.*, 2008).

No entanto, há uma oportunidade para pesquisas voltadas especificamente para a prevenção da inversão de *Kanbans* em ambientes adversos, como os processos de pintura por imersão, que envolvem alta temperatura, umidade elevada e tensão elétrica significativa.

Dessa forma, nesta pesquisa buscou-se investigar as causas da inversão de *Kanbans* no setor de produção de peças de reposição da indústria automotiva e propor soluções baseadas nas tecnologias da I4.0 para mitigar esse problema.

Como contribuição deste trabalho, foi aprimorada a aplicação dos princípios da Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing* - *LM*), e o desenvolvimento de diretrizes para o uso de sistemas inteligentes de monitoramento que promovessem maior rastreabilidade, redução de falhas e alinhamento com os conceitos de manufatura digital.

A inversão de *Kanbans* ocorre quando a ordem lógica de produção é alterada ou quando os cartões são mal gerenciados, levando a problemas de fluxo. Isso pode ocorrer, por exemplo, quando o operador retira o *Kanban* da peça e ao retornar o coloca fora da posição original em outro tipo de peça semelhante (BADHOTIYA *et al.*, 2024a) causando atrasos, desperdício de

recursos, redução da eficiência operacional, custos com logística reversa e insatisfação do cliente.

Ao investigar as causas da inversão dos *kanbans* e propor soluções baseadas em novas tecnologias, a pesquisa aqui descrita não apenas aprimorou a aplicação dos princípios LM, mas também explorou como a tecnologia moderna pode fortalecer esses sistemas tradicionais.

Deste modo, essa pesquisa esteve focada na indústria automotiva e contribuiu para destacar a importância da integração das tecnologias e conceitos da Indústria 4.0. Enunciam-se, após esta contextualização, as questões de pesquisa que motivaram este trabalho como sendo:

- Quais são as causas principais da inversão de *Kanbans* na produção e quais novas tecnologias podem ser implementadas?
- Como monitorar de forma eficaz o processo de fabricação para prevenir a inversão de *Kanbans* e melhorar a eficiência operacional?

1.2 OBJETIVO GERAL, ESPECÍFICO E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Visando responder às questões de pesquisa, o objetivo geral deste trabalho foi desenvolver soluções baseadas nas tecnologias da I4.0 com o intuito de prevenir a inversão de *kanbans* na manufatura automotiva.

Os objetivos específicos referentes à empresa estudada foram:

- Mapear em qual processo está ocorrendo a inversão de *kanbans*.
- Identificar quais são as causas da inversão dos *kanbans* na produção das peças de reposição.
- Apresentar uma proposta de sistema de monitoramento em tempo real utilizando IoT para solucionar a inversão dos *kanbans* nas peças.

Por fim, pode-se acrescentar que, neste trabalho, buscou-se aumentar a eficiência e mitigar a inversão de *kanbans* no processo de produção de peças de reposição, e, conseqüentemente, diminuir a devolução das peças pelas concessionárias gerando custos extras, descarte do material e, o mais importante, diminuir o impacto no meio ambiente gerado por esta atividade.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Este trabalho acadêmico assume relevância significativa para profissionais de logística, engenharia de produção e gestão da cadeia de suprimentos, bem como para pesquisadores, estudantes e demais interessados no tema.

Dada a escassez de materiais acadêmicos específicos sobre inversão de *Kanbans* e sua relação com a Indústria 4.0, justifica-se a realização desta dissertação, que visa preencher essa lacuna e contribuir com soluções práticas e teóricas. O conteúdo foi estruturado de forma clara e objetiva, buscando facilitar a compreensão e aplicação dos conceitos abordados.

A inversão de *Kanbans* na manufatura automotiva gera impactos significativos na eficiência operacional, custos logísticos e na satisfação do cliente (BADHOTIYA *et al.*, 2024c). O problema ocorre quando os cartões *Kanban* são deslocados ou trocados, resultando em inconsistências na produção e na entrega de peças de reposição. Esse fenômeno não apenas compromete o fluxo produtivo enxuto, mas também gera desperdícios, retrabalho e impactos ambientais devido ao descarte de materiais (LÍVIA *et al.*, 2024).

A relevância desta pesquisa se justifica pela necessidade crescente de aprimorar a eficiência operacional e reduzir desperdícios no setor automotivo, além de oferecer uma abordagem inovadora para a gestão de *Kanbans* em ambientes desafiadores (HABEK *et al.*, 2023).

Diante desse cenário, a integração de tecnologias da I4.0 surge como uma solução para mitigar esse problema. A utilização de IoT, RFID e sistemas de monitoramento em tempo real pode garantir um controle mais preciso do fluxo de materiais, reduzindo falhas operacionais e melhorando a rastreabilidade do processo produtivo (TAN e SIDHU, 2022).

A aplicação dessas tecnologias se alinha às diretrizes da transformação digital na indústria, promovendo maior eficiência e confiabilidade no gerenciamento do sistema *Kanban* (DURAIVELU, 2022). Este projeto é fundamentado não apenas na necessidade de otimizar processos produtivos, mas também no impacto positivo que proporciona na redução de custos e na aplicação eficiente dos princípios do LM.

O sistema *Kanban*, amplamente adotado em ambientes produtivos por sua simplicidade e eficiência, também apresenta vulnerabilidades importantes, especialmente quando operado em formato manual. A inversão de *Kanbans*, por exemplo, é um dos problemas mais críticos observados na prática, pois gera inconsistências entre o pedido do cliente e a peça entregue, afetando diretamente a satisfação do consumidor (ASENCIOS SORIA *et al.*, 2024).

A literatura especializada já aponta os limites operacionais dos sistemas *Kanban* convencionais. Problemas como a perda de cartões, falhas na comunicação entre as etapas do processo e a baixa visibilidade do inventário são recorrentes em ambientes que ainda dependem de registros físicos e controle visual.

Nesse contexto, a introdução da tecnologia RFID tem se destacado como uma solução promissora. Estudos como os de Zhang *et al.* (2008), Su *et al.* (2009) e Tabanli *et al.* (2013) mostraram que a adoção do RFID no *Kanban* automatiza a coleta de dados, aumenta a rastreabilidade, reduz erros operacionais e melhora significativamente a eficiência logística.

No entanto, embora a literatura documente esses benefícios em contextos produtivos estáveis, ainda há uma lacuna significativa quando se trata de ambientes industriais que operam sob condições adversas, como alta temperatura, umidade elevada, tensão elétrica de 420 V e calor extremo como ocorre no setor de pintura por imersão.

Nessas situações, tanto os cartões físicos quanto os dispositivos eletrônicos ficam sujeitos a falhas por desgaste térmico, interferências eletromagnéticas e degradação de materiais, comprometendo a confiabilidade do sistema.

Poucos estudos (ver análise bibliométrica adiante) exploram a viabilidade da aplicação do RFID em tais condições, tampouco oferecem diretrizes práticas sobre como adaptar essas soluções tecnológicas a realidades produtivas mais severas.

Esse vazio teórico e metodológico evidenciou uma oportunidade de contribuição: investigar como a tecnologia RFID pode ser utilizada de maneira eficaz para mitigar a inversão de *Kanbans* em ambientes agressivos, oferecendo soluções aplicáveis a setores que enfrentam realidades semelhantes.

Dessa forma, o presente estudo não apenas buscou compreender o impacto dos problemas no gerenciamento do *Kanban*, como também se propôs a fortalecer os fundamentos teóricos relacionados à gestão desse sistema.

Buscou-se, assim, poderá fornecer diretrizes e ferramentas que ajudem a prevenir a inversão de *Kanbans*, promovendo melhorias operacionais, redução de desperdícios e maior alinhamento com os princípios da Indústria 4.0 (I4.0). Tais resultados têm o potencial de gerar impacto direto na engenharia de produção, sobretudo em setores que operam com processos industriais desafiadores.

Buscando identificar os desafios científicos e tecnológicos associados ao problema da inversão de *kanbans*, bem como propostas de soluções, foi realizada uma análise bibliométrica com as palavras chaves: Identificação por Radiofrequência (Radio Frequency Identification - RFID) e seus sinônimos, "Radio Frequency Identification" OR " Auto-ID" OR "Contactless

Identification" OR " Smart Labels" com o objetivo de identificar tendências, colaborações internacionais e o impacto científico relacionado a esta tecnologia.

Utilizou-se na análise bibliométrica a base de dados da Scopus (<https://www.scopus.com/home.uri> Acesso em: 23 Junho 2025), considerada uma das maiores bases de dados de literatura acadêmica (MUNIZ JR. *et al.*, 2024) e ferramentas para a análise bibliométrica como o *Bibliometrix* em R (Smajic *et al.*, 2023) (SMAJIC *et al.*, 2023) e ferramentas para visualizar redes de co-ocorrência e análises de cluster, o *VOSviewer* (Shahaharudin *et al.*, 2024) e ferramentas *Python* (ZAIRBANI *et al.*, 2024), que é uma linguagem de propósito geral, que pode ser usada para uma ampla variedade de aplicações.

Como ilustrado na Tabela 1 foram analisados 9.197 documentos, com 8.679 artigos e 518 artigos de revisão publicados entre 1985 e 2024. O número de publicações tem crescido a uma taxa anual de 16,3%, e a média de citações por documento é de 24,3, mostrando que os artigos sobre RFID têm uma boa aceitação na comunidade acadêmica.

Tabela 1: Resumo da análise descritiva.

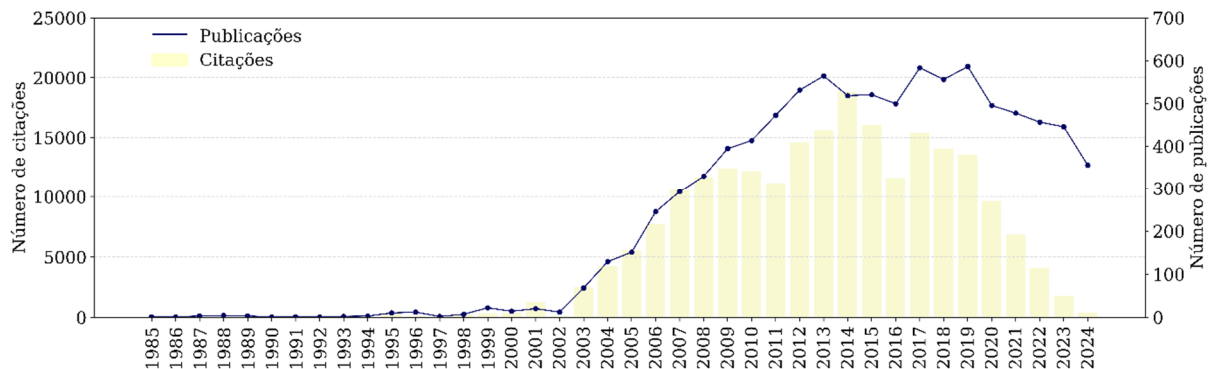
Descrição	Resultados
Número total de documentos	9.197
Tipo de documento: artigo	8.679
Tipo de documento: artigo de revisão	518
Período (anos)	1985-2024
Número de fontes de publicação (como revistas, livros, etc.)	1.514
Taxa de crescimento anual (%)	16,3%
Número médio de citações por documento	24,3
Número total de palavras-chave do autor	17.983
Número total de palavras-chave geradas automaticamente a partir dos títulos dos artigos citados (Keywords Plus)	32.307
Número total de autores	16.766
Autores de documentos de autoria única	753
Autores de documentos de autoria múltipla	16.013
Total de documentos de autoria única	941
Total de documentos de autoria múltipla	8.256
Número de coautores por documento	3,6

Proporção de coautores internacionais (%)	19,7%
---	-------

Fonte: Elaboração própria com dados da Scopus, utilizando o pacote Bibliometrix do software R

Conforme pode ser visto na Figura 1, houve uma evolução no número de publicações e citações por ano relacionadas ao tema RFID, observando-se um crescimento gradual no número de publicações a partir de 2000, com um aumento mais significativo até atingir um pico entre 2014 e 2016. Após esse período, houve uma tendência de leve declínio até 2024.

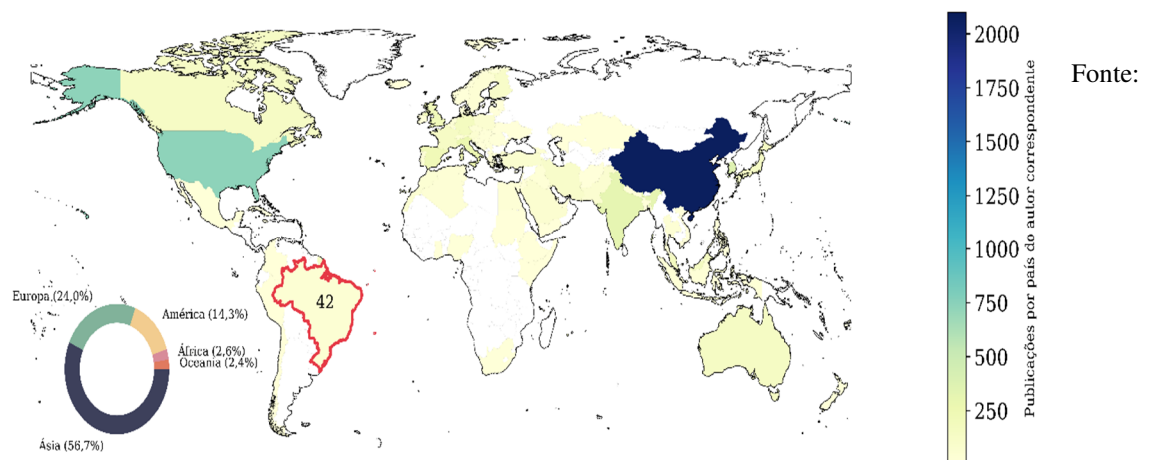
Figura 1: Número de publicações e citações por ano.



Fonte: Elaboração própria com dados da Scopus, utilizando Python (2024)

A Figura 2 ilustra a distribuição de publicações por país do autor correspondente, com destaque para a Ásia, que concentrou 56,7% do total. A China liderou em número de publicações, indicada pela coloração mais escura no mapa. A Europa contribuiu com 24,0%, e a América com 14,3%. África e Oceania tiveram menores participações, com 2,6% e 2,4%. No Brasil, foram identificadas apenas 42 publicações.

Figura 2: Publicações por país do autor correspondente.

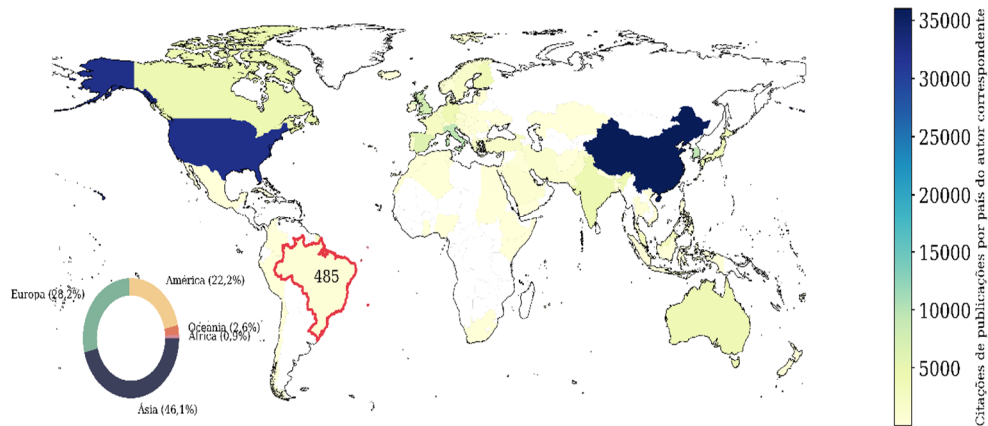


Elaboração própria com dados da Scopus, utilizando Python (2024)

A Figura 3 apresentou a distribuição de citações de publicações por país do autor correspondente. A Ásia concentrou 46,1% das citações, com a China liderando em destaque. A Europa representou 30,7%, enquanto a América ficou com 22,2%. Oceania e África tiveram as

menores participações, com 0,9% e 0,6%. No Brasil, foram observadas 485 citações. Os dados sugeriram um alto impacto das pesquisas na Ásia e Europa.

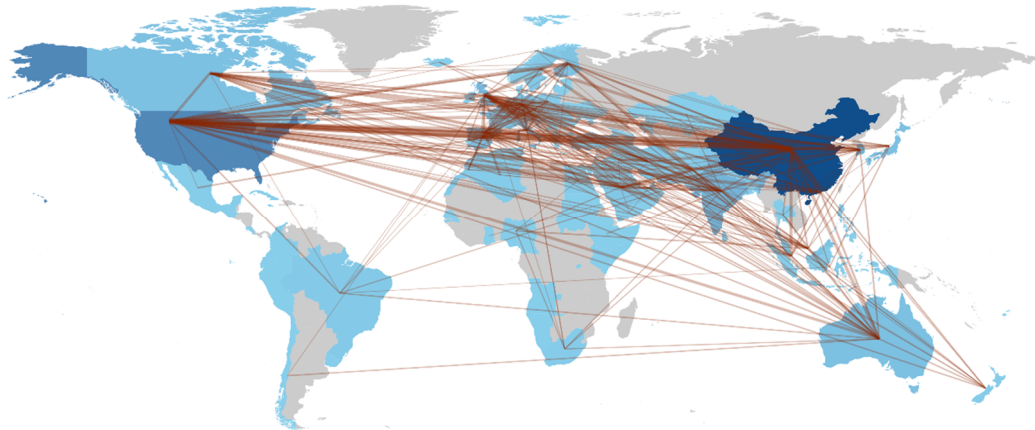
Figura 3: Citações de publicações por país do autor correspondente.



Fonte: Elaboração própria com dados da Scopus, utilizando Python (2024)

A análise feita permitiu obter mapas de colaboração entre países, destacando a importância de parcerias internacionais para a pesquisa em RFID. Essas colaborações são essenciais para o avanço e disseminação global do conhecimento na área. Pode-se observar na Figura 4 que o tema RFID é pouco abordado no Brasil.

Figura 4: Colaboração em publicações entre países.



Fonte: Elaboração própria com dados da Scopus, utilizando a Linguagem Python

As Figuras 5 e 6 mostram os resultados com o uso do software VOSviewer que identificou 987 palavras-chave dos autores, atendendo ao critério de aparecer pelo menos 5 vezes no conjunto de dados. Nas Figuras 5 e 6, o termo "RFID" é o nó central que indica sua relevância principal no conjunto de dados. Os temas mais próximos incluem "*Internet of Things*

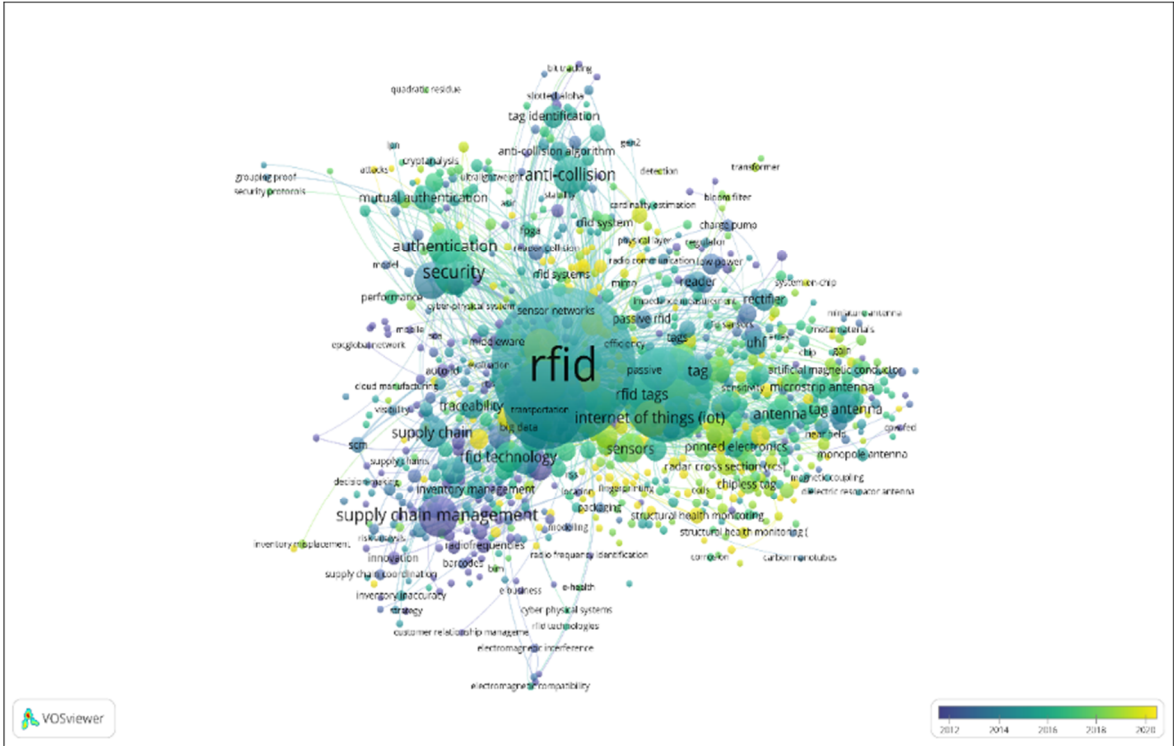
This network visualization illustrates the interconnectedness of various research topics in the field of RFID and IoT. The central node is 'rfid', which is highly connected to several major clusters:

- Supply Chain Management (Red Cluster):** Includes nodes like 'supply chain', 'inventory management', 'supply chain management', 'radio frequencies', 'barcodes', 'bim', 'e-business', 'e-health', 'cyber physical systems', 'rfid technologies', 'customer relationship management', 'electromagnetic interference', and 'electromagnetic compatibility'.
- Authentication and Security (Purple Cluster):** Includes nodes like 'authentication', 'security', 'mutual authentication', 'cryptanalysis', 'attacks', 'grouping proof', 'security protocols', 'model', 'performance', 'cyber-physical system', 'mobile', 'soa', 'middleware', 'evaluation', 'auto-id', 'rtos', 'cloud manufacturing', 'visibility', 'traceability', 'transportation', 'big data', 'supply chains', 'decision making', 'inventory misplacement', 'risk analysis', 'innovation', 'supply chain coordination', 'inventory inaccuracy', and 'strategy'.
- Internet of Things (IoT) and Sensors (Blue Cluster):** Includes nodes like 'internet of things (iot)', 'sensors', 'passive', 'rfid tags', 'tag', 'passive rfid', 'efficiency', 'tags', 'uhf', 'array', 'chip', 'gain', 'artificial magnetic conductor', 'sensitivity', 'microstrip antenna', 'antenna tag antenna', 'near field', 'monopole antenna', 'magnetic coupling', 'dielectric resonator antenna', 'printed electronics', 'radar cross section (rscs)', 'chipless tag', 'coils', 'structural health monitoring', 'structural health monitoring (s)', 'corrosion', and 'carbon nanotubes'.
- Antenna and RF (Green Cluster):** Includes nodes like 'antenna', 'miniature antenna', 'metamaterials', 'chip', 'gain', 'artificial magnetic conductor', 'sensitivity', 'microstrip antenna', 'near field', 'monopole antenna', 'magnetic coupling', 'dielectric resonator antenna', 'printed electronics', 'radar cross section (rscs)', 'chipless tag', 'coils', 'structural health monitoring', 'structural health monitoring (s)', 'corrosion', and 'carbon nanotubes'.
- RFID Systems and Applications (Orange Cluster):** Includes nodes like 'rfid system', 'rfid systems', 'reader collision', 'rfid systems', 'mimo', 'impedance measurement', 'rectifier', 'rfid sensors', 'uhf', 'array', 'chip', 'gain', 'artificial magnetic conductor', 'sensitivity', 'microstrip antenna', 'antenna tag antenna', 'near field', 'monopole antenna', 'magnetic coupling', 'dielectric resonator antenna', 'printed electronics', 'radar cross section (rscs)', 'chipless tag', 'coils', 'structural health monitoring', 'structural health monitoring (s)', 'corrosion', and 'carbon nanotubes'.
- Other Topics (Yellow/Green Cluster):** Includes nodes like 'quadratic residue', 'bit tracking', 'tag identification', 'anti-collision algorithm', 'gen2', 'detection', 'transformer', 'biomimetic', 'charge pump', 'regulator', 'low power', 'reader', 'system-on-chip', 'miniature antenna', 'metamaterials', 'chip', 'gain', 'artificial magnetic conductor', 'sensitivity', 'microstrip antenna', 'antenna tag antenna', 'near field', 'monopole antenna', 'magnetic coupling', 'dielectric resonator antenna', 'printed electronics', 'radar cross section (rscs)', 'chipless tag', 'coils', 'structural health monitoring', 'structural health monitoring (s)', 'corrosion', and 'carbon nanotubes'.

The visualization shows a dense network of connections between these clusters, indicating a highly interdisciplinary and interconnected research landscape.

Fonte: Elaboração própria com dados da Scopus, utilizando o software VOSviewer.

Figura 6: Mapa de rede de palavras-chave ao longo do tempo.



Fonte: Elaboração própria com dados da Scopus, utilizando o software VOSviewer.

Em uma segunda etapa, foram combinadas estas palavras-chave já exploradas em conjunto com a palavra-chave *Kanban*, e foi possível identificar, conforme está na Tabela 2, a análise descritiva de 13 documentos, incluindo 10 artigos e 3 de revisão, publicados entre 2004 e 2024. Foram usadas 13 fontes, com 44 palavras-chave de autoria e 115 geradas automaticamente. Houve 33 autores, sendo 3 com autoria única e 30 com coautoria. A média foi de 2,5 coautores por documento, e 7,7% eram internacionais.

Tabela 2: Resumo da análise descritiva.

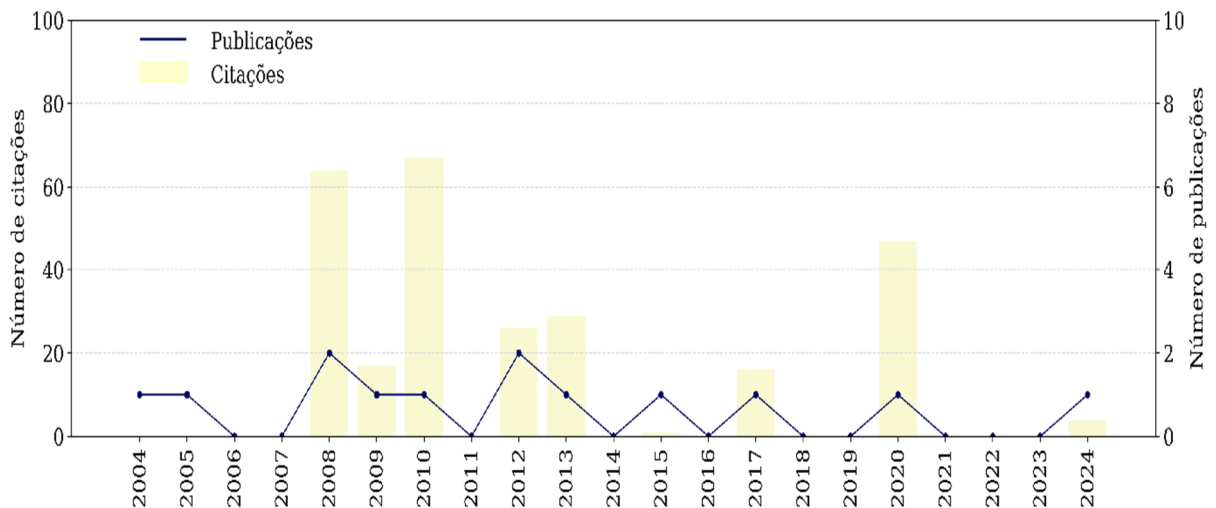
Descrição	Resultados
Número total de documentos	13
Tipo de documento: artigo	10
Tipo de documento: artigo de revisão	3
Período (anos)	2004-2024
Número de fontes de publicação (como revistas, livros, etc.)	13
Número total de palavras-chave do autor	44
Número total de palavras-chave geradas automaticamente a partir dos títulos dos artigos citados (Keywords Plus)	115
Número total de autores	33

Autores de documentos de autoria única	3
Autores de documentos de autoria múltipla	30
Total de documentos de autoria única	3
Total de documentos de autoria múltipla	10
Número de coautores por documento	2,5
Proporção de coautores internacionais (%)	7,7%

Fonte: Elaboração própria com dados da Scopus, utilizando o pacote Bibliometrix do software R

Já na Figura 7 estão ilustrados o número de publicações e citações por ano entre 2004 e 2024. Observou-se que, embora as publicações tenham sido esporádicas ao longo do período, os anos de 2008, 2010 e 2020 apresentaram picos de citações. A maior concentração de publicações ocorreu em 2010 e 2020, sugerindo que esses anos foram períodos de maior produção acadêmica.

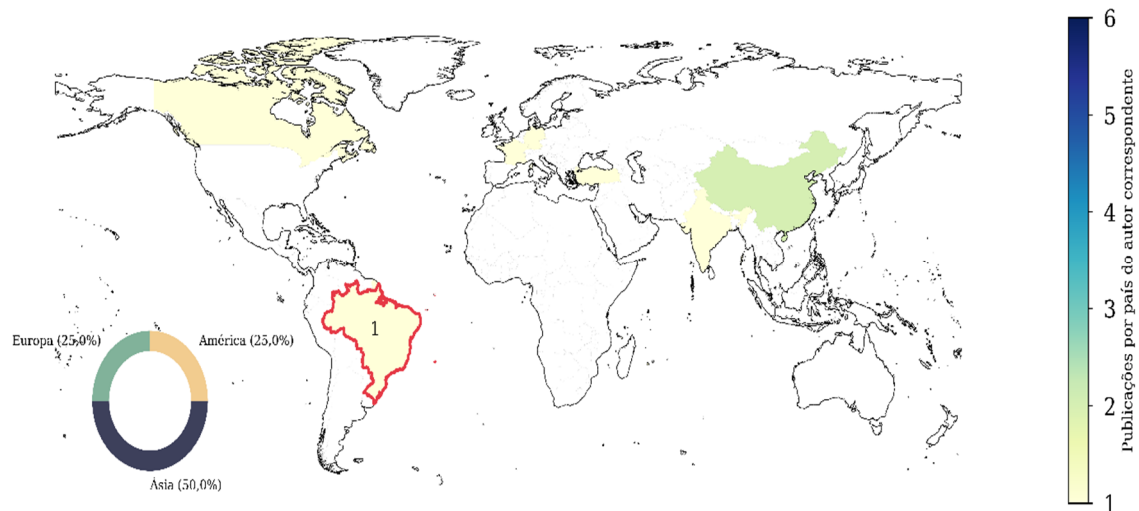
Figura 7: Número de publicações e citações por ano.



Fonte: Elaboração própria com dados da Scopus, utilizando a Linguagem Python.

De acordo com os dados mostrados na Figura 8, a distribuição de publicações por país do autor correspondente indicou que a Ásia concentrou 50% das publicações, seguida pela Europa e América, com 25% cada. O mapa na Figura 8 destacou o Brasil com 1 publicação, evidenciando uma contribuição limitada. As cores mais escuras na Ásia sugeriram uma maior concentração de publicações, indicando que a maioria dos estudos analisados teve origem nessa região.

Figura 8: Publicações por país do autor correspondente.



Fonte: Elaboração própria com dados da Scopus, utilizando a Linguagem Python.

A Figura 9 mostra a distribuição de citações de publicações por país do autor correspondente, indicando que a Ásia concentrou 57% das citações, seguida pela América com 34% e pela Europa com 9%. O mapa da Figura 9 destaca o Brasil com 16 citações, evidenciando uma contribuição moderada. As áreas mais escuras na Ásia e na América do Norte indicaram uma maior concentração de citações, sugerindo que os estudos dessas regiões tiveram maior impacto.

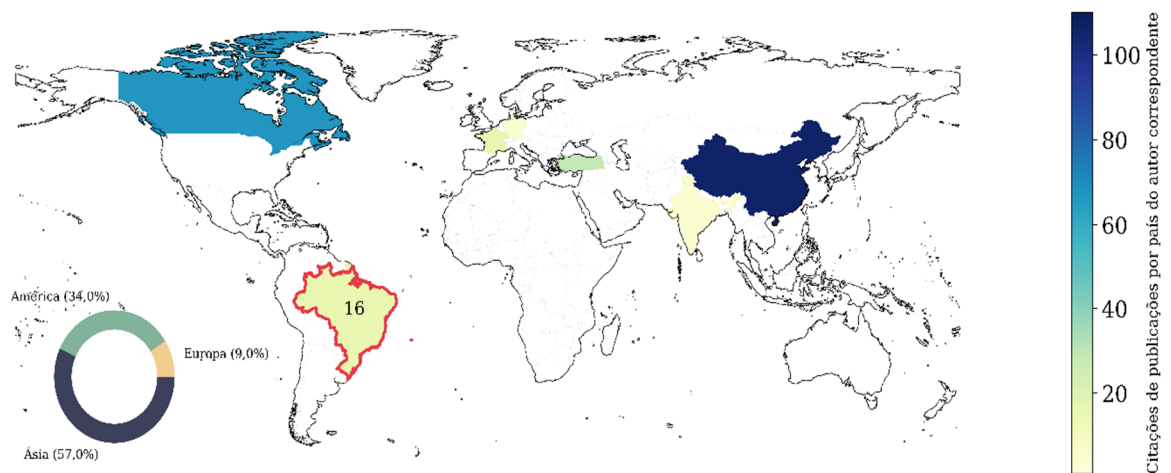


Figura 9: Citações de publicações por país do autor correspondente.

Fonte: Elaboração própria com dados da Scopus, utilizando a Linguagem Python.

As Figuras 10 e 11 mostram os resultados pelo VOSviewer, identificando 44 palavras-chave dos autores que atenderam ao critério de aparecer pelo menos uma vez no conjunto de dados. O grupo centraliza o termo "RFID" conectado com tópicos como "*value stream*

Continuando a análise bibliométrica, a sequência de busca utilizada foi com palavras-chave e *strings*, conforme sugestão de (Ribeiro *et al.* 2022) no período de 2008 a 2024: "*industr* 4.0*" OR "*manufactur* of the future*" OR "*future manufactur**" OR "*advanced manufactur* technolog**" OR "*smart* factor**" OR "*digitalizat**" OR "*smart* manufactur**" AND *Kanban*.

Nessa busca foram selecionados inicialmente 66 artigos, e, quando se limitou com o filtro para as áreas de negócio de *Business, Management and Accounting*, foram selecionados 52 artigos, e, acrescentando-se o filtro para apenas artigos em inglês, obteve-se, finalmente, 16 artigos conforme está descrito no Quadro 1.

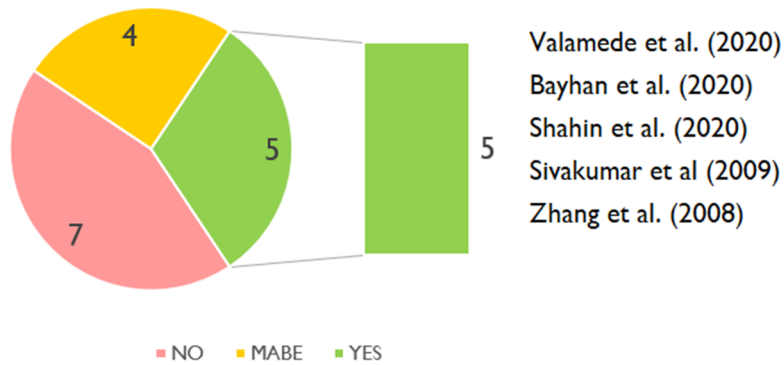
Todos os títulos e resumos foram lidos e classificados os artigos por meio das siglas Y (*Yes*), N(*NO*) e M(*Maybe*), sendo que todos os artigos classificados com Y tiveram sua leitura completa, conforme ilustrado na Figura 12.

Quadro 1 – Seleção de artigos na base Scopus

Item	Description	Total
Data Base	Scopus.com	
Period	2008 to 2024	
Search within	Article title	
	Abstract	
	Keywords	
Search String	"industr* 4.0" OR "manufactur* of the future" OR "future manufactur*" OR "advanced manufactur* technolog*" OR "smart* factor*" OR "digitalizat*" OR "smart* manufactur*"	66
AND	kanban	
Subject area	Limited to Business, Management and Accounting, Engineering	52
Document type	Article	16
Language	English	16

Fonte: Elaboração própria com dados da Scopus

Figura 12. Gráfico da seleção de artigos



Fonte: Base Scopus (<https://www-periodicos-capes-gov-br.ez87.periodicos.capes.gov.br/>)

Uma segunda sequência de busca foi utilizada com as strings "*Toyota Production System*" AND "*Kanban System*". Foram selecionados 17 artigos, e, quando se fez a limitação para as áreas de *Business, Management and Accounting*, restaram 07 artigos em inglês e foi realizada uma breve leitura dos resumos para refinar a seleção, cujos resultados estão no Quadro 2.

Quadro 2 – Seleção de artigos na base Scopus

Item	Description	Total
Data Base	Scopus.com	
Period	From - to	
Search within	Article title	
	Abstract	
	Keywords	
Search String	"Toyota Production System" AND " <i>Kanban System</i> "	17
Subject area	Limited to Business, Management and Accounting	7

Fonte: Elaboração própria com dados da Scopus

Após esta análise bibliométrica e a leitura dos artigos selecionados pode-se estabelecer alguns desafios científicos e tecnológicos associados ao problema em questão que é a inversão de *kanbans*.

A indústria automotiva passa por constantes mudanças para manter sua competitividade no mercado, esse processo exige uma modernização abrangente que inclui avanços técnicos, tecnológicas e aprimoramento das habilidades humanas (SUNDARRAJAN e KRISHNAN, 2024).

Para Hansen *et al.* (2024) existe uma falta de exemplos sobre a implementação perfeita da I4.0, nesse artigo citado, os autores buscaram responder à questão: os gerentes e trabalhadores das empresas de manufatura de hoje estão realmente preparados para isso?

O desafio no desenvolvimento desta dissertação reside na adaptação dessas inovações tecnológicas citadas nas seções anteriores ao ambiente de produção automotiva caracterizado por alta complexidade e dinâmica.

Assim, em consonância com o que foi afirmado por (SEGURA *et al.*, 2020), a importância teórica do projeto reside na intersecção entre Gestão da Produção Enxuta e a I4.0, mais especificamente no uso de IoT para monitoramento em tempo real dos processos produtivos. Em suma, este trabalho contribuirá para o campo da engenharia ao aprimorar a aplicação dos princípios *LM* e oferecer uma ponte com as novas demandas de digitalização e flexibilidade da I4.0 (BADHOTIYA *et al.*, 2024b).

De fato, a implementação de sistemas de monitoramento em tempo real capaz de identificar e mitigar problemas antes que ocorram, também é um obstáculo significativo. Além disso, a necessidade de desenvolver interfaces amigáveis para os trabalhadores que facilitem a interação com tecnologias avançadas sem sobrecarregar ou desmotivar, exige uma abordagem cuidadosa e centrada no ser humano (WANG *et al.*, 2024)

As pesquisas mencionadas nas seções anterior abordaram diferentes aspectos relacionados à evolução das tecnologias de produção e à integração dos conceitos da I4.0, mas nenhuma delas tratou de forma abrangente a questão da inversão de *Kanbans* na manufatura automotiva.

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

A produção de peças de reposição desempenha um papel fundamental na manutenção da eficiência e confiabilidade das redes de concessionárias, garantindo a disponibilidade dos componentes necessários para atender prontamente às demandas dos clientes (ZHANG *et al.*, 2021). Um fornecimento ágil e preciso dessas peças é essencial para assegurar a satisfação dos consumidores, minimizar tempos de espera e fortalecer a reputação da marca no mercado automotivo (ACHETOUI *et al.*, 2019).

A aquisição de dados quantitativos foi feita por meio da análise de dados históricos de Relatório de Não-Conformidade Logístico (*Logistics Non-Conformity Report - RNCL*) do período de 2020 até 2024 emitido pelo departamento de Logística de Peças de Reposição (*Service Parts Logistics - SPL*).

A aquisição de dados qualitativos foi por intermédio do método Delphi (LINSTONE *et al.*, (2002), que é um método estruturado de pesquisa qualitativa utilizado para obter consensos entre um grupo de especialistas sobre um tema específico. O Delphi tem sido amplamente utilizado em pesquisas que envolvem previsão, planejamento estratégico, desenvolvimento de diretrizes ou tomadas de decisão.

Conforme afirmado por Bueno *et al.* (2024), a técnica Delphi consiste em um processo iterativo de consulta, no qual um grupo de colaboradores, selecionados por sua experiência e envolvimento com o processo de *Kanban*, será convidado a participar de rodadas sucessivas de questionários.

Essas rodadas de consultas permitirão a revisão das respostas com base no *feedback* consolidado do grupo. O método garante o anonimato dos participantes, reduzindo possíveis influências de hierarquia ou de opinião dominante e incentivando uma contribuição mais genuína e imparcial.

As fases da técnica Delphi, conforme explicado por Bueno *et al.* (2024), incluem:

1. Rodada inicial: os colaboradores serão questionados sobre suas percepções e sugestões para resolver a inversão de *Kanban* no processo.
2. *Feedback*: as respostas serão coletadas e sintetizadas, oferecendo aos participantes uma visão do consenso do grupo.
3. Revisão: os participantes terão a oportunidade de revisar suas respostas com base nas opiniões coletivas apresentadas, podendo ajustar suas respostas após refletirem sobre os pontos de vista e argumentos compartilhados pelos demais membros do grupo.
4. Avaliação final: após a conclusão de todas as rodadas, será feita uma análise das respostas finais para identificar as melhores práticas e possíveis soluções para o problema.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em mais três capítulos além deste capítulo introdutório.

O segundo capítulo compreende a revisão da literatura, fundamentando-se em referências acadêmicas e estudos prévios que discutem a problemática da inversão de *Kanbans* no contexto da manufatura enxuta e da I4.0. Essa seção tem como objetivo fornecer embasamento teórico e consolidar o entendimento sobre o tema.

No terceiro capítulo, apresenta-se uma descrição da empresa estudada, bem como qual foi o problema tratado. Detalha-se a aplicação do método Delphi e os procedimentos

empregados na obtenção e análise dos dados, abordando tanto os aspectos qualitativos quanto quantitativos dos resultados obtidos.

Por fim, o quarto capítulo apresenta as conclusões do estudo, discutindo as implicações práticas dos achados e propondo recomendações para estudos futuros, de modo a contribuir para o avanço da gestão de sistemas *Kanban* e sua integração com tecnologias emergentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A evolução industrial trouxe diferentes desafios e soluções para a relação entre oferta e demanda Yin *et al.*, (2018). A Indústria 1.0 (I1.0) focou na produção em massa, com demanda baseada em volume e ajuste de preço (TIEN, 2020).

Na sequência, a Indústria 2.0 (I2.0) expandiu para incluir variedade, com inovações como a produção em massa de Ford e o Sistema Toyota (JIMÉNEZ e PARTEARROYO *et al.*, 2024).

Por sua vez a Indústria 3.0 (I3.0) adicionou a dimensão do tempo de entrega, impulsionada pela digitalização e modularização dos produtos, exigindo maior flexibilidade nos sistemas de manufatura (HIEN *et al.*, 2024).

Com o aumento da adoção das tecnologias digitais nas indústrias ao redor do mundo foi reconhecida, como uma nova era, a, assim chamada, Quarta Revolução industrial 4.0 (I4.0) Segura *et al.*, (2020). Finalmente, surgiu a Indústria 5.0 (I5.0) que é uma nova fase da revolução industrial que foca na integração entre humanos e máquinas (GRABOWSKA *et al.*, 2022).

Passa-se a apresentar os conceitos e técnicas que foram utilizadas nessa dissertação.

2.2 SISTEMA KANBAN

O sistema *Kanban* é uma ferramenta de controle de produção e logística que teve origem no Sistema Toyota de Produção (Toyota Production System – TPS) na década de 1940, com o intuito de aumentar a eficiência operacional e reduzir o desperdício nas linhas de produção. Desenvolvido como parte da evolução industrial no contexto do LM, o *Kanban* passou a ser amplamente adotado em ambientes industriais que priorizam a melhoria contínua e a eliminação de desperdícios (MASMALI, 2021).

O *Kanban* funciona como um sistema de gerenciamento visual que organiza e sinaliza o fluxo de trabalho nos processos produtivos Fentes-Del Burgo *et al.*, (2024). Sua principal função é sincronizar o fluxo de materiais com a demanda do cliente, utilizando cartões visuais para indicar a necessidade de reposição de componentes ou produtos em diferentes etapas da produção (RAHARDJO *et al.*, (2023). Em resumo, trata-se de um elemento essencial para a implementação dos princípios do LM, contribuindo para a eliminação de desperdícios e o aumento da eficiência (MASMALI, 2021).

Por meio da lógica de reposição puxada, o *Kanban* permite que as operações só sejam iniciadas quando houver uma demanda real, promovendo um fluxo de produção mais enxuto e eficiente. Cada cartão representa uma ordem de produção ou movimentação, contendo informações essenciais como código do item, quantidade, estrutura da peça, foto, pontos de checagem, destino e origem (ROMEIRA *et al.*, 2021).

De acordo com Soria *et al.* (2024), o sistema *Kanban* tem eficácia comprovada, principalmente em ambientes de produção seriada, porém apresenta fragilidades operacionais. Um dos problemas mais recorrentes é a chamada inversão de *Kanbans*, situação em que os cartões são deslocados ou processados fora da sequência correta. Esse erro compromete diretamente a rastreabilidade do material, podendo resultar na entrega de itens incorretos ao cliente, afetando prazos, qualidade e, consequentemente, a satisfação do consumidor final.

Dessa forma, o aprofundamento sobre o funcionamento do *Kanban* é essencial para compreender não apenas suas vantagens, mas também os desafios que surgem em sua aplicação prática, especialmente em ambientes industriais com alta variabilidade e condições operacionais adversas.

2.3 DESAFIOS DO KANBAN TRADICIONAL

Embora o sistema *Kanban* proporcione benefícios significativos à gestão da produção e do fluxo de materiais, sua aplicação em formato tradicional, baseado no uso físico de cartões, impõe uma série de limitações (TAN *et al.*, 2023).

Em contextos industriais dinâmicos, onde há constantes variações de demanda e exigência por maior rastreabilidade, essas limitações podem comprometer o desempenho operacional e gerar impactos relevantes em indicadores de qualidade, produtividade e atendimento ao cliente (PATEL *et al.*, 2013).

Entre os principais desafios enfrentados pelos sistemas *Kanban* manuais, destacam-se a perda ou extravio de cartões, a dificuldade de atualização de informações em tempo real e a baixa visibilidade do estoque. Esses fatores dificultam o acompanhamento do status dos itens dentro do fluxo produtivo, tornando a resposta às alterações da demanda mais lenta e propensa às falhas (PAPADIMITROPOULOU *et al.*, 2023).

Conforme relatado por Su *et al.* (2009), é comum ocorrerem erros na manipulação de cartões, como o envio incorreto para processos errados ou a troca de posições entre cartões. Tais falhas impactam diretamente a acuracidade das informações, o que compromete a tomada

de decisão e pode resultar na inversão de *Kanbans*, problema crítico para a confiabilidade do sistema.

De acordo com Tabanli e Ertay (2013), a baixa visibilidade sobre o inventário e a ausência de monitoramento automatizado levam a um aumento de custos operacionais, dificuldade na identificação de gargalos e falhas na reposição de materiais. Esses desafios tornam-se ainda mais evidentes em ambientes industriais complexos, nos quais a rastreabilidade precisa e a agilidade na resposta são indispensáveis.

Diante desse cenário, observa-se a necessidade de modernizar o sistema *Kanban* por meio da adoção de tecnologias capazes de superar os limites da gestão manual, garantindo maior confiabilidade, flexibilidade e eficiência na operação.

2.4 TECNOLOGIA RFID NO KANBAN

Frente às limitações impostas pelos sistemas tradicionais de *Kanban*, a busca por alternativas mais robustas levou à integração de tecnologias emergentes no controle da produção. Entre elas, a Identificação por Rádio Frequência (*Radio Frequency Identification* – RFID) tem ganhado destaque por sua capacidade de automatizar processos e garantir maior confiabilidade na gestão de materiais (XIAOJU e DINGWEI, 2016).

Para Nassar e Vieira (2014), a RFID consiste no uso de etiquetas eletrônicas capazes de armazenar e transmitir dados via ondas de rádio, sem a necessidade de contato direto ou linha de visão entre leitor e etiqueta. Essa característica permite que informações sobre o item movimentado como; localização, quantidade e status, sejam capturadas de forma automática e em tempo real, sem a intervenção humana.

Quando aplicada ao *Kanban*, essa tecnologia substitui os cartões físicos por etiquetas inteligentes, proporcionando um nível mais alto de rastreabilidade e agilidade. Zhang e Jiang (2008) destacaram que essa automação torna possível acompanhar o fluxo de peças ao longo de toda a cadeia produtiva, identificando desvios com maior rapidez e precisão. De forma complementar, o sistema se adapta melhor às flutuações da demanda, uma vez que elimina a rigidez e as fragilidades da gestão manual.

Su *et al.* (2009) complementaram essa visão ao apontar que a implementação do RFID reduz significativamente os erros de manipulação, as perdas de cartões e as falhas na comunicação entre os setores. Já Tabanli e Ertay (2013) relataram que, ao adotar o *Kanban* eletrônico baseado em RFID, uma empresa conseguiu não apenas melhorar a visibilidade de seus estoques, mas também eliminar gargalos logísticos e reduzir custos operacionais.

Esses benefícios são especialmente relevantes em processos produtivos complexos, nos quais a tomada de decisão precisa ser rápida e baseada em dados confiáveis (GHELICHI e ABDELGAWAD, 2014a). A RFID, ao automatizar a coleta dessas informações, fortalece o controle sobre o sistema *Kanban* e cria as condições para uma gestão mais eficaz, contribuindo diretamente para a estabilidade do fluxo produtivo (XIAOHUA e JUAN, 2011).

Ainda assim, mesmo com os avanços trazidos por essa tecnologia, os estudos revisados não exploram com profundidade os desafios específicos enfrentados em ambientes industriais adversos lacuna que será discutida no Capítulo 3.

2.5 INTEGRAÇÃO DO RFID COM SOFTWARE DE GESTÃO DE DADOS

A aplicação isolada da tecnologia RFID, embora traga ganhos substanciais em rastreabilidade e automação da coleta de dados, revela-se limitada caso os dados capturados não sejam devidamente organizados, processados e analisados em tempo real. Para que o potencial da Identificação por Rádio Frequência seja plenamente explorado no controle do *Kanban* e na mitigação de suas inversões, torna-se imprescindível a integração do RFID a sistemas de gestão e processamento de dados (NASSAR e VIEIRA, 2014).

Conforme observado por Tan e Sidhu, (2022), a sinergia entre RFID e plataformas de software robustas permite transformar dados brutos capturados no chão de fábrica em informações relevantes para a tomada de decisão, oferecendo visibilidade contínua sobre o fluxo de materiais e permitindo a rápida identificação de desvios.

Em um ambiente de produção sujeito a condições adversas, como alta umidade, temperaturas elevadas e tensões elétricas intensas, essa integração adquire papel ainda mais crítico, visto que a confiabilidade do sistema depende não apenas da captura de dados, mas também da sua interpretação e resposta automatizada.

Entre as principais abordagens encontradas na literatura para integrar RFID à gestão de processos produtivos, destacam-se:

- **Middleware de RFID:** Um software intermediário que gerencia a comunicação entre os leitores RFID e os sistemas corporativos, filtrando, consolidando e traduzindo os dados para padrões compatíveis com softwares de gestão (XIAOJU e DINGWEI, 2016). Esses middlewares são essenciais para lidar com grandes volumes de dados em tempo real, eliminando leituras duplicadas, erros de transmissão e inconsistências.
- **Integração com sistemas MES (Manufacturing Execution System - MES):** Os Sistemas de Execução de Manufatura permitem acompanhar e controlar, em tempo real, a

produção no chão de fábrica. A integração do RFID com o MES fortalece o monitoramento do status das ordens de produção, localização das peças e andamento dos processos, conforme apontado por (GHELICHI e ABDELGAWAD, 2014b).

- **Conexão com ERPs (Enterprise Resource Planning - ERPs):** Alguns projetos relataram a integração direta dos dados RFID a sistemas ERP, como SAP ou Oracle, para atualizar automaticamente estoques, pedidos de produção e status logísticos (TAN *et al.*, 2023). Essa estratégia permite que o RFID não apenas melhore a operação da fábrica, mas também alinhe informações estratégicas de toda a cadeia de suprimentos.
- **Aplicações em nuvem e IoT (Internet of Things – IoT):** A utilização de plataformas de Internet das Coisas (IoT) integradas a sistemas em nuvem amplia a capacidade de processamento, armazenamento e análise de dados capturados pelo RFID. Essa abordagem permite o monitoramento remoto do sistema *Kanban*, análise preditiva de falhas e resposta automática a inconsistências detectadas no processo (TAN e SIDHU, 2022).

Para mitigar a inversão de *Kanban* na empresa estudada, a proposta aqui descrita inclui não apenas a substituição dos cartões físicos por etiquetas RFID resistentes a condições severas, mas também a criação de uma arquitetura de software capaz de coletar, filtrar, armazenar e analisar os dados capturados. A integração com plataformas MES ou específicas de controle de produção permitirá a identificação imediata de desvios, alertando os operadores e gestores em tempo real, e promovendo ações corretivas ágeis.

A integração entre o RFID e um sistema de gestão robusto garante que os benefícios da automação sejam maximizados, alinhando-se aos princípios da I4.0 e promovendo ganhos efetivos em rastreabilidade, eficiência operacional e qualidade logística.

3 DESCRIÇÃO DA EMPRESA, DO PROBLEMA TRATADO E A SOLUÇÃO PROPOSTA

3.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DO PROBLEMA TRATADO

A empresa analisada neste estudo é uma das maiores montadoras automotivas do mundo, conhecida por sua excelência operacional e pelo forte compromisso com a qualidade em todas as etapas da produção.

Com fábricas no Brasil, ela se destaca não apenas pela capacidade de entregar veículos reconhecidos mundialmente, mas também pelo cuidado em manter processos enxutos, eficientes, alinhados às demandas do mercado e sua qualidade. Sua cultura organizacional valoriza a melhoria contínua e a inovação, tornando-se referência para outras indústrias que buscam aprimorar seus sistemas produtivos.

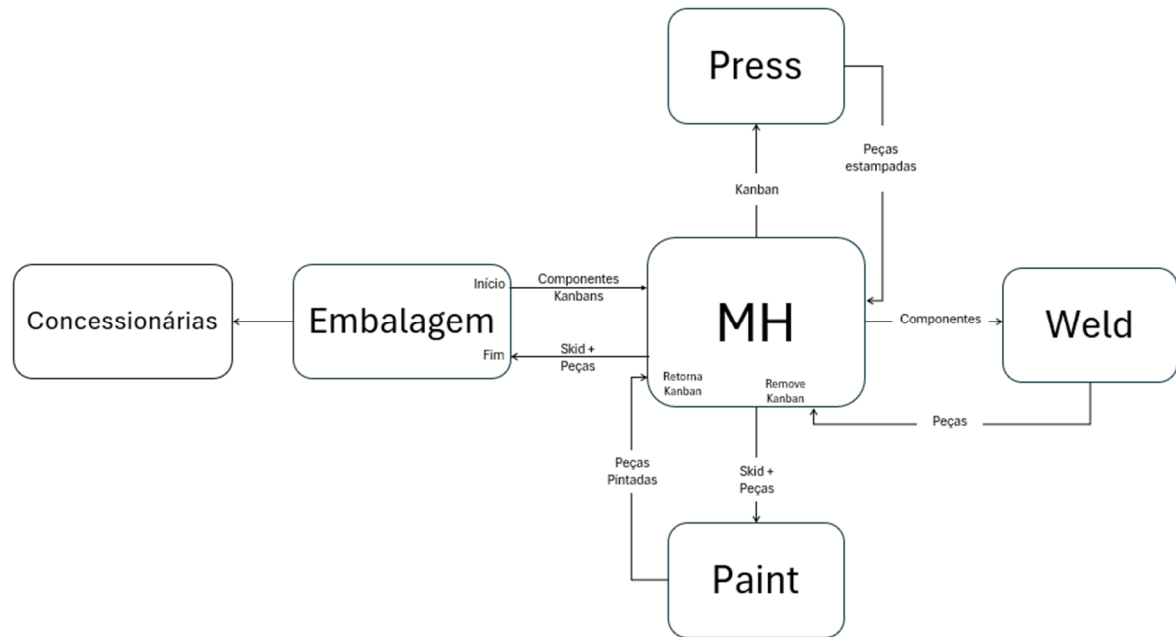
Nesta empresa, o sistema *Kanban* é utilizado no gerenciamento da produção e pintura de peças de reposição. O *Kanban* utilizado neste processo é confeccionado de papel, plástico e gacho metálico, contendo informações essenciais para a fabricação da peça e pontos de checagem para garantir que a peça pertença ao *kanban*, para cada peça é utilizado um *kanban*.

Após a fabricação das peças metálicas, elas são organizadas em cima de uma plataforma metálica com dispositivos de fixação específicos para cada grupo de peças, posteriormente é necessário aplicar uma camada de tinta para proteger a chapa, quando a peça é enviada para o setor de Pintura é necessário retirar o *kanban* da peça devido as condições adversas do processo.

O processo de pintura adotado pela empresa é realizado por imersão com umidade de 100%, incluindo processos químicos para limpeza de graxas e óleos, suas etapas são; banho desengraxante, fosfatização e aplicação de *Wash Primer*, é utilizado uma voltagem de 420 V para assegurar a aderência da tinta à base de água. A secagem ocorre em uma estufa, cuja temperatura atinge 250°C, garantindo a fixação e durabilidade do revestimento.

A Figura 13 mostra o fluxo da operação onde o nó central é o setor de Movimentação de Materiais (*Material Handling* - MH).

Figura 13: Fluxo da operação visão simplificada



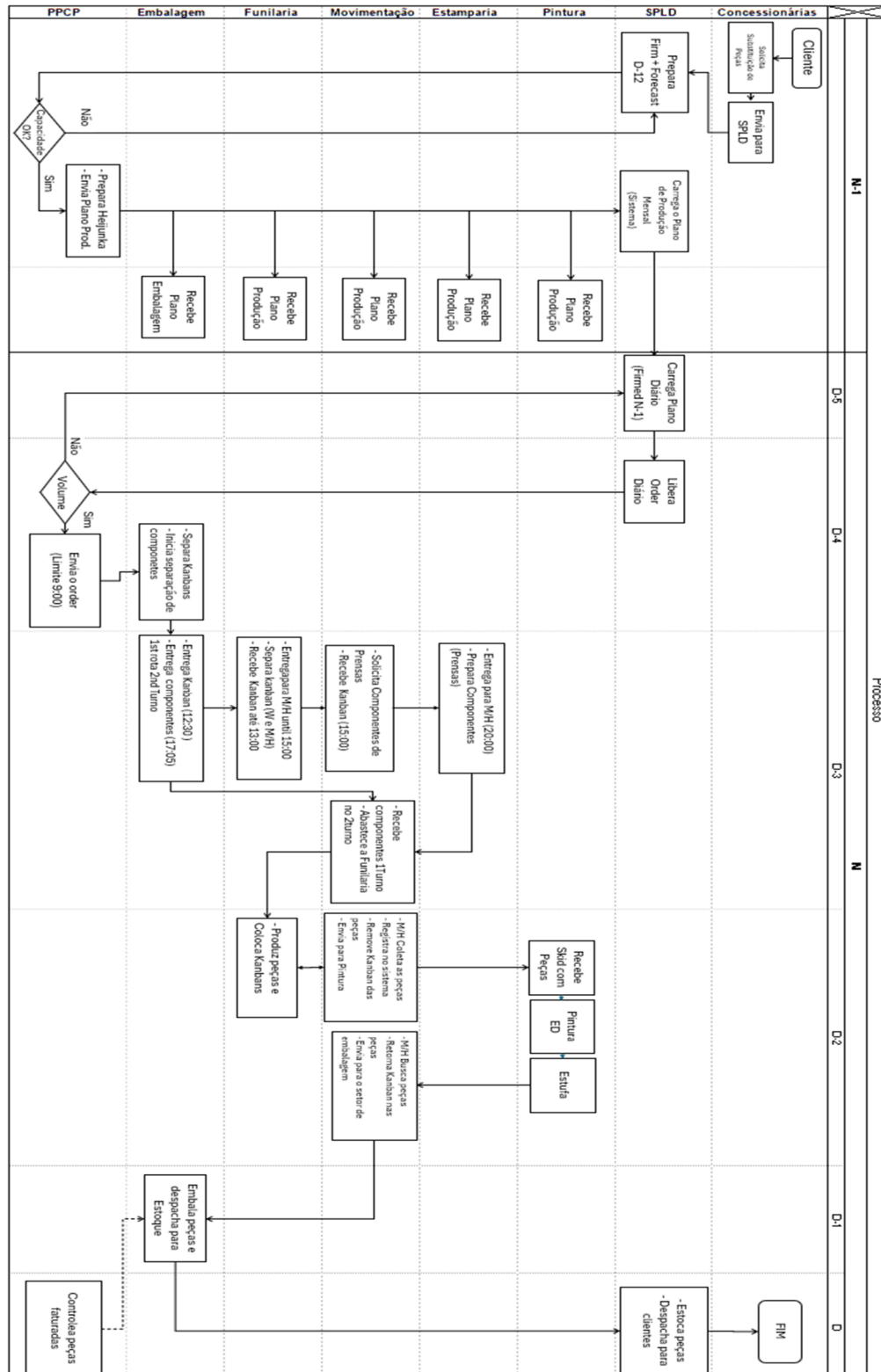
Fonte: Elaboração própria

O fluxo de trabalho demonstra um sistema baseado em *Kanban*, onde as peças passam por diferentes estágios de produção (estamparia, soldagem - *weld*, pintura - *paint* e embalagem) antes de serem enviadas para o armazém central e distribuídas para os clientes.

O MH desempenha um papel central na gestão logística, sendo responsável pelo controle preciso do fluxo de peças e *Kanbans* ao longo da cadeia produtiva, garante que os componentes estejam disponíveis nos momentos certos e nos locais adequados, evitando interrupções na produção, otimizando a eficiência operacional e contribuindo para que os processos sigam os princípios do *Just in Time* (JIT), essenciais para um sistema de manufatura enxuto e eficiente (GREEN *et al.*, 2010).

Na Figura 14 pode-se observar o fluxo desde o pedido da peça na concessionária, planejamento da produção, fluxo de materiais, produção, embalagem, estocagem e entrega da peça ao cliente em sua linha do tempo.

Figura 14: Fluxo da operação visão expandida



Fonte: Elaboração própria

Esse fluxograma da Figura 14 descreve o processo logístico e produtivo estruturado baseado no sistema *Kanban*, com foco na sincronização da produção e na entrega eficiente das

peças aos clientes. Ele ilustra como os pedidos, separação de materiais, produção, embalagem e expedição são organizados de forma integrada.

Nesse cenário, como Desafios Científicos e Tecnológicos, visando a mitigação do problema de ocorrência da inversão de *kanbans* na área de produção da empresa em estudo, buscou-se explorar os seguintes aspectos importantes:

- Quais novas tecnologias são possíveis de serem implementadas na linha de produção que suporte umidade, alta voltagem 420vlt, alta temperatura 250 graus e umidade de 100%?
- Qual seria uma proposta de monitoramento das peças em seu processo de fabricação?

3.2 DESENVOLVIMENTO E DESCRIÇÃO DA PROPOSTA

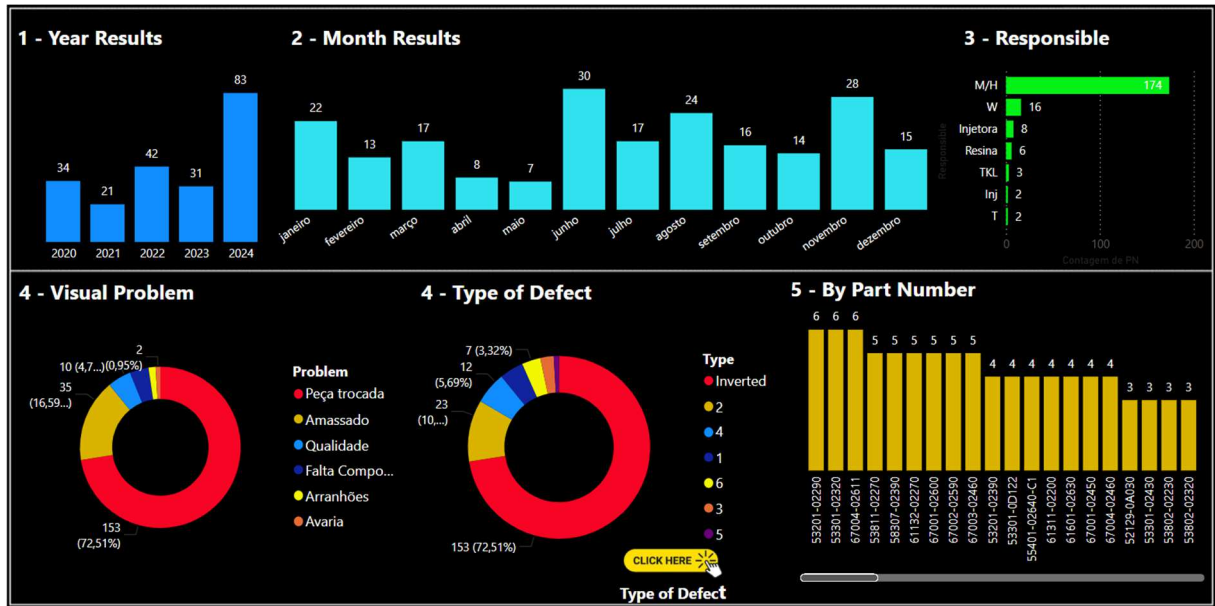
A proposta construída neste trabalho surgiu da necessidade real de resolver um problema que vem impactando diretamente a rotina da fábrica, a inversão dos *Kanbans* durante etapas críticas da produção.

Na Figura 15 pode-se observar a aquisição de dados quantitativos, feita por meio da análise de dados históricos de RNCL do período de 2020 até 2024 emitido pelo Departamento de SPL, e foi possível identificar os tipos de defeitos com maior índice de devolução de peças, bem como a etapa do processo em que essas falhas ocorreram com maior frequência.

Na Figura 15, em problemas visuais (*Visual Problems*), mostra-se os tipos de problemas visíveis identificados nas peças. Os dados indicam a frequência com que cada tipo ocorreu:

- **Peça trocada:** 153 ocorrências
- **Amassado:** 35 ocorrências
- **Qualidade:** 10 ocorrências
- **Falta componente:** 5 ocorrências
- **Arranhões:** 3 ocorrências
- **Avaria:** 5 ocorrências

Figura 15 – Controle de RNCL



Fonte: Elaboração própria

A grande maioria dos problemas visuais se refere a peça trocada, representando mais de 70% do total. Isso foi confirmado pelo que está ilustrado na Figura 15, na informação sobre o tipo de defeito (*type of defects*) que aponta que mais de 70% das peças estavam invertidas, isso sugere que há uma falha recorrente no controle, separação identificação correta das peças.

Ainda na Figura 15, na informação sobre o Responsável (*Responsible*), apresenta a quantidade de defeitos atribuída às diferentes áreas do processo produtivo. A análise é baseada na contagem de número das peças (*Part Number* - PN), ou seja, a quantidade de códigos de peça associados a cada responsável. Observe-se que a área MH é a principal responsável, com 174 ocorrências, o que representa a grande maioria dos defeitos registrados. Isso sugere que a movimentação interna é um ponto crítico e precisa de atenção imediata para redução de falhas.

Diante das condições extremas encontradas nesse ambiente, temperaturas que chegam a 250 °C, umidade total e alta voltagem, ficou claro que os cartões físicos de papel e plástico usados no processo não garantiam o nível de controle e rastreabilidade esperado. Era preciso pensar em algo mais robusto e alinhado aos tempos atuais.

Para avaliar a viabilidade da proposta desenvolvida e validar as decisões técnicas tomadas ao longo do processo, optou-se pela aplicação do método Delphi (ver na Figura 16 o questionário aplicado).

Figura 16 – Questionário 1

Instruções ao participante:

Você foi selecionado como especialista devido à sua experiência em algumas das áreas descritas (manufatura, logística, engenharia de produção ou tecnologia industrial). Solicitamos que responda com base em sua vivência prática, considerando viabilidade, riscos e oportunidades da proposta apresentada.

Questões:

1. Qual sua percepção sobre o impacto da inversão de *Kanbans* na eficiência logística e produtiva?
2. Em sua opinião, quais são os maiores desafios operacionais enfrentados na preparação dos Skids e gerenciamento dos *Kanbans*?
3. Você acredita que a substituição do *Kanban* físico por etiquetas RFID resistentes é tecnicamente viável? Justifique sua resposta.
4. Considerando sua experiência, quais critérios devem ser priorizados para garantir que o RFID funcione de forma confiável em ambientes agressivos com pintura por imersão (alta temperatura, umidade e tensão elétrica)?
5. A utilização de um middleware para organizar e transmitir os dados RFID ao MES e ERP parece aplicável na prática da sua empresa ou setor? Quais riscos você observa?
6. Que sugestões você daria para o aperfeiçoamento da proposta apresentada?
7. Deseja incluir alguma observação adicional relevante para o sucesso da solução?

Fonte: Elaboração própria

Essa abordagem foi escolhida por permitir a coleta estruturada de opiniões de especialistas da área, em um formato que favorece o amadurecimento das respostas ao longo de diferentes rodadas, sempre preservando o anonimato e evitando a influência direta entre os participantes.

O ponto de partida foi a seleção criteriosa dos especialistas que fariam parte do painel. A escolha considerou profissionais com experiência prática em chão de fábrica, engenharia de processos, logística industrial e tecnologia da informação aplicada à manufatura. Todos atuam nos setores diretamente relacionados ao ambiente industrial analisado. Essa diversidade foi importante para garantir visões complementares, tanto técnicas quanto operacionais.

A primeira rodada consistiu em apresentar aos participantes o cenário atual, com os desafios enfrentados em função da inversão de *Kanbans*, e a proposta elaborada com base na integração do RFID a um sistema de gestão. A partir disso, foram formuladas perguntas abertas e afirmativas avaliativas, permitindo que os especialistas opinassem sobre pontos como viabilidade técnica, aplicabilidade em condições extremas, impacto sobre os processos logísticos e possíveis obstáculos à implementação.

Com base nas contribuições iniciais, foi elaborado um segundo questionário (ver Figura 17), mais direcionado, que buscava refinar os pontos de consenso e destacar possíveis ajustes na proposta original.

Figura 17 – Questionário 2

Instruções ao participante:

Abaixo estão afirmações baseadas nas contribuições da primeira rodada. Por favor, indique seu grau de concordância com cada uma delas, utilizando a escala de 1 a 5, onde:

1 = Discordo totalmente, 2 = Discordo, 3 = Neutro, 4 = Concordo, 5 = Concordo totalmente

Afirmações:

1. A inversão de Kanbans impacta significativamente a eficiência operacional e deve ser tratada como prioridade.
1: Discordo totalmente
2: Discordo
3: Neutro
4: Concordo
5: Concordo totalmente
2. A aplicação de etiquetas RFID resistentes é uma alternativa viável para substituir os cartões físicos em ambientes com pintura por imersão.
1: Discordo totalmente
2: Discordo
3: Neutro
4: Concordo
5: Concordo totalmente
3. A leitura automática por RFID pode mitigar falhas logísticas e retrabalho gerados pela manipulação manual dos cartões.
1: Discordo totalmente
2: Discordo
3: Neutro
4: Concordo
5: Concordo totalmente
4. O uso de middleware é essencial para garantir o tratamento adequado dos dados coletados via RFID.
1: Discordo totalmente
2: Discordo
3: Neutro
4: Concordo
5: Concordo totalmente
5. A integração entre middleware e sistemas MES/ERP pode garantir rastreabilidade e controle em tempo real do processo produtivo.
1: Discordo totalmente
2: Discordo
3: Neutro
4: Concordo
5: Concordo totalmente
6. A proposta apresentada está alinhada aos princípios da Indústria 4.0.
1: Discordo totalmente
2: Discordo
3: Neutro
4: Concordo
5: Concordo totalmente
7. A adoção dessa solução exigirá treinamento e sensibilização das equipes operacionais.
1: Discordo totalmente
2: Discordo
3: Neutro
4: Concordo
5: Concordo totalmente
8. A proposta apresentada é tecnicamente viável e poderia ser implementada com adaptações mínimas na realidade de sua empresa ou setor.
1: Discordo totalmente
2: Discordo
3: Neutro
4: Concordo
5: Concordo totalmente

Fonte: Elaboração própria

Essa segunda rodada teve como foco principal medir o grau de concordância dos especialistas em relação aos elementos centrais da solução proposta, como a adoção de *middleware*, o uso de etiquetas de alta resistência, e a integração com os sistemas de gestão existentes.

Esse processo de consulta aos especialistas, conduzido de forma *online*, garantiu praticidade e agilidade no retorno das respostas. Ao final das rodadas, foi possível identificar um alto nível de convergência em torno das diretrizes propostas, especialmente quanto à importância de automatizar a coleta e o tratamento das informações para evitar falhas operacionais.

A aplicação do método Delphi contribuiu não apenas para confirmar os caminhos adotados, mas também para ampliar a visão sobre aspectos práticos da implementação, enriquecendo a proposta com sugestões vindas diretamente de quem vive os desafios da indústria no dia a dia.

Foi a partir dessa constatação que a ideia de integrar a tecnologia RFID ao processo produtivo ganhou força. As etiquetas (*tags*) RFID escolhidas foram selecionadas não apenas pela capacidade de suportar calor, umidade e alta voltagem, mas também pela possibilidade de fornecer informações precisas sobre cada peça ao longo de todos os processos, na Figura 18 pode-se observar a *tag* de RFID escolhida.

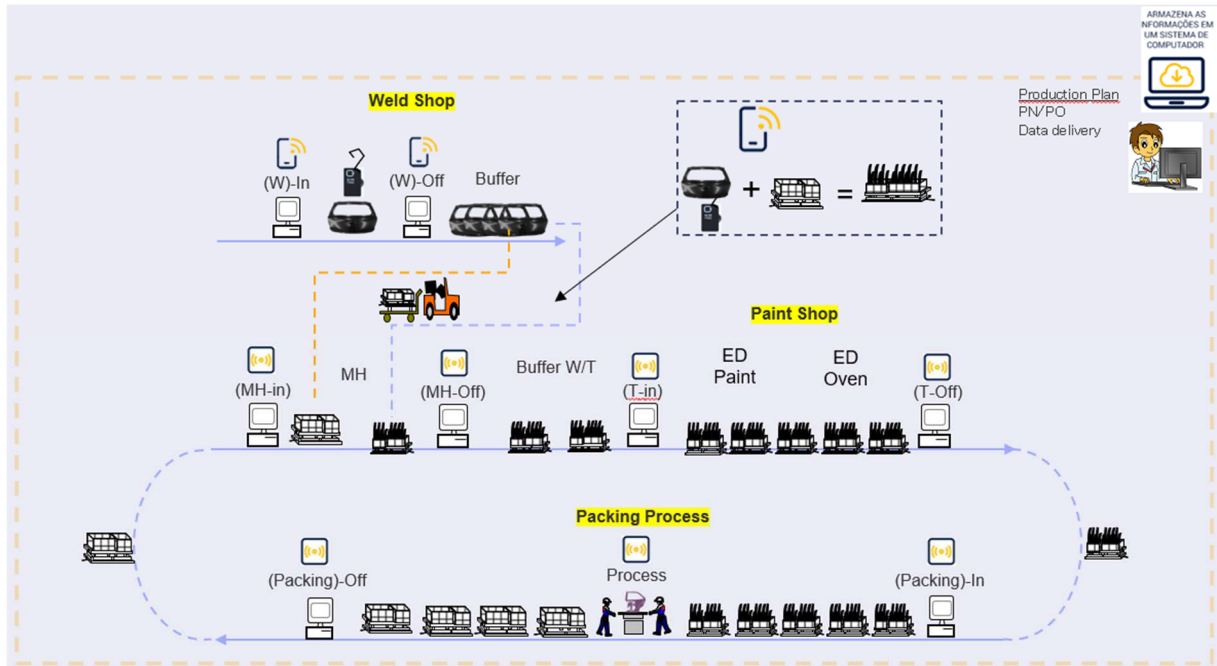
Figura 18 – *Tag* RFID Rígida



Fonte: o autor

A leitura automática dessas etiquetas por antenas e sensores espalhadas pela linha de produção permitirá acompanhar em tempo real seu trajeto ponto a ponto, eliminando as falhas que hoje surgem justamente pelo manuseio manual. Na Figura 19 está a ilustração da linha de produção e os pontos de leitura por meio de antenas e sensores.

Figura 19: Linha de produção das peças de reposição



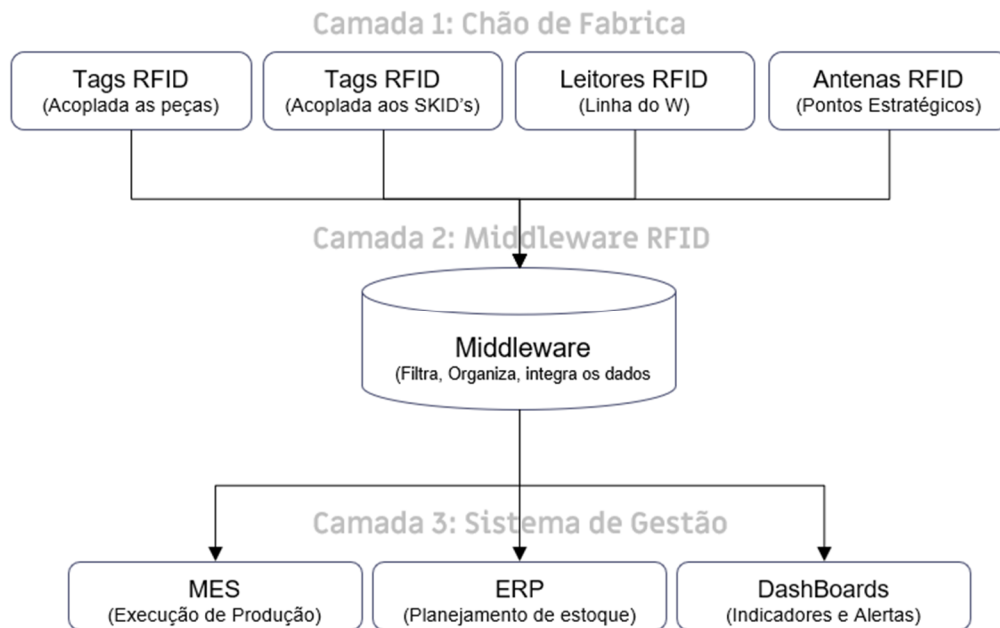
Fonte: Elaboração própria

Mas, observe-se que não basta apenas capturar dados, foi pensado também em como tratar essas informações. Por isso, a proposta inclui um sistema intermediário conhecido como *middleware*, que será responsável por organizar e traduzir os dados coletados, conectando-os de forma inteligente aos sistemas já utilizados pela empresa, como o MES e o ERP.

Dessa maneira, os operadores e gestores não só terão acesso a relatórios mais confiáveis, mas também poderão agir rapidamente quando algo sair do esperado. Na Figura 20 está a ilustração do fluxo sistêmico da implementação do RFID com *middleware*.

Assim, a Figura 20 apresenta a visão sistêmica da arquitetura proposta para a implementação da tecnologia RFID integrada a um *middleware* em um ambiente industrial.

Figura 20 - Fluxo sistêmico da implementação do RFID com *middleware*



Fonte: Elaboração própria

Na parte superior da Figura 20, localizam-se os elementos físicos do chão de fábrica, compostos por etiquetas RFID acopladas diretamente às peças e aos dispositivos de transporte, SKID (*Support structure for Parts* -SKID), leitores RFID posicionados estrategicamente ao longo da linha de produção, linha da Funilaria e MH, já na Pintura, antenas complementares que ampliam a capacidade de leitura em ambientes com obstáculos ou interferências. Esses componentes têm como função capturar automaticamente os dados de identificação e movimentação das peças, substituindo os cartões *Kanban* físicos utilizados no sistema tradicional.

Esses dados são transmitidos para a camada intermediária, representada pelo *middleware* RFID, que exerce o papel de filtragem, organização e integração das informações coletadas.

O *middleware* elimina duplicidades, interpreta eventos, converte os dados em formatos compatíveis e os distribui para os sistemas corporativos de forma estruturada. Essa etapa é essencial para garantir a confiabilidade, a rastreabilidade e o controle em tempo real das operações produtivas, sobretudo em ambientes com condições adversas como alta temperatura, umidade e tensão elétrica elevada.

Na parte inferior da Figura 20 estão os sistemas de gestão integrados, que recebem os dados processados. Entre estes sistemas, destacam-se o MES, que é responsável pelo monitoramento e controle da produção em tempo real, o ERP, que gerencia recursos como

estoque, ordens e materiais, e os *dashboards* operacionais, que consolidam indicadores de desempenho e alertas relevantes para a tomada de decisão.

Assim, buscou-se com essa proposta, além de evitar erros, transformar o processo produtivo, tornando-o mais ágil, eficiente e preparado para responder aos desafios do dia a dia, em um ambiente onde cada detalhe conta, e ter informações certas no momento certo faz toda a diferença.

4 CONCLUSÕES

4.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DE PESQUISA

O objetivo principal desta dissertação foi atingido, uma vez que a proposta de mitigar a inversão de *Kanbans* em ambientes produtivos com condições operacionais severas foi concebida, fundamentada na literatura e validada por especialistas da área por meio do método Delphi. A partir do mapeamento detalhado do problema no setor de movimentação de materiais, foi possível identificar que a retirada temporária dos *Kanbans* físico antes da pintura por imersão é o principal fator responsável pela inversão de cartões no fluxo produtivo.

A fundamentação teórica abordou conceitos essenciais para a compreensão do problema e para a construção da solução proposta, com destaque para a tecnologia RFID, middleware de integração e sistemas de gestão MES e ERP, alinhados às diretrizes da I4.0. Os Capítulos 2 e 3 apresentam como essas ferramentas podem ser aplicadas de forma conjunta para promover maior rastreabilidade, automação e confiabilidade na gestão do fluxo de materiais.

Com isso, foi possível responder às duas questões centrais da pesquisa:

- Quais são as causas principais da inversão de *Kanbans* na produção e quais novas tecnologias podem ser implementadas?

O estudo mostrou que a principal causa está relacionada à retirada e à recolocação manual do *Kanban*, o que abre margem para erros. Tecnologias como etiquetas RFID resistentes, leitores automatizados e *middleware* surgem como soluções promissoras e compatíveis com o ambiente produtivo da empresa.

- Como monitorar de forma eficaz o processo de fabricação para prevenir a inversão de *Kanbans* e melhorar a eficiência operacional?

A solução desenvolvida permite o rastreamento contínuo e preciso por meio da integração entre o RFID e os sistemas de gestão (MES e ERP), garantindo o controle do fluxo de peças com alta acurácia e em tempo real, conforme validado pelos especialistas na aplicação do método Delphi.

Dessa forma, os objetivos do trabalho foram alcançados, e as questões de pesquisa foram plenamente respondidas com base teórica, metodológica e técnica sólida.

Como contribuição acadêmica, esta dissertação colabora com a literatura ao oferecer uma abordagem integrada e viável para resolver um problema recorrente em processos logísticos industriais, ampliando a discussão sobre a aplicação de tecnologias emergentes na gestão de sistemas baseados em *Kanban*. A aplicação do método Delphi, com a participação de

especialistas, proporcionou um olhar crítico e fundamentado sobre a viabilidade e a aplicabilidade da proposta em ambientes reais.

Como contribuição prática, a proposta apresentada nesta dissertação oferece às empresas industriais, especialmente do setor automotivo, um modelo estruturado de controle logístico baseado em RFID, que permite reduzir significativamente as falhas relacionadas à inversão de *Kanbans*. Além disso, fornece um caminho possível para a digitalização de processos que ainda dependem de controles físicos manuais, aumentando a eficiência operacional e promovendo a integração entre áreas de produção, logística e planejamento.

Outras organizações também poderão se beneficiar das diretrizes aqui apresentadas, utilizando esta pesquisa como referência para antecipar desafios, avaliar tecnologias compatíveis com seus contextos e estruturar estratégias de mitigação de falhas no fluxo de materiais.

4.2 SUGESTÕES PARA A CONTINUIDADE DO TRABALHO

Considerando os fatores que foram identificados e analisados nesta pesquisa, como hipóteses em trabalhos futuros, poderá ser possível realizar análises mais aprofundadas sobre as causas da inversão de *Kanbans*, visando à proposição de ações corretivas e preventivas, com o objetivo de evitar ou minimizar seus impactos no controle logístico e na rastreabilidade da produção.

Também sugere-se efetuar este estudo em diferentes segmentos industriais e em contextos produtivos variados, o que pode permitir um melhor entendimento das limitações operacionais do *Kanban* físico, bem como a identificação de novas oportunidades de aplicação das tecnologias de rastreamento e digitalização, especialmente em linhas produtivas com ambientes agressivos ou exigências específicas de automação.

REFERÊNCIAS

- ACHETOUI, Z.; MABROUKI, C.; MOUSRIJ, A. A review of spare parts supply chain management. **Jurnal Sistem dan Manajemen Industri**, Banten, v. 3, n. 2, p. 67-75, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.30656/jsmi.v3i2.1524>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- AGARWAL, S.; AGARWAL, A. Uses, advantages and opportunities of Kanban methods in mechanical engineering and product manufacturing. **International Journal of Scientific and Research Publications**, New Delhi, v. 10, n. 1, art. p9704, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.10.01.2020.p9704>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- ASENCIOS SORIA, P. S.; MIÑAN OLIVOS, G. S. Lean logistics to reduce logistics costs in an SME, Lima – 2024. *In*: LACCEI INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE FOR ENGINEERING, EDUCATION AND TECHNOLOGY, 22., 2024, San José. **Anais [...]**. Boca Raton: LACCEI, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.1594>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- BADHOTIYA, G. K.; GURUMURTHY, A.; MARAWAR, Y.; SONI, G. Lean manufacturing in the last decade: insights from published case studies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Bradford, v. 35, n. 4, p. 766-798, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2021-0467>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- BUENO, R. E.; POHLMANN, M. N.; DOS SANTOS, H. A.; GONÇALVES, R. F. The procurement 4.0 contributions to circular economy. **Sustainability**, Basel, v. 16, n. 14, art. 5838, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16145838>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- DURAIVELU, K. Digital transformation in manufacturing industry: a comprehensive insight. **Materials Today: Proceedings**, v. 68, n. 6, p. 1825-1829, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.409>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- FUENTES-DEL-BURGO, J.; FERNÁNDEZ, J. P. R.; NAVARRO-ASTOR, E. Kanban applied to construction: a literature review. **Construction Economics and Building**, Sydney, v. 24, n. 4-5, p. 43-57, 2024.
- GHELICHI, A.; ABDELGAWAD, A. A study on RFID-based Kanban system in inventory management. *In*: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT, 2014, Selangor. **Anais [...]**. New York: Curran Associates, 2014. p. 1357-1361.
- GHELICHI, A.; ABDELGAWAD, A. RFID applications in inventory management based on Kanban system. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING, 2014, Alanya. **Anais [...]**. Chennai: AIRCC, 2014. p. 132-135.

GRABOWSKA, S.; SANIUK, S.; GAJDZIK, B. Industry 5.0: improving humanization and sustainability of Industry 4.0. **Scientometrics**, Budapest, v. 127, n. 6, p. 3117-3144, 2022.

GREEN, J. C.; LEE, J.; KOZMAN, T. A. Managing lean manufacturing in material handling operations. **International Journal of Production Research**, London, v. 48, n. 10, p. 2975-2993, 2010.

HĄBEK, P.; LAVIOS, J. J.; GRZYWA, A. Lean manufacturing practices assessment: case study of automotive company. **Production Engineering Archives**, Częstochowa, v. 29, n. 3, p. 311-318, 2023.

HANSEN, A. K.; CHRISTIANSEN, L.; LASSEN, A. H. Technology isn't enough for industry 4.0: on SMEs and hindrances to digital transformation. **International Journal of Production Research**, London, 2024. No prelo.

HIEN, D. N.; DUC, M. L.; TUAN, T. D. Integrating six sigma into an industry 4.0 system for enhanced productivity: a case study in CNC processes. **Management and Production Engineering Review**, Warszawa, v. 15, n. 1, p. 44-62, 2024.

JIMÉNEZ-PARTEARROYO, M.; MEDINA-LÓPEZ, A.; JUÁREZ-VARÓN, D. Towards Industry 5.0: evolving the product-process matrix in the new paradigm. **Journal of Technology Transfer**, New York, v. 49, n. 4, p. 1496-1531, 2024.

KAMAL, F. Literature survey on Kanban: opportunities and challenges. **International Journal of Scientific and Research Publications**, Gurgaon, v. 10, n. 11, p. 935-945, 2020.

LINSTONE, H. A.; TUROFF, M.; HELMER, O. **The Delphi method**: techniques and applications. Reading, MA: Addison-Wesley, 2002.

LÍVIA, E. *et al.* **Digital transformation in the Manaus Industrial Hub (PIM)**: development and implementation of an electronic kanban system using artificial intelligence for production optimization and sequencing in a PIM tape company. 2024. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0003-2800-4620>. Acesso em: 25 nov. 2025.

MASMALI, M. Implementation of lean manufacturing in a cement industry. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, Agia Paraskevi, v. 11, n. 1, p. 6650-6653, 2021. Disponível em: <https://www.etasr.com>. Acesso em: 25 nov. 2025.

MONYE, S. I. *et al.* Impact of Industry 4.0 in automobile industry. *In*: E3S WEB OF CONFERENCES, 2023, Les Ulis. **Anais [...]**. Les Ulis: EDP Sciences, 2023.

MUNIZ, J.; ZHANG, Y.; WINTERSBERGER, D.; RAMIREZ, P. Social systems for future manufacturing framework: an overarching view of people, organization and society. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, London, 2024.

NASSAR, V.; VIEIRA, M. L. H. The application of RFID in logistics: a case study of infrastructure and monitoring system of loads in the state of Santa Catarina. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 21, n. 3, p. 520-531, 2014.

PAPADIMITROPOULOU, C. *et al.* Digitally enhancing Kanban lean practice in support of just-in-time reconfigurable supply: a case study. *In*: IFIP ADVANCES IN INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY, 2023, Cham. **Anais [...]**. Cham: Springer, 2023. p. 69–83. (v. 689).

PATEL, K. K.; THANKI, S. J.; STUDENT, P. G. System dynamic modelling and analysis of a single stage single product Kanban production system. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, Chennai, v. 2, n. 7, p. 3012-3020, 2013. Disponível em: <https://www.ijirset.com>. Acesso em: 25 nov. 2025.

RIBEIRO, V. B.; NAKANO, D.; MUNIZ, J.; DE OLIVEIRA, R. B. Knowledge management and Industry 4.0: a critical analysis and future agenda. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 29, e4621, 2022.

ROMEIRA, B. *et al.* **Development and application of an e-Kanban system in the automotive industry**. México, 2021.

SEGURA, Á. *et al.* Visual computing technologies to support the Operator 4.0. **Computers & Industrial Engineering**, Oxford, v. 139, art. 105550, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.060>. Acesso em: 25 nov. 2025.

SHAHARUDIN, M. S.; FERNANDO, Y. Cold supply chain of leafy green vegetables: a social network analysis approach. **Journal of Science and Technology Policy Management**, Bingley, v. 15, n. 4, p. 794-817, 2024.

SMAJIĆ, H.; PALALIĆ, R.; AHMAD, N. Future perspective of socioemotional wealth (SEW) in family businesses. **Journal of Family Business Management**, Bingley, v. 13, n. 4, p. 923-954, 2023.

SU, W.; MA, L.; HU, K.; ZHANG, L. A research on integrated application of RFID-based lean manufacturing. *In*: CHINESE CONTROL AND DECISION CONFERENCE, 21., 2009, Guilin. **Anais [...]**. Piscataway, NJ: IEEE, 2009. p. 5781-5784.

SUNDARRAJAN, P.; KRISHNAN, L. R. K. Emerging technologies and evolving work practices impacting employee engagement: automobile industry. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, Miami, v. 18, n. 9, e05893, 2024.

TABANLI, R. M.; ERTAY, T. Value stream mapping and benefit-cost analysis application for value visibility of a pilot project on RFID investment integrated to a manual production control system: a case study. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, London, v. 66, n. 5-8, p. 987-1002, 2013.

TAN, L. *et al.* Scheduling and controlling production in an Internet of Things environment for Industry 4.0: an analysis and systematic review of scientific metrological data. **Sustainability**, Basel, v. 15, n. 13, e10243, 2023.

TAN, W. C.; SIDHU, M. S. Review of RFID and IoT integration in supply chain management. **Operations Research Perspectives**, Amsterdam, v. 9, art. 100229, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100229>. Acesso em: 25 nov. 2025.

TIEN, J. M. Toward the Fourth Industrial Revolution on real-time customization. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, Beijing, v. 29, n. 2, p. 127-142, 2020.

WANG, T.; FAN, J.; ZHENG, P. An LLM-based vision and language cobot navigation approach for human-centric smart manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, Oxford, v. 75, p. 299-305, 2024.

XIAOHUA, C.; JUAN, W. A RFID-based monitoring system for abnormal logistics events in internal material supply chain. *In*: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING, 2011, Bristol. **Anais [...]**. Bristol: IOP Publishing, 2011. p. 949-954.

XIAOJU, H.; DINGWEI, W. Simulation on RFID-enable CONWIP control strategy for multi-echelon inventory of supply chain. *In*: CHINESE CONTROL AND DECISION CONFERENCE (CCDC), 28., 2016, Yinchuan. **Anais [...]**. Piscataway, NJ: IEEE, 2016. p. 4526-4530.

YIN, Y.; STECKE, K. E.; LI, D. The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, London, v. 56, n. 1-2, p. 848-861, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>. Acesso em: 25 nov. 2025.

ZAIRBANI, A.; SENTHIL KUMAR, J. P. Organizational mission statement components: a comparative study between Indian and Singaporean mission statements in the healthcare sector via Python analysis. **Corporate Communications**, Bingley, v. 29, n. 5, p. 692-711, 2024.

ZHANG, S.; HUANG, K.; YUAN, Y. Spare parts inventory management: a literature review. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 5, e2460, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13052460>. Acesso em: 25 nov. 2025.

ZHANG, Y.; JIANG, P.; HUANG, G. RFID-based smart Kanbans for just-in-time manufacturing. **International Journal of Materials and Product Technology**, Geneva, v. 33, n. 1-2, p. 170-184, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJMPT.2008.019780>. Acesso em: 25 nov. 2025.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS APLICADOS NO MÉTODO DELPHI

Aplicação do Método Delphi

Instruções ao participante:

Você foi selecionado como especialista devido à sua experiência em algumas das áreas descritas (manufatura, logística, engenharia de produção ou tecnologia industrial). Solicitamos que responda com base em sua vivência prática, considerando viabilidade, riscos e oportunidades da proposta apresentada.

Questões:

1. Qual sua percepção sobre o impacto da inversão de *Kanbans* na eficiência logística e produtiva?
2. Em sua opinião, quais são os maiores desafios operacionais enfrentados na preparação dos Skids e gerenciamento dos *Kanbans*?
3. Você acredita que a substituição do *Kanban* físico por etiquetas RFID resistentes é tecnicamente viável? Justifique sua resposta.
4. Considerando sua experiência, quais critérios devem ser priorizados para garantir que o RFID funcione de forma confiável em ambientes agressivos com pintura por imersão (alta temperatura, umidade e tensão elétrica)?
5. A utilização de um middleware para organizar e transmitir os dados RFID ao MES e ERP parece aplicável na prática da sua empresa ou setor? Quais riscos você observa?
6. Que sugestões você daria para o aperfeiçoamento da proposta apresentada?
7. Deseja incluir alguma observação adicional relevante para o sucesso da solução?

Instruções ao participante:

Abaixo estão afirmações baseadas nas contribuições da primeira rodada. Por favor, indique seu grau de concordância com cada uma delas, utilizando a escala de 1 a 5, onde:

1 = Discordo totalmente, 2 = Discordo, 3 = Neutro, 4 = Concordo, 5 = Concordo totalmente

Afirmações:

1. A inversão de Kanbans impacta significativamente a eficiência operacional e deve ser tratada como prioridade.
 - 1: Discordo totalmente
 - 2: Discordo
 - 3: Neutro
 - 4: Concordo
 - 5: Concordo totalmente
2. A aplicação de etiquetas RFID resistentes é uma alternativa viável para substituir os cartões físicos em ambientes com pintura por imersão.
 - 1: Discordo totalmente
 - 2: Discordo
 - 3: Neutro
 - 4: Concordo
 - 5: Concordo totalmente
3. A leitura automática por RFID pode mitigar falhas logísticas e retrabalho gerados pela manipulação manual dos cartões.
 - 1: Discordo totalmente
 - 2: Discordo
 - 3: Neutro
 - 4: Concordo
 - 5: Concordo totalmente
4. O uso de middleware é essencial para garantir o tratamento adequado dos dados coletados via RFID.
 - 1: Discordo totalmente
 - 2: Discordo
 - 3: Neutro
 - 4: Concordo
 - 5: Concordo totalmente
5. A integração entre middleware e sistemas MES/ERP pode garantir rastreabilidade e controle em tempo real do processo produtivo.
 - 1: Discordo totalmente
 - 2: Discordo

- 3: Neutro
 - 4: Concordo
 - 5: Concordo totalmente
6. A proposta apresentada está alinhada aos princípios da Indústria 4.0.
- 1: Discordo totalmente
 - 2: Discordo
 - 3: Neutro
 - 4: Concordo
 - 5: Concordo totalmente
7. A adoção dessa solução exigirá treinamento e sensibilização das equipes operacionais.
- 1: Discordo totalmente
 - 2: Discordo
 - 3: Neutro
 - 4: Concordo
 - 5: Concordo totalmente
8. A proposta apresentada é tecnicamente viável e poderia ser implementada com adaptações mínimas na realidade de sua empresa ou setor.
- 1: Discordo totalmente
 - 2: Discordo
 - 3: Neutro
 - 4: Concordo
 - 5: Concordo totalmente

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO	
	JOSÉ ANTONIO SABADINI 10/09/1980
Nacionalidade	Brasileira
Nome em citações bibliográficas:	Sabadini, José Antonio Sabadini, J.
Currículo Lattes	http://lattes.cnpq.br/9705243141231549
ORCID	https://orcid.org/0009-0001-0183-7625
outro identificador	linkedin.com/in/jose-sabadini
FORMAÇÃO ACADÊMICA	
Julho/2006	Graduação em Administração - Comex FAM Faculdade de Americana - 2006
Dezembro/2012	MBA em Engenharia e Gestão da Manufatura e Manutenção, UNISAL - Centro Universitário Salesiano de São Paulo
PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA	
PARTICIPAÇÃO EM BANCAS E ORIENTAÇÕES	
Bancas de trabalhos de conclusão	
Orientações	
PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS	