



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CAMPUS JOINVILLE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIAS MECÂNICAS

Willian Silva Abreu

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE
RASTREABILIDADE VIA RFID PARA FERRAMENTARIAS**

Joinville

2025

Willian Silva Abreu

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE
RASTREABILIDADE VIA RFID PARA FERRAMENTARIAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas.
Orientador: Prof. Régis Kovacs Scalice, Dr.
Coorientador: Prof. Gian Ricardo Berkenbrock, Dr.

Joinville

2025

Abreu, Willian Silva

PROPOSTA DE MÉTODO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE RASTREABILIDADE VIA RFID PARA FERRAMENTARIAS / Willian Silva Abreu ; orientador, Régis Kovacs Scalice, coorientador, Gian Ricardo Berkenbrock, 2025.

94 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas, Joinville, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia e Ciências Mecânicas. 2. RFID. 3. Rastreabilidade. 4. Ferramentaria. I. Scalice, Régis Kovacs. II. Berkenbrock, Gian Ricardo. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas. IV. Título.

Willian Silva Abreu

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE
RASTREABILIDADE VIA RFID PARA FERRAMENTARIAS**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado, em 16 de abril de 2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Cristiano Vasconcellos Ferreira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof. Diogo Lôndero da Silva, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Profa. Vanessa Nappi, Dra.
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof. Dr. Roberto Simoni
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof. Régis Kovacs Scalice, Dr.
Orientador

Joinville, 2025.

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Arnaldo e Marcia, cujo apoio incondicional foi essencial durante minha jornada acadêmica. Agradeço também aos meus professores, cuja orientação e sabedoria foram fundamentais, e aos meus amigos e colegas, que demonstraram compreensão e paciência nos momentos em que precisei me dedicar integralmente aos estudos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por todas as bênçãos e direção.

Sou imensamente grato à minha família, especialmente aos meus pais, Arnaldo e Marcia, cujo apoio incondicional foi um pilar fundamental em minha jornada acadêmica.

Um agradecimento muito especial aos professores Régis e Gian, que não apenas me acolheram em suas orientações, mas também dedicaram tempo, paciência e confiança para superarmos juntos os desafios encontrados ao longo deste período de pesquisa.

À empresa onde trabalho, que não apenas permitiu, mas também apoiou a flexibilidade no meu horário, facilitando a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (POSMEC) por conceder a oportunidade da realização deste trabalho.

Por fim, expresso minha gratidão à banca examinadora, pela disponibilidade, leitura crítica e valiosas contribuições à minha dissertação de mestrado.

“É melhor adquirir sabedoria que ouro, e é melhor obter discernimento que prata.”

(Provérbios 16, 16)

RESUMO

RFID em ambientes de ferramentarias, com foco na indústria de moldes do setor automotivo brasileiro. O objetivo principal foi avaliar a viabilidade e os desafios da adoção do RFID nesse contexto, levando em consideração fatores como número e posicionamento de antenas, interferências de materiais, custos de implementação e integração com sistemas legados. A pesquisa foi conduzida a partir de uma revisão sistemática da literatura e da aplicação de questionários técnicos a especialistas do setor, de modo a captar percepções práticas e desafios reais enfrentados pelas empresas. Os resultados indicam que, embora o RFID ofereça potencial para ganhos significativos em rastreabilidade, controle de inventário e eficiência produtiva, sua adoção exige soluções personalizadas, integração cuidadosa com processos existentes e treinamento adequado das equipes envolvidas. Conclui-se que a tecnologia RFID pode contribuir para o aumento da competitividade da indústria de ferramentaria, desde que sua implementação seja pautada por um planejamento estratégico e técnico detalhado, considerando as particularidades do ambiente industrial brasileiro.

Palavras-chave: Rastreabilidade. RFID. Ferramentaria. Gestão de ativos.

ABSTRACT

This work presents an analysis of the implementation of RFID-based traceability systems in tool shop environments, focusing on the mold industry within the Brazilian automotive sector. The main objective was to assess the feasibility and challenges of adopting RFID in this context, considering factors such as the number and positioning of antennas, material interferences, implementation costs, and integration with legacy systems. The research was conducted through a systematic literature review and the application of technical questionnaires to industry specialists, aiming to capture practical insights and real-world challenges faced by companies. The results indicate that, although RFID offers significant potential gains in traceability, inventory control, and production efficiency, its adoption requires customized solutions, careful integration with existing processes, and proper training of the involved teams. It is concluded that RFID technology can contribute to increasing the competitiveness of the toolmaking industry, provided that its implementation is guided by detailed strategic and technical planning, taking into account the specific characteristics of the Brazilian industrial environment.

Keywords: Traceability. RFID. Tool Shop. Asset Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Algoritmos - (1) AoA; (2) ToA; (3) TDoA; (4) RSSI	23
Figura 2 – Primeira etapa da metodologia.....	26
Figura 3 – Quantidade de artigos por ano de publicação dos periódicos	29
Figura 4 – Forma organizacional.....	38
Figura 5 – Fluxograma da Fase I - Estruturação	40
Figura 6 – Fluxograma da Fase II - Implementação.....	41
Figura 7 – Fluxograma da Fase III - Avaliação.....	43
Figura 8 – Fluxo de desenvolvimento e aplicação do questionário.....	45
Figura 9 – Perfil dos participantes	47
Figura 10 – Compilação das notas – Design do sistema	50
Figura 11 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Design do sistema.....	50
Figura 12 – Compilação das notas – Estudo de viabilidade.....	51
Figura 13 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Estudo de viabilidade	51
Figura 14 – Compilação das notas – Planejamento de integração	52
Figura 15 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Planejamento de integração.....	53
Figura 16 – Compilação das notas – Análise de impacto.....	54
Figura 17 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Análise de impacto	54
Figura 18 – Compilação das notas – Documentação técnica	55
Figura 19 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Documentação técnica.....	55
Figura 20 – Compilação das notas – Instalação física.....	56
Figura 21 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Instalação física	57
Figura 22 – Compilação das notas – Configuração de <i>software</i>	58
Figura 23 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Configuração de <i>software</i>	58
Figura 24 – Compilação das notas – Testes de campo	59
Figura 25 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Testes de campo	59
Figura 26 – Compilação das notas – Treinamento operacional.....	60
Figura 27 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Treinamento operacional.....	61
Figura 28 – Compilação das notas – Otimização	61
Figura 29 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Otimização.....	62
Figura 30 – Compilação das notas – Avaliação de desempenho.....	63
Figura 31 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Avaliação de desempenho	63

Figura 32 – Compilação das notas – Análise de impacto.....	64
Figura 33 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Análise de impacto	65
Figura 34 – Compilação das notas – Identificação de problemas	65
Figura 35 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Identificação de problemas.....	66
Figura 36 – Compilação das notas – Plano de melhoria.....	67
Figura 37 – Resultado da média e <i>rwg</i> – Plano de melhoria.....	67
Figura 38 – Compilação das notas – Documentação final	68
Figura 39 – Resultado da média e <i>rwg</i> Documentação final.....	69
Figura 40 – Representação das configurações (região em verde claro representa a área de cobertura).....	82
Figura 41 – Resumo respostas profissional 1	86
Figura 42 – Resumo respostas profissional 2	87
Figura 43 – Resumo respostas profissional 3	88
Figura 44 – Resumo respostas profissional 4.....	89
Figura 45 – Resumo respostas profissional 5	90
Figura 46 – Resumo respostas profissional 6	91
Figura 47 – Resumo respostas profissional 7	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação entre tecnologias de rastreabilidade	21
Quadro 2 – Dados sobre a RSL	24
Quadro 3 – Protocolos de busca utilizado no Scopus.....	25
Quadro 4 – Relação de artigos selecionados conforme a quinta fase.....	26
Quadro 5 – Lista de periódicos.....	30
Quadro 6 – Relação de quantidade de antenas por artigo para rastreabilidade	31
Quadro 7 – Valores de concordância.....	46
Quadro 8 – Caracterização dos participantes	46
Quadro 9 – Ferramenta de análise comparativa	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINFER	Associação Brasileira da Indústria de Ferramentais
AoA	Angle of Arrival
BLE	Bluetooth Low Energy
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DSR	Design Science Research
DSRM	Design Science Research Methodology
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IDEF0	<i>Integration Definition for Process Modelling</i>
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
PDM	Projeto de Mestrado
RFID	<i>Radio-frequency identification</i>
ROI	<i>Return of Investment</i>
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i>
RTLS	<i>Real-time locating system</i>
RWG	Rao-Wilton-Glisson
SADT	<i>Structured Analysis and Design Technique</i>
TDoA	<i>Time Difference of Arrival</i>
ToA	<i>Time of Arrival</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
USAF	<i>United States Air Force</i>
UWB	<i>Ultra-wide Band</i>
Wi-Fi	Wireless Fidelity

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo geral.....	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
1.2	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	18
2	EMBASAMENTO TEÓRICO	19
2.1	FERRAMENTARIAS	19
2.2	SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO INDOOR.....	20
2.3	ALGORITMOS DE POSICIONAMENTO DE LOCALIZAÇÃO	22
2.4	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	23
2.5	ANÁLISE SISTÊMICA DA LITERATURA	30
2.5.1	Quantidade de antenas	31
2.5.2	Requisitos de avaliação	32
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	34
3.1	MÉTODO CIENTÍFICO	34
3.2	Detalhamento do método	35
3.3	Limitações do método.....	37
4	DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO.....	38
4.1	FASE I – ESTRUTURAÇÃO	39
4.2	FASE II – IMPLEMENTAÇÃO	40
4.3	FASE III – AVALIAÇÃO.....	42
5	AVALIAÇÃO DO MÉTODO	44
5.1	ESTRUTURAÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	44
5.1.1	Desenvolvimento do questionário.....	45
5.1.2	Seleção de profissionais	46
5.1.3	Questionário aplicado.....	47

5.1.4	Aplicação do questionário	49
5.1.5	Compilação e agrupamento das respostas – FASE I.....	49
5.1.6	Compilação e agrupamento das respostas – FASE II	56
5.1.7	Compilação e agrupamento das respostas – FASE III.....	62
5.1.8	Avaliação geral dos resultados	69
6	CONCLUSÃO.....	71
6.1	TRABALHOS FUTUROS	72
6.1.1	Experimentação em laboratório	73
6.1.2	Desenvolvimento de protocolos de teste.....	73
6.1.3	Desenvolvimento de um manual de boas práticas	73
	APÊNDICE A – Configuração de sistema	81
	APÊNDICE B – Avaliação de sistema	83
	APÊNDICE C – Questionário completo.....	86

1 INTRODUÇÃO

A ferramentaria é um ramo da metalurgia que cria, desenvolve e produz ferramentas e peças (Iaco Educação, 2018). Essas ferramentas e peças são usados para produzir uma ampla variedade de produtos que são utilizados em diversos setores, como o automotivo, aeronáutico, eletrônico, entre outros.

De acordo com um relatório de 2020 da *Grand View Research*, o tamanho do mercado global de moldes foi de US\$ 23,9 bilhões (R\$ 121,69 bilhões) em 2019 e espera-se que cresça a uma taxa composta anual de 3,9% durante o período de 2020 a 2027. No Brasil, a Associação Brasileira da Indústria de Ferramentais (ABINFER) estima que o mercado brasileiro de ferramentarias fabricantes de moldes movimentou cerca de US\$ 594 milhões (R\$ 3,0 bilhões) em 2019. A associação também estima que existem cerca de 2000 empresas no setor de ferramentarias no Brasil. Na cidade de Joinville, em Santa Catarina, local que é chamada de cidades dos moldes, existem 350 ferramentarias (Fit Tecnologia, 2022).

A inovação é objeto de desejo de todos os setores da economia, assim como também de outros segmentos da sociedade. (Plonski, 2017) .O processo de inovação engloba as atividades de introdução, desenvolvimento e lançamento de novidades nas organizações (OECD, 2005). Verificou-se que o investimento total em inovação tem impacto significativo e positivo nas dimensões de produto, mercado e parcialmente em custos (Campos; Santos; Donadon, 2017). Como referenciado por Santos et al., 2022, Cooper aponta também que a inovação traz em sua natureza a possibilidade de agregação de valor aos clientes de uma empresa, bem como contribui diretamente para a difusão do conhecimento organizacional. Considerar a inovação o elemento mais importante da vantagem competitiva de organizações aumenta o interesse de pesquisadores e profissionais pelo tema. Em resumo, a inovação e a tecnologia são elementos essenciais para aprimorar a gestão empresarial e garantir a competitividade no mercado.

Com o contínuo aumento da disponibilidade de tecnologias, equipamentos, *softwares* e máquinas deixam de se tornar inoperantes apenas por desgaste mecânico ou falhas, mas principalmente pela obsolescência, elevação dos custos operacionais e redução de desempenho ao longo do tempo (Albano, 2022). Diante desse cenário, o investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) tornou-se parte central do processo de inovação nas empresas, viabilizando a criação e a aplicação de novas soluções tecnológicas. Para acelerar esse processo

e mitigar riscos, muitas organizações firmam parcerias com universidades e centros de pesquisa, ampliando o acesso a conhecimento especializado, infraestrutura e metodologias inovadoras. Essas colaborações dividem custos e incertezas associados à adoção de tecnologias emergentes, além de favorecer a implementação de soluções mais robustas e alinhadas às necessidades do setor industrial. Tal abordagem reduz o impacto dos riscos financeiros e técnicos e favorece a implementação de soluções mais robustas e adaptadas à realidade do setor industrial (OECD, 2005).

A maior parte dos gestores do setor industrial brasileiro já entende que a evolução das tecnologias é um caminho irreversível e quem tiver os meios para avançar nessa caminhada vai ocupar cada vez mais espaço no mercado (Koelln, 2024). Segundo o site FIT TECNOLOGIA, 2022, a falta de investimento em tecnologia e inovação deixa o mercado brasileiro sem ter capacidade produtiva para atender todos os projetos, onde segundo especialistas, somente 30% da demanda é atendida.

O presente trabalho foi desenvolvido para atender a uma demanda específica do Programa Rota 2030, direcionando seus esforços para o aumento da eficiência e da rastreabilidade no ambiente de produção de moldes. O Programa Rota 2030, implementado pelo Ministério do Desenvolvimento, tem como objetivo modernizar o segmento automotivo brasileiro a partir da adoção de sistemas de rastreabilidade, promovendo não apenas a resolução de problemas já existentes, mas também proporcionando maior dinamismo à engenharia de fábrica. Os benefícios são uma aceleração do processo existente e um ganho de eficiência adicional por meio de novas regras de despacho, levando em consideração informações e tempo real sobre os processos logísticos no chão de fábrica (Zhu; Mukhopadhyay; Kurata, 2012).

Nesse contexto, este trabalho propõe um método estruturado para a rastreabilidade interna em ferramentarias, utilizando a tecnologia RFID como base. A proposta leva em consideração critérios objetivos de avaliação — como alcance, precisão, custo e complexidade técnica — e utiliza um processo de análise comparativa entre diferentes alternativas de configuração. O objetivo é oferecer uma solução alinhada às necessidades reais do setor, contribuindo para a aceleração dos processos, o ganho de eficiência operacional e a adoção de novas práticas de gestão, levando em conta o monitoramento em tempo real das operações logísticas e produtivas.

Alguns exemplos de tecnologias de comunicação sem fio que podem ser empregadas para a rastreabilidade interna, são: *Wireless Fidelity* (Wi-Fi), *Bluetooth Low Energy* (BLE), *Radio-Frequency IDentification* (RFID) e *Ultra-wide Band* (UWB). Das tecnologias citadas, o

RFID é considerado a mais barata e com maior potencial para rastreabilidade interna (Fisher; Monahan, 2012).

Sistemas de controle em rede inteligentes equipados com tecnologia RFID podem permitir um melhor monitoramento dos processos de fabricação com fluxo de material conveniente com planejamento e controle mais eficazes (Drannikov, 2007). Os sistemas de rastreamento de posição indoor baseados em RFID apresentam uma ampla gama de aplicações, incluindo segurança, gerenciamento de ativos, controle de estoque e otimização de processos em setores como saúde, transporte, logística (Mainetti et al., 2013; Oner; Budak; Ustundag, 2018) e construção civil (Lee et al., 2012).

Diante desse cenário, esta dissertação tem como objetivo apresentar um método abrangente para estabelecer a rastreabilidade interna em ferramentarias, utilizando a tecnologia RFID como base. O método proposto foi desenvolvido a partir de critérios objetivos de avaliação — como alcance, precisão, custo e complexidade técnica. Para garantir clareza, padronização e transparência no desenvolvimento e na comunicação do método, foi utilizado o modelo de representação IDEF0 para descrever as etapas e os fluxos do processo.

1.1 OBJETIVOS

Para nortear o trabalho, foram estabelecidos o objetivo geral e os objetivos específicos, conforme descrito a seguir.

1.1.1 Objetivo geral

Propor, fundamentar e validar um método para rastreabilidade de ativos em ferramentarias utilizando tecnologia RFID, visando aprimorar a eficiência operacional e o controle dos processos no setor de moldes automotivos.

1.1.2 Objetivos específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

1. Realizar uma revisão bibliográfica sistemática sobre sistemas de rastreabilidade e aplicações de RFID em ferramentarias e ambientes industriais;

2. Identificar e analisar os fatores técnicos, operacionais e econômicos que impactam a adoção da tecnologia RFID em ferramentarias, com ênfase em quantidade de antenas, posicionamento, custos e requisitos de avaliação;
3. Desenvolver um método de rastreabilidade via RFID para ferramentarias, estruturando suas etapas e requisitos fundamentais;
4. Validar o método proposto por meio da aplicação de questionário a especialistas do setor, coletando percepções qualitativas quanto à viabilidade, vantagens e limitações da solução;
5. Avaliar criticamente os resultados obtidos, destacando as potencialidades e limitações do método, e sugerir recomendações para futuras implementações e pesquisas na área.

1.2 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Para garantir uma estrutura objetiva e alinhada aos objetivos deste estudo, o documento está organizado da seguinte forma:

Capítulo 1 compreende a introdução, na qual são apresentados o contexto do trabalho, os objetivos gerais e específicos, bem como a justificativa para o desenvolvimento da pesquisa.

No Capítulo 2, são abordados os fundamentos teóricos necessários à compreensão do tema, incluindo aspectos sobre ferramentarias, sistemas de localização indoor, algoritmos de posicionamento, além de uma revisão sistemática e análise sistêmica da literatura, contemplando tópicos como a quantidade de antenas e os requisitos de avaliação.

O Capítulo 3 descreve os procedimentos metodológicos empregados, detalhando o método científico adotado para o desenvolvimento do estudo.

O Capítulo 4 trata do desenvolvimento do método proposto, segmentado em três fases: estruturação, implementação e avaliação.

O Capítulo 5 apresenta a avaliação do método, incluindo a estruturação do questionário, desenvolvimento, seleção dos profissionais, aplicação e a compilação e análise dos resultados obtidos em cada fase, culminando em uma avaliação geral dos resultados.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho e recomendações para pesquisas futuras, abrangendo sugestões de experimentação em laboratório, desenvolvimento de protocolos de teste e elaboração de um manual de boas práticas.

Referências bibliográficas e apêndices complementam o documento, fornecendo informações adicionais sobre a configuração e avaliação do sistema, bem como o questionário completo utilizado na pesquisa.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Este capítulo apresenta a revisão da literatura relacionada à rastreabilidade de peças em ambientes internos, com ênfase nos conceitos e tecnologias aplicados ao contexto de ferramentarias. No tópico 2.1, é abordado o conceito de ferramentarias, suas especificidades e importância para o setor industrial. Em 2.2, são discutidos os sistemas de localização empregados na indústria, abrangendo as principais tecnologias e soluções presentes na literatura.

O tópico 2.3 trata dos algoritmos de posicionamento de localização, detalhando os métodos utilizados para obter precisão no rastreamento de ativos em ambientes fechados. Já em 2.4, é apresentada a revisão sistemática da literatura, com destaque para os critérios de seleção, o processo de busca e a análise dos estudos científicos considerados relevantes. Por fim, o tópico 2.5 traz uma análise sistêmica da literatura, reunindo as principais discussões, tendências e lacunas identificadas ao longo da revisão.

Ao cobrir esses tópicos, este capítulo busca prover uma base sólida para a compreensão dos sistemas de rastreabilidade interna, assim como das principais abordagens e desafios encontrados na literatura científica.

2.1 FERRAMENTARIAS

A ferramentaria é um serviço essencial dentro da metalurgia e, especialmente, da usinagem. É nesse setor que se viabiliza a criação e produção das mais variadas ferramentas para linhas de produção de diferentes segmentos industriais (Erominas, 2019). Por meio da ferramentaria, são confeccionados equipamentos, ferramentas e dispositivos como estampo progressivo, que nas etapas seguintes da manufatura serão utilizados em operações de corte, dobra, moldagem e outras transformações. Esses produtos atendem demandas de setores como automotivo, médico-hospitalar, metalúrgico, plástico, entre outros (WGO, 2021).

No contexto brasileiro, as ferramentarias têm grande relevância econômica, destacando-se polos regionais como o de Joinville (SC), conhecido nacionalmente pela concentração de empresas do segmento (Fit Tecnologia, 2022). O setor é caracterizado por alta demanda tecnológica, necessidade de rastreabilidade rigorosa de ativos e foco constante em inovação para garantir competitividade e eficiência operacional.

Os desafios enfrentados pelas ferramentarias incluem a gestão de ativos de alto valor, controle rigoroso do fluxo de peças e ferramentas, além da necessidade de integrar diferentes sistemas de informação e produção. A rastreabilidade interna se apresenta como um diferencial, contribuindo para a otimização dos processos, redução de perdas e aumento do controle sobre o ciclo de vida dos produtos fabricados. A literatura destaca que a implementação de tecnologias de rastreabilidade em ferramentarias potencializa ganhos em produtividade, redução de retrabalho e melhor atendimento às demandas de mercados exigentes (Fisher; Monahan, 2012; Mainetti et al., 2013).

Diante desse contexto, as especificidades e demandas do ambiente de ferramentaria fundamentam a análise e o desenvolvimento do método proposto neste trabalho.

2.2 SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO INDOOR

A rastreabilidade é um aspecto importante em muitas áreas da vida moderna, desde o monitoramento de bens e serviços até a segurança de pessoas e equipamentos. O GPS (*Global Positioning System*) é um dos sistemas de posicionamento de maior sucesso (Liu et al., 2007). O GPS é utilizado para posicionamento em ambientes externos e é difícil de ser utilizado em ambientes internos, pois o efeito de sombreamento reduz ou elimina a intensidade dos sinais dos satélites (Yu; Chen; Hsiang, 2015).

Ao lidar com a localização interna de objetos ou pessoas, a precisão é um parâmetro crucial que deve ser levado em consideração. No entanto, a precisão não é o único fator que deve ser analisado ao selecionar uma tecnologia de rastreabilidade. Outros parâmetros importantes incluem o custo, o alcance de detecção e o consumo de energia. Uma tecnologia de rastreabilidade eficaz em ambientes internos deve equilibrar esses fatores para oferecer uma solução de rastreabilidade que atenda às necessidades específicas de uma determinada aplicação.

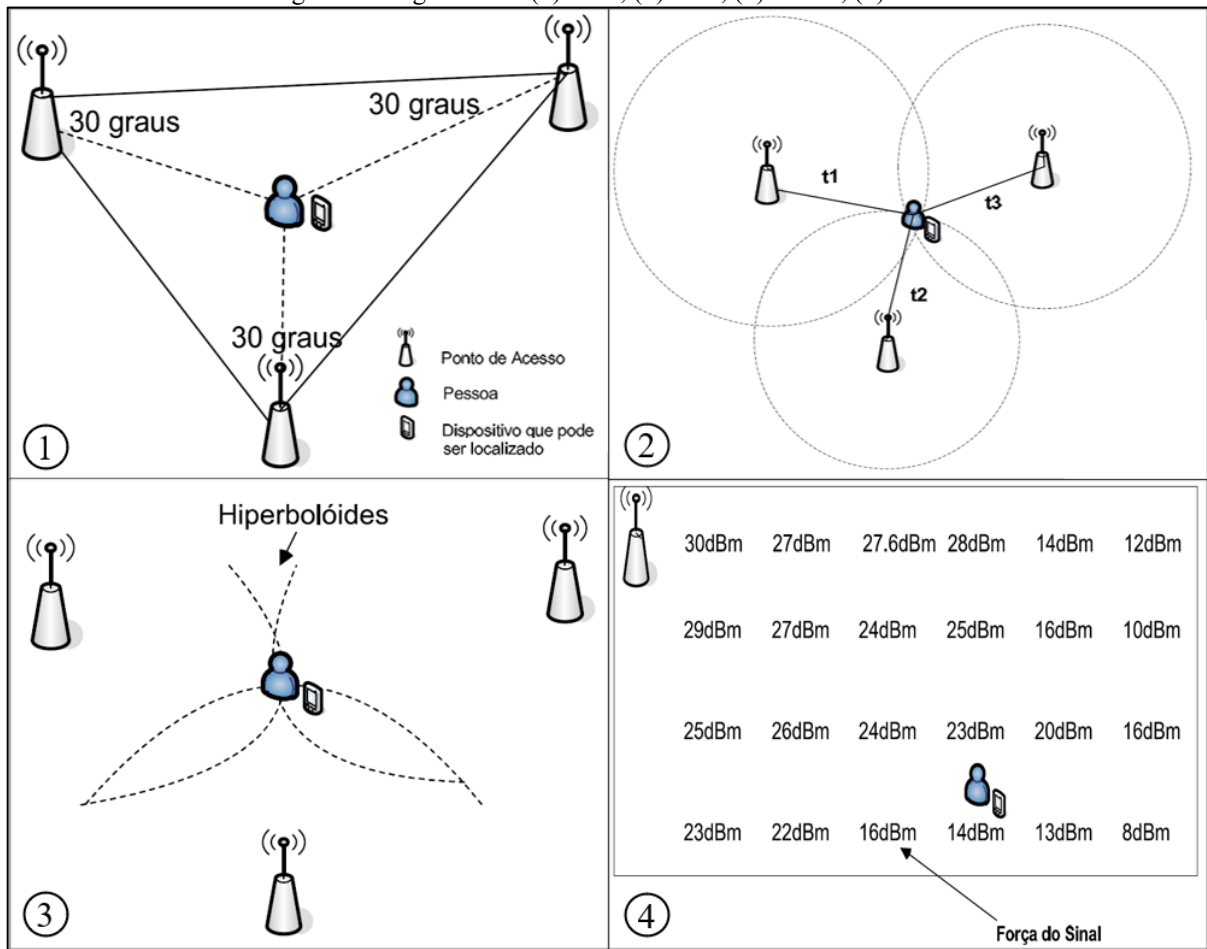
Várias tecnologias alternativas foram propostas para sistemas de posicionamento interno ao longo dos anos (Mainetti; Patrono; Sergi, 2014a). Distintas tecnologias de rastreamento, como RFID passivo, que não requer uma fonte de energia na etiqueta e possui um alcance preciso de 10 cm, e RFID ativo, no qual a etiqueta é alimentada por uma fonte de energia e seu alcance varia de acordo com o tamanho do espaço. Além disso, tecnologias como BLE e Wi-Fi oferecem uma maior amplitude de detecção, abrangendo quase 100 metros, e apresentam uma precisão superior, superior a um metro, quando comparadas à tecnologia UWB, que opera com uma precisão na faixa dos 20 cm, como ilustrado no Quadro 1.

2.3 ALGORITMOS DE POSICIONAMENTO DE LOCALIZAÇÃO

Conforme ZAFARI; GKELIAS; LEUNG, 2019, as tecnologias e protocolos de radiofrequência empregam diversos algoritmos para detectar a presença e calcular o posicionamento de uma ou mais tags em relação a um ou mais leitores. Os algoritmos representados na Figura 1 são os mais frequentemente mencionados na literatura:

6. **Ângulo de chegada (AoA):** Calcula os ângulos da âncora ou tags através de canais de antenas direcionadas (Thiede et al., 2021). A triangulação depende das informações angulares, enquanto a triangulação é baseada nas distâncias de formação (Zand et al., 2019).
7. **Tempo de chegada (ToA):** Os sistemas ToA registram o instante em que um sinal é despachado e quando um sinal chega ao receptor. O tempo do despacho ao recebimento multiplicado pela velocidade da luz resulta na distância até um nó (Zafari; Gkelias; Leung, 2019).
8. **Diferença de tempo de chegada (TDoA):** Funciona com base na diferença de tempo de recebimento do sinal pelas âncoras. Os tempos exatos de chegada em casa âncora devem ser comunicados a um servidor, que calcula a localização da tag mais provável (Malon et al., 2018).
9. **Indicador de Intensidade do Sinal Recebido (RSSI):** É um indicador de intensidade de sinal recebido. Com a técnica de RSSI, a distância entre uma etiqueta e um receptor é estimada pela intensidade do sinal de diferentes receptores (Thiede et al., 2021).

Figura 1 – Algoritmos - (1) AoA; (2) ToA; (3) TDoA; (4) RSSI



Fonte: Adaptado de (Silva, 2008)

2.4 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Para embasar a proposta de método para implementação de sistema de rastreabilidade, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Segundo Brizola & Fantin (2016), a RSL além de embasar uma pesquisa, ajuda também a: (a) delimitar o problema de pesquisa, (b) auxiliar na busca de novas linhas de investigação para o problema que o pesquisador pretende investigar, (c) evitar abordagens infrutíferas, ou seja, por meio da revisão da literatura o pesquisador pode procurar caminhos nunca percorridos, (d) identificar trabalhos já realizados, já escritos e partir para outra abordagem e (e) evitar que o pesquisador faça mais do mesmo, que diga o que já foi dito, tornando sua pesquisa irrelevante.

O processo da RSL segundo Conforto; Amaral; Silva, (2011) é separado em cinco fases: (1) lista de base de dados, (2) filtro de leitura do título, resumo e palavra-chave, (3) leitura

de introdução e conclusão (4) leitura completa e (5) apresentação dos artigos selecionados. A primeira fase consiste na separação dos dados e na realização da pesquisa.

Com o intuito de obter as bases necessárias para a condução do estudo e avaliar todas as lacunas existentes, foi realizado inicialmente um levantamento de trabalhos relacionados ao tema. Durante essa etapa, foram enfatizadas as palavras-chave "*RFID-Based*", "*Indoor Positioning System*", "*Real-Time Locating System*" e "*Tracking*". Essas palavras-chave foram selecionadas com o objetivo de identificar estudos relevantes e estabelecer uma base sólida para a pesquisa.

Após a seleção inicial dos trabalhos, é realizada uma análise criteriosa dos títulos, resumos e palavras-chave, filtrando os estudos que apresentam maior potencial de interesse. Os trabalhos selecionados nesta etapa avançam para a próxima fase, que consiste na leitura e análise das introduções e conclusões. Os artigos que passam por essa triagem são então estudados integralmente, a fim de verificar suas contribuições para a pesquisa. Dessa forma, são separados os artigos relevantes dos demais.

Esta revisão foi realizada utilizando a base de dados científica Scopus, escolhida por sua abrangência e facilidade de uso. A seleção das incidências de palavras-chave foi baseada em sua relevância para o objetivo da pesquisa. Nos meses anteriores aos períodos de coleta de dados, diversas combinações de protocolos de pesquisa foram testadas para otimizar os resultados.

A pesquisa inicial foi conduzida através do portal de Periódicos CAPES, via Universidade Federal de Santa Catarina, e os dados foram exportados entre os dias 1 e 2 de abril de 2023, conforme descrito no Quadro 2. Recentemente, uma nova pesquisa foi realizada e os arquivos foram exportados do Scopus entre os dias 16 e 17 de julho de 2024. Esta etapa adicional foi necessária para garantir que os dados mais recentes e relevantes fossem incluídos na análise, reforçando a precisão e atualidade da revisão bibliográfica.

Quadro 2 – Dados sobre a RSL

Base de dados	Scopus	
	Busca 1	Busca 2
Busca	Busca 1	Busca 2
Período de coleta	01/04/23 à 02/04/23	16/07/24 à 17/07/24
Limitação	Título, resumo e palavra-chave	Título, resumo e palavra-chave

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O Quadro 3 apresenta as três combinações das seis palavras-chave (string) que formam os protocolos de busca bem como seus resultados nas duas buscas.

Quadro 3 – Protocolos de busca utilizado no Scopus

Protocolo de busca		Busca 1 (2022)	Busca 2 (2024)
Protocolo 1	(TITLE-ABS-KEY (rfid-based) AND TITLE-ABS-KEY ("Real-time locating system") OR TITLE-ABS-KEY (rtl))	39	40
Protocolo 2	(TITLE-ABS-KEY (rfid-based) AND TITLE-ABS-KEY ("Indoor positioning system") OR TITLE-ABS-KEY (ip))	116	122
Protocolo 3	(TITLE-ABS-KEY (rfid-based) AND TITLE-ABS-KEY (tracking))	579	614

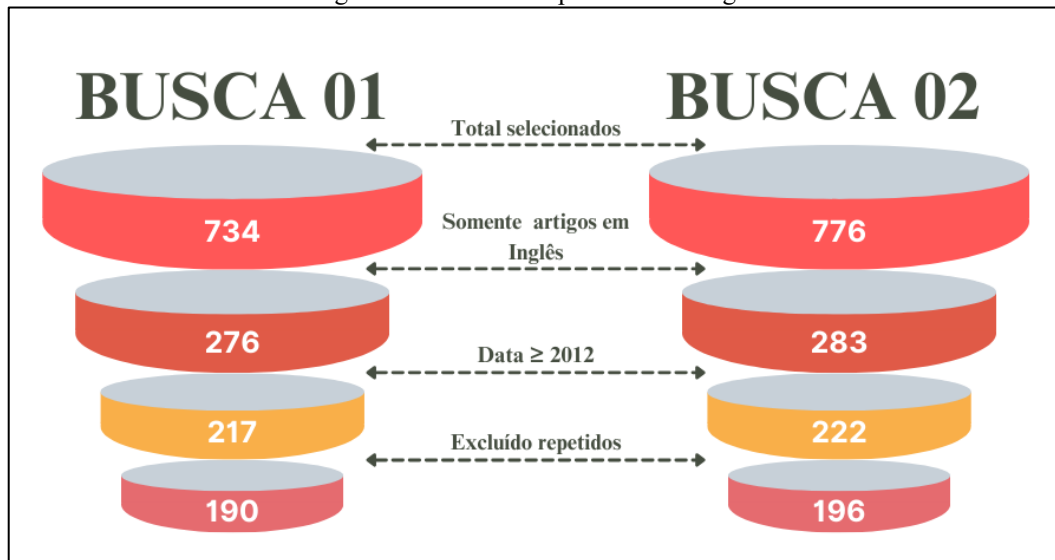
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Conforme ilustrado na Figura 2, o processo de seleção de artigos na pesquisa inicial começou com a aplicação de operadores lógicos aos títulos, resumos e palavras-chave, resultando em 734 publicações identificadas em 2022. Após filtros para selecionar apenas artigos publicados em periódicos e no idioma inglês, esse número foi reduzido para 276. Considerando apenas publicações dos últimos 10 anos (a partir de 2012), ou seja, o estado da arte, a busca resultou em 217 artigos. Após a exclusão de duplicatas, restaram 190 artigos para análise. A partir daí, na segunda fase da RSL, foi realizada uma triagem baseada em título, palavras-chave e resumo, levando à seleção de 52 artigos. Em seguida, a leitura de introdução e conclusão desses artigos permitiu identificar 20 artigos mais alinhados ao tema central da pesquisa de mestrado, relacionados a metodologias de rastreabilidade.

Na quarta fase, foi feita a leitura integral desses 20 artigos, confirmando que todos estavam dentro do escopo proposto, abordando meios de rastreabilidade. O Quadro 4 apresenta a relação dos artigos selecionados após todas as etapas de filtragem, detalhando título, autores, periódico, ano de publicação e número de citações.

Posteriormente, para o trabalho final, foi realizada uma atualização da pesquisa nos dias 16 e 17 de julho de 2024, repetindo o mesmo rigor metodológico. Nessa etapa, a busca inicial encontrou 776 publicações. Após a aplicação dos mesmos critérios de idioma, recorte temporal e exclusão de duplicatas, foram selecionados 196 artigos relevantes. Com a aplicação dos filtros de triagem, dois novos artigos que atendiam aos critérios definidos foram identificados e incorporados ao conjunto de estudos analisados, assegurando que a revisão bibliográfica estivesse atualizada e alinhada com os desenvolvimentos mais recentes da área.

Figura 2 – Primeira etapa da metodologia



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Quadro 4 – Relação de artigos selecionados conforme a quinta fase

Nº	Informações dos artigos		Ano	Cit.
1	Título	A received signal strength RFID-based indoor location system	2017	51
	Autores	Álvarez López Y., de Cos Gómez M.E., Las-Heras Andrés F.		
	Periódico	Sensors and Actuators, A: Physical		
2	Título	A UHF RFID-Based System for Children Tracking	2018	16
	Autores	Pang Y., Ding H., Liu J., Fang Y., Chen S.		
	Periódico	IEEE Internet of Things Journal		
3	Título	An indoor hybrid localization approach based on signal propagation model and fingerprinting	2013	9
	Autores	Li J., Zhang B., Liu H., Yu L., Wang Z.		
	Periódico	International Journal of Smart Home		
4	Título	An RFID-based tracing and tracking system for the fresh vegetables supply chain	2013	40
	Autores	Mainetti L., Mele F., Patrono L., Simone F., Stefanizzi M.L., Vergallo R.		
	Periódico	International Journal of Antennas and Propagation		
5	Título	An RFID-based tracking system for denim production processes	2017	26
	Autores	Oner M., Ustundag A., Budak A.		
	Periódico	International Journal of Advanced Manufacturing Technology		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Quadro 4 (Continuação) – Relação de artigos selecionados conforme a quinta fase

6	Título	Analysis of the variability of RSSI values for active RFID-based indoor applications	2013	23
	Autores	Çalış G., Becerik-Gerber B., Göktepe A.B., Li S., Li N.		
	Periódico	Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences		
7	Título	Automated tracking system using RFID for sustainable management of material handling in an automobile parts manufacturer	2018	4
	Autores	Jamaludin Z., Huong C.Y., Abdullah L., Nordin M.H., Abdullah M.F., Haron R., Jalal K.B.A.		
	Periódico	Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering		
8	Título	Characterising indoor positioning estimation using experimental data from an active RFID-based real-time location system	2016	24
	Autores	Lam L.D.M., Tang A., Grundy J.		
	Periódico	Journal of Location Based Services		
9	Título	COMPASS: An Active RFID-Based Real-Time Indoor Positioning System	2022	1
	Autores	Hsu Y.-F., Cheng C.-S., Chu W.-C.		
	Periódico	Human-centric Computing and Information Sciences		
	Autores	An Y.; Kong W.; Bo Y.; Xu N.N.; Yang J.		
	Periódico	IEEE Sensors Letters		
10	Título	Evaluating the performance of a discrete manufacturing process using RFID: A case study	2013	22
	Autores	Arkan I., Van Landeghem H.		
	Periódico	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing		
11	Título	Indoor localization using the reference tags and phase of passive UHF-RFID tags	2017	6
	Autores	Xu H., Ding Y., Li P., Wang R.		
	Periódico	International Journal of Business Data Communications and Networking		
12	Título	Indoor mobile object tracking using RFID	2017	29
	Autores	Seol S., Lee E.-K., Kim W.		
	Periódico	Future Generation Computer Systems		
13	Título	Indoor positioning technique by combining RFID and particle swarm optimization-based back propagation neural network	2016	38
	Autores	Wang C., Wu F., Shi Z., Zhang D.		
	Periódico	Optik		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Quadro 4 (Continuação) – Relação de artigos selecionados conforme a quinta fase

14	Título	Intelligent RFID indoor localization system using a Gaussian filtering based extreme learning machine	2017	15
	Autores	Wang C., Shi Z., Wu F.		
	Periódico	Symmetry		
15	Título	RFID based indoor positioning system using event filtering	2017	9
	Autores	Bok K., Yoo J.		
	Periódico	Journal of Electrical Engineering and Technology		
16	Título	RFID-based real-time locating system for construction safety management	2012	138
	Autores	Lee H.-S., Lee K.-P., Park M., Baek Y., Lee S.		
	Periódico	Journal of Computing in Civil Engineering		
17	Título	RFID-based warehouse management system in wool yarn industry	2018	8
	Autores	Oner M., Budak A., Ustundag A.		
	Periódico	International Journal of RF Technologies: Research and Applications		
18	Título	RSSI-based hybrid algorithm for real-time tracking in underground mining by using RFID technology	2022	16
	Autores	Cavur M., Demir E.		
	Periódico	Physical Communication		
19	Título	Three-dimensional indoor localisation system using radio frequency identification tags	2015	1
	Autores	Wu J., Williams R.E., Pérez L.C.		
	Periódico	International Journal of Radio Frequency Identification Technology and Applications		
20	Título	Versatile RFID-based Sensing: Model, Algorithm, and Applications	2022	9
	Autores	Jin M., He Y., Yang S., Liu Y., Yan L., Sun Y.		
	Periódico	IEEE Transactions on Mobile Computing		
21	Título	A novel holographic technique for RFID localization in indoor environments	2024	0
	Autores	Ajrourd C.; Hattay J.; Machhout M.		
	Periódico	Multimedia Tools and Applications		
22	Título	RFID-Based Multisensory System for Environmental Monitoring and Consumable Management of Intelligent Tracking	2024	0
	Autores	Ajrourd C.; Hattay J.; Machhout M.		
	Periódico	Multimedia Tools and Applications		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Os 22 artigos selecionados na RSL, foram publicados em 22 periódicos diferentes. Dentre eles o periódico *Journal of Computing in Civil Engineering* teve o maior número de citações, com um total de 138 seguido pelo *Sensors and Actuators, A: Physical* que teve 51 citações, conforme indicado do Quadro 5.

A Figura 3 apresenta um gráfico que demonstra a quantidade de artigos sobre o tema ao longo dos anos. Observa-se que entre os artigos selecionados, há um ciclo com picos e vales, onde anos como 2014, 2019 – 2021 não teve nenhum artigo publicado e o ano de 2017 onde se teve o pico com 6 artigos.

A ausência de publicações em determinados anos e os picos em outros destacam a importância de realizar revisões bibliográficas atualizadas para captar as tendências mais recentes e relevantes. A nova pesquisa realizada em julho de 2024 buscou justamente atualizar e complementar os dados, garantindo que a análise incluía as publicações mais recentes e relevantes, reforçando a robustez e atualidade do estudo.

Figura 3 – Quantidade de artigos por ano de publicação dos periódicos



Fonte: Scopus (2024)

Quadro 5 – Lista de periódicos

Nº	Periódico	Número de artigos	Citações
1	Journal of Computing in Civil Engineering	1	138
2	Sensors and Actuators, A: Physical	1	51
3	International Journal of Antennas and Propagation	1	40
4	Optik	1	38
5	Future Generation Computer Systems	1	29
6	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	1	26
7	Journal of Location Based Services	1	24
8	Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences	1	23
9	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	1	22
10	IEEE Internet of Things Journal	1	16
11	Physical Communication	1	16
12	Symmetry	1	15
13	IEEE Transactions on Mobile Computing	1	9
14	International Journal of Smart Home	1	9
15	Journal of Electrical Engineering and Technology	1	9
16	International Journal of RF Technologies: Research and Applications	1	8
17	International Journal of Business Data Communications and Networking	1	6
18	Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering	1	4
19	Human-centric Computing and Information Sciences	1	1
20	International Journal of Radio Frequency Identification Technology and Applications	1	1
21	IEEE Sensors Letters	1	0
22	Multimedia Tools and Applications	1	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

2.5 ANÁLISE SISTÊMICA DA LITERATURA

Com base na RSL, foi constatado que diferentes tipos de sistemas RFID são utilizados para fins de rastreamento. Alguns desses sistemas empregam portais, nos quais o objetivo é simplesmente registrar a passagem de uma tag em um determinado local. Em geral, um único receptor não é suficiente para determinar a posição precisa da etiqueta (Wang et al., 2016). Por outro lado, existem sistemas que utilizam uma única antena para cobrir uma área específica, com o propósito de verificar se a tag está localizada no setor desejado.

2.5.1 Quantidade de antenas

Para alcançar um nível mais refinado de rastreabilidade, é necessário empregar dois ou mais leitores, pois essa abordagem possibilita o cálculo preciso da localização do item desejado. Vale ressaltar que o número de leitores utilizados tem um impacto direto na qualidade do cálculo de localização. A acurácia aumenta significativamente com a incorporação de até quatro antenas, resultando em ganhos consideráveis de precisão.

No entanto, é possível utilizar apenas uma antena em esquemas tipo portais para outras finalidades que não envolvem o rastreamento preciso, como a detecção de passagem de itens. O Quadro 6 fornece uma visão de todos os artigos selecionados na RSL e a quantidade de antenas empregadas para aprimorar a rastreabilidade. Essa análise revela a diversidade de abordagens adotadas pelos estudos investigados, evidenciando a importância atribuída ao número de leitores na obtenção de resultados precisos no processo de rastreamento de peças.

Quadro 6 – Relação de quantidade de antenas por artigo para rastreabilidade

Número de antenas para rastreabilidade	Referência
1	(An et al., 2024; ÇALIŞ et al., 2013; Cavur; Demir, 2022; Jamaludin et al., 2018; Mainetti et al., 2013; Oner; Budak; Ustundag, 2018; Oner; Ustundag; Budak, 2017; Pang et al., 2018)
2	(Álvarez López; De Cos Gómez; Las-Heras Andrés, 2017)
3	(Jin et al., 2022; Lee et al., 2012; Seol; Lee; Kim, 2017)
4 ou mais	(Ajroud; Hattay; Machhout, 2024; Arkan; Van Landeghem, 2013; Bok; Yoo, 2017; Hsu; Cheng; Chu, 2022; Lam; Tang; Grundy, 2016; Li et al., 2013; Wang et al., 2016; Wang; Shi; Wu, 2017; Wu et al., 2015; Xu et al., 2017)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

É importante destacar que, além desse ponto, não foram encontrados dados nos artigos analisados que comprovem a eficácia de utilizar mais de quatro antenas no mesmo ambiente. Dessa forma, a adição de antenas além desse número não oferece retornos substanciais para a mesma área de cobertura. Portanto, uma vez que quatro antenas sejam implementadas, não há um benefício real em continuar aumentando o número de antenas para aprimorar a rastreabilidade. Meios e maneiras de posicionamento das antenas podem ser encontrados no Apêndice A.

2.5.2 Requisitos de avaliação

Com base na análise dos artigos selecionados na RSL, identificaram-se os seguintes requisitos, cuja importância, segundo a percepção dos clientes, desempenha um papel fundamental na melhoria da qualidade tanto do produto quanto do serviço:

1. Rastrear e identificar produtos com precisão: (Mainetti et al., 2013; Oner; Budak; Ustundag, 2018; Oner; Ustundag; Budak, 2017);
2. Reduzir o tempo necessário para localizar produtos específicos dentro da cadeia de suprimentos: (An et al., 2024; ÇALIŞ et al., 2013);
3. Facilitar a detecção de falha de rota operacional: (ÇALIŞ et al., 2013);
4. Ter controle do desempenho de manufatura: (An et al., 2024; Arkan; Van Landeghem, 2013; Oner; Ustundag; Budak, 2017);
5. Integração com sistemas existentes: (Mainetti et al., 2013);
6. Transparência e a visibilidade da cadeia de suprimentos: (An et al., 2024; ÇALIŞ et al., 2013);
7. Melhorar a gestão do fluxo de materiais e a logística interna: (Ajroud; Hattay; Machhout, 2024; An et al., 2024; ÇALIŞ et al., 2013);

De acordo com os requisitos do estudo, foram definidos quatro critérios para a avaliação do sistema: alcance de leitura, precisão de leitura, custo de implementação e complexidade técnica. Esses critérios foram estabelecidos com base nos parâmetros discutidos por Finkenzeller, 2010, que destaca que o alcance está relacionado à distância e movimentação da tag em relação ao leitor; a precisão refere-se à leitura confiável de uma única tag por vez; o custo varia conforme o tipo de sistema adotado; e a complexidade técnica depende das exigências de instalação e operação do sistema RFID.

1. **Alcance de leitura:** Será realizada uma avaliação criteriosa para verificar se as tags e as antenas realmente conseguem atingir as distâncias especificadas pelo fornecedor.
2. **Precisão de leitura:** Este aspecto visa mensurar a capacidade do sistema em determinar com exatidão a localização da tag, ressaltando a importância da precisão no contexto da pesquisa.
3. **Custo de implementação:** Serão analisados detalhadamente os custos associados à implementação do sistema, fornecendo insights sobre a viabilidade econômica da tecnologia.

4. **Complexidade técnica:** Este critério de avaliação busca oferecer uma compreensão aprofundada da complexidade envolvida na instalação e operação do sistema, elucidando eventuais desafios técnicos que possam surgir.

Esses quatro pontos de avaliação são essenciais para a pesquisa acadêmica em questão, pois contribuirão para uma análise abrangente da tecnologia estudada e sua aplicação no contexto da qualidade de produtos e serviços. A avaliação desses critérios permitirá obter uma compreensão holística da eficácia, acessibilidade e sustentabilidade da solução proposta. Informações adicionais sobre a metodologia utilizada para essa avaliação podem ser encontradas no Apêndice B. Além disso, desempenharão um papel fundamental na tomada de decisões informadas e na garantia de que a solução atenda aos objetivos estabelecidos de maneira eficaz e eficiente.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesse capítulo será apresentado o método científico para garantir a validade e confiabilidade de uma pesquisa. Será abordada a estratégia metodológica utilizada para a condução deste estudo, detalhando os procedimentos adotados para a coleta e análise dos dados.

Além disso, será apresentada a metodologia de triangulação de dados, um processo que permite a integração de diferentes fontes de informação, métodos e perspectivas para aumentar a robustez dos achados. A triangulação possibilita validar os resultados por meio da convergência de evidências coletadas de diferentes formas, promovendo maior precisão e confiabilidade às conclusões deste estudo.

3.1 MÉTODO CIENTÍFICO

Para garantir o rigor científico e a relevância de uma pesquisa, tanto para a comunidade acadêmica quanto para a sociedade, é fundamental que o trabalho seja conduzido de modo sistemático, passível de verificação e debate (Lacerda et al., 2013). Neste contexto, o presente estudo adota os princípios do *Design Science Research* (DSR), ou *Design Science Research Methodology* (DSRM), como abordagem metodológica central.

A DSR fundamenta-se na definição precisa das classes de problemas a serem solucionados e na construção e aplicação de artefatos específicos, desenvolvidos em fases adequadas ao contexto da pesquisa. O objetivo principal é compreender, estruturar e propor soluções concretas para um problema prático, assegurando que o desenvolvimento do artefato — neste caso, um método de rastreabilidade via RFID para ferramentarias — ocorra de forma estruturada e validada empiricamente.

De acordo com PEFERS et al., (2007), o processo DSR inclui seis etapas: (1) identificação e motivação do problema, (2) definição dos objetivos para uma solução, (3) projeto e desenvolvimento, (4) demonstração, (5) avaliação e (6) comunicação.

O processo tem início com a identificação e motivação do problema, baseada na análise do contexto das ferramentarias e na identificação de lacunas nas práticas correntes de rastreabilidade de ativos. Esta etapa é fundamentada por uma revisão bibliográfica sistemática, que subsidia a compreensão do estado da arte e orienta a definição dos objetivos da pesquisa.

Em seguida, procede-se à definição dos objetivos para uma solução, estabelecendo critérios norteadores para o desenvolvimento do método de rastreabilidade via RFID. A etapa

de projeto e desenvolvimento compreende a estruturação do método proposto, considerando requisitos técnicos, operacionais e as especificidades do ambiente industrial.

A demonstração do método ocorre por meio de simulações e prototipagens em ambiente controlado, bem como pela aplicação de questionário estruturado a especialistas do setor. As respostas obtidas fundamentam a validação dos requisitos e os eventuais ajustes necessários ao método.

Posteriormente, realiza-se a avaliação, que consiste na análise do desempenho do método proposto a partir de critérios de rastreabilidade, eficiência operacional e robustez frente às limitações identificadas ao longo da pesquisa. A avaliação contempla tanto os resultados das simulações quanto as contribuições dos especialistas, possibilitando uma validação teórica e prática do método.

Por fim, a etapa de comunicação refere-se ao registro sistemático das etapas, resultados e limitações da pesquisa nesta dissertação, de modo a possibilitar a replicação do método por outros pesquisadores e a aplicação dos resultados pela indústria.

Dessa forma, a adoção do DSR como método científico central assegura uma abordagem rigorosa, sistemática e transparente, em consonância com as demandas das pesquisas aplicadas em rastreabilidade industrial.

3.2 DETALHAMENTO DO MÉTODO

O método desenvolvido para implementação do sistema de rastreabilidade foi estruturado em três fases: Fase I – Estruturação, Fase II – Implementação e Fase III – Avaliação. Cada fase é composta por etapas que se conectam de forma sequencial, com diferentes tipos de dados sendo gerados, utilizados e transferidos entre as etapas, garantindo o fluxo de informações necessário para o avanço do projeto.

Na Fase I – Estruturação, o ponto de partida é o design do sistema, onde são definidos os requisitos funcionais, componentes e arquitetura básica. Os resultados dessa etapa, como esquemas, listas de materiais e definições técnicas, servem de entrada para o estudo de viabilidade técnica e comercial, que analisa as possibilidades de execução e os custos envolvidos. Com a viabilidade aprovada, as informações seguem para o planejamento de integração, que determina como os diferentes módulos e processos vão se conectar.

Esse planejamento considera tanto os dados levantados anteriormente quanto os requisitos do ambiente. Depois, a avaliação ambiental utiliza informações técnicas e operacionais para analisar possíveis impactos ambientais do sistema. Por fim, a documentação de especificações técnicas reúne todos os dados produzidos nas etapas anteriores e consolida em um documento-base que orienta as fases seguintes.

Na Fase II – Implementação, o processo avança para a instalação física, que utiliza as especificações técnicas e os planejamentos da Fase I como base para a montagem dos equipamentos e infraestrutura. Em seguida, ocorre a configuração de software, usando os parâmetros definidos no planejamento de integração. Os dados gerados nessa configuração são para os testes de campo e validação, nos quais o desempenho do sistema é avaliado em ambiente real. Os resultados desses testes direcionam o treinamento operacional, que é ajustado conforme as necessidades identificadas. Por fim, a otimização contínua e a gestão de mudanças são realizadas com base no feedback dos usuários e nos dados coletados durante o uso inicial do sistema.

Na Fase III – Avaliação, o método entra na etapa de monitoramento e encerramento do projeto. A avaliação de desempenho usa métricas coletadas durante a operação para verificar se os objetivos estão sendo atingidos. Esses dados alimentam a análise de impacto, que mede os efeitos da implementação no processo produtivo e no ambiente de trabalho. Com base nos resultados, faz-se a identificação de problemas, permitindo apontar falhas e oportunidades de melhoria. O plano de melhoria contínua é elaborado considerando os problemas encontrados e os resultados das etapas anteriores. Por fim, a documentação final consolida todas as informações geradas, registrando o histórico das decisões, aprendizados e resultados alcançados.

Ao longo de todas as fases, a integração entre etapas é feita de forma lógica: os dados de saída de uma etapa viram dados de entrada para a etapa seguinte, garantindo rastreabilidade e continuidade do processo. Esse detalhamento mostra que o método foi planejado para garantir fluxo de informações, controle dos processos e fácil acompanhamento dos resultados em cada etapa

3.3 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

Assim como em qualquer pesquisa, este trabalho apresenta alguns limites inerentes à sua metodologia. O principal deles é que a avaliação do método foi feita de forma teórica, sem a aplicação prática das etapas em ambiente real. Todas as percepções levantadas no questionário refletem a opinião dos profissionais sobre a importância de cada etapa, sem envolver testes ou validação operacional.

O perfil dos respondentes também representa uma limitação: o grupo foi em grande maioria de profissionais da área industrial, o que pode limitar a extensão dos resultados para outros setores ou empresas. Além disso, a análise depende da percepção individual de cada participante, podendo haver influência de experiências pessoais ou expectativas diferentes.

Os limites também estão relacionados ao contexto apresentado, baseado na estrutura, recursos e desafios de uma ferramentaria padrão. Em outros cenários, algumas etapas podem exigir ajustes ou adequações.

Apesar dessas limitações, o trabalho traz uma visão relevante das prioridades e da percepção de profissionais experientes sobre o método proposto.

4 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

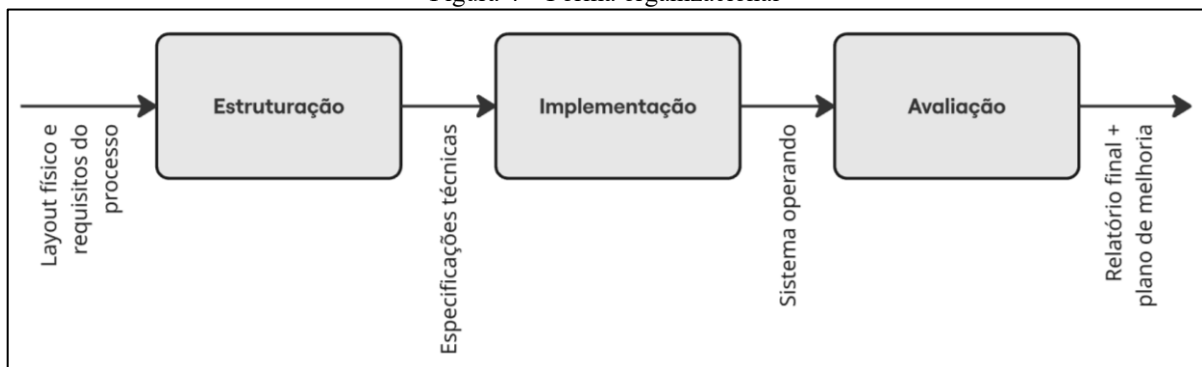
O método apresentado neste capítulo foi desenvolvido com base nos requisitos e critérios identificados na Revisão Sistemática da Literatura (RSL), conforme descrito no capítulo 2. O objetivo central foi construir um processo de implementação do sistema RFID alinhado às demandas e desafios das ferramentarias, considerando condições operacionais específicas e a necessidade de rastreamento preciso de ativos.

A análise dos artigos selecionados na RSL apontou como pontos centrais para o método: precisão no rastreamento, integração eficiente com sistemas industriais já existentes e robustez diante de ambientes industriais adversos. Também foram considerados fatores presentes na literatura, como redução do tempo para localização de ativos, melhoria do controle operacional, facilidade para detecção de falhas e otimização do fluxo de materiais.

Para comparar as alternativas de configuração do sistema, foram adotados quatro critérios principais de avaliação: alcance de leitura, precisão de leitura, custo de implementação e complexidade técnica. Esses parâmetros seguem as recomendações de Finkenzeller (2010) e outros autores analisados na RSL, permitindo avaliar o desempenho técnico e a viabilidade prática das soluções propostas.

O processo de definição do método envolveu ainda o levantamento de requisitos junto a profissionais do setor, incluindo engenheiros, técnicos e supervisores, buscando adequar o modelo à realidade de uso da indústria. Com base nesses elementos, o método foi estruturado em três fases: estruturação, implementação e avaliação. A Figura 4 apresenta de forma esquemática a organização das fases do método proposto, permitindo visualizar o fluxo das etapas desde o planejamento inicial até a avaliação final do sistema.

Figura 4 – Forma organizacional



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Cada uma dessas fases foi subdividida em etapas que abrangem desde o planejamento e os testes em ambiente real até as ações de melhoria contínua e documentação final do sistema. Nos tópicos a seguir, cada etapa do método é apresentada de forma detalhada, incluindo os objetivos, os procedimentos realizados e os critérios utilizados na avaliação das alternativas ao longo do desenvolvimento do projeto.

4.1 FASE I – ESTRUTURAÇÃO

A fase inicial do projeto, apresentada na Figura 5, tem papel central na organização da implantação do sistema RFID. É nessa etapa que se definem os requisitos técnicos e operacionais, estabelecendo o direcionamento das próximas fases e permitindo antecipar desafios comuns à realidade da ferramentaria. O planejamento detalhado garante maior compatibilidade da solução com processos existentes e contribui para a viabilidade técnica e econômica do projeto.

Foram definidos cinco blocos para essa fase: design do sistema, estudo de viabilidade técnica e comercial, planejamento de integração, avaliação ambiental e documentação de especificações técnicas. Cada um desses pontos será detalhado a seguir.

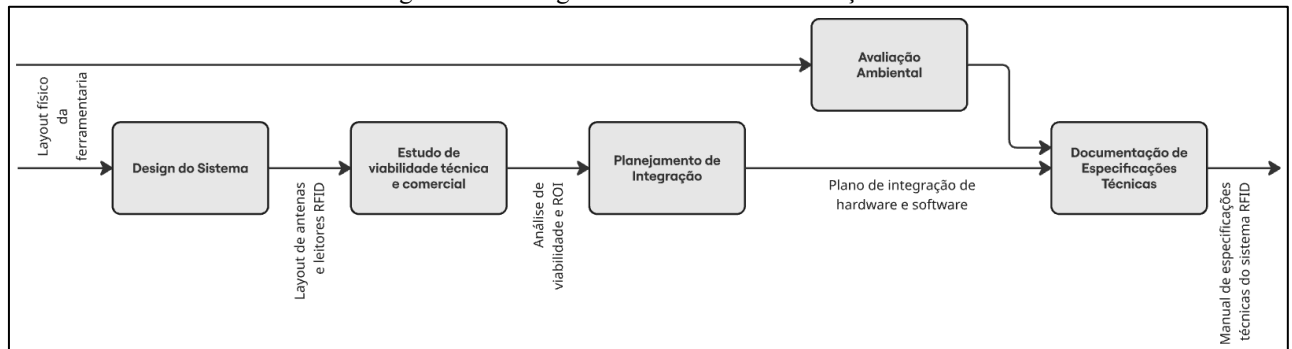
Design do sistema: Planejar a cobertura, a disposição das antenas e leitores, considerando as condições ambientais da ferramentaria, e realizar simulações de desempenho para prever o comportamento do sistema em diferentes cenários operacionais. Essa etapa tem como entrada o layout físico da ferramentaria e gera como saída o layout proposto de antenas e leitores RFID.

Estudo de viabilidade técnica e comercial: Analisar os custos de aquisição, instalação e manutenção, bem como os benefícios esperados em produtividade e eficiência operacional. Realizar a análise de retorno sobre o investimento (ROI), considerando os impactos diretos e indiretos. Para isso, utiliza como entrada o layout proposto de antenas e leitores RFID e tem como saída a análise de viabilidade técnica e ROI.

Planejamento de integração: Avaliar a compatibilidade com os sistemas legados existentes, definir os requisitos de software e hardware necessários e estabelecer os procedimentos para a integração eficiente dos fluxos de dados entre os diferentes sistemas. A entrada dessa etapa é a análise de viabilidade técnica e ROI, enquanto a saída é o plano de integração de hardware e software.

Avaliação ambiental: Identificar os fatores ambientais que possam interferir na operação do sistema RFID, como temperatura, umidade, poeira, óleo e materiais metálicos, orientando a seleção dos componentes mais adequados para o ambiente fabril. Esta fase utiliza como entrada o layout físico da ferramentaria e gera como saída o relatório de fatores ambientais críticos.

Figura 5 – Fluxograma da Fase I - Estruturação



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Documentação de especificações técnicas: Elaborar manuais de operação, procedimentos de calibração e guias de manutenção, garantindo a correta utilização, manutenção e continuidade operacional do sistema RFID. Sua entrada são as saídas consolidadas das etapas anteriores e sua saída é o manual de especificações técnicas do sistema RFID.

4.2 FASE II – IMPLEMENTAÇÃO

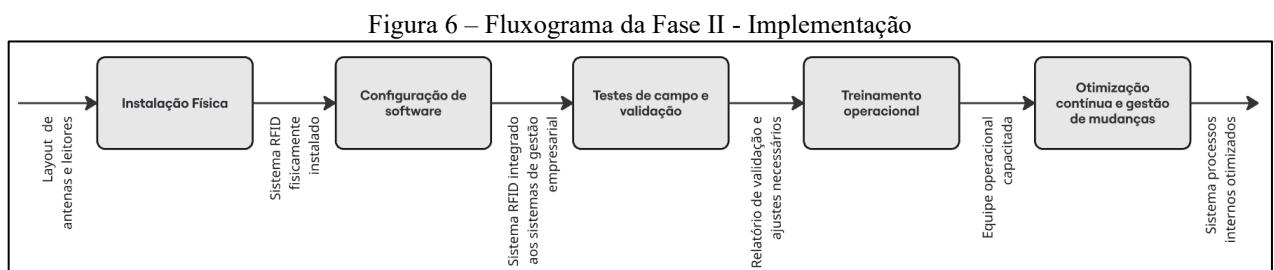
Esta seção aborda uma etapa essencial para garantir a eficiência e funcionalidade do sistema RFID. A implementação envolve um conjunto de processos técnicos e operacionais que devem ser cuidadosamente planejados e executados para assegurar que a tecnologia opere de maneira confiável e integrada ao ambiente industrial. Como pode ser visto na Figura 6, aspectos como instalação física dos equipamentos, configuração de software, testes de campo e treinamento operacional são fundamentais para que o sistema atinja seu máximo desempenho e proporcione benefícios tangíveis à rastreabilidade e gestão de ativos.

Para a implementação do sistema, esta fase foi organizada em cinco etapas principais: instalação física, configuração de software, testes de campo e validação, treinamento operacional e otimização contínua e gestão de mudanças. Cada uma dessas etapas será

explicada a seguir, considerando tanto os procedimentos técnicos quanto os ajustes necessários à realidade das ferramentarias.

Instalação física: Realizar a montagem das antenas, leitores e demais componentes de infraestrutura, considerando o layout do ambiente de ferramentaria e ajustando o posicionamento para evitar interferências e maximizar a eficiência de leitura. Tem como entrada o layout aprovado de antenas e leitores e gera como saída o sistema RFID fisicamente instalado.

Configuração de software: Integrar o sistema RFID aos sistemas de gestão empresarial existentes, configurar os bancos de dados para armazenamento das informações de rastreabilidade, desenvolver interfaces de usuário para monitoramento em tempo real e implementar ferramentas de análise de dados para suporte à tomada de decisão. Essa fase tem como entrada o sistema RFID fisicamente instalado e como saída o sistema RFID integrado aos sistemas de gestão empresarial.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Testes de campo e validação: Conduzir testes operacionais abrangentes para validar o funcionamento do sistema, realizar auditorias de conformidade para assegurar o atendimento às normas aplicáveis e monitorar o desempenho inicial do sistema em diferentes condições operacionais, identificando eventuais falhas e implementando as correções necessárias. Sua entrada é o sistema RFID integrado aos sistemas de gestão empresarial e sua saída é o relatório de validação e ajustes necessários.

Treinamento operacional: Capacitar os usuários finais e a equipe de manutenção, abordando o funcionamento do sistema RFID, os procedimentos corretos de operação, as rotinas de manutenção preventiva e as técnicas de resolução de problemas. Tem como entrada o relatório de validação e ajustes necessários e como saída a equipe operacional capacitada.

Otimização contínua e gestão de mudanças: Realizar ajustes pós-implantação com base no feedback dos usuários, implementar melhorias técnicas no sistema e adaptar os processos internos da organização para facilitar a aceitação da nova tecnologia e assegurar a sustentabilidade operacional da solução de rastreabilidade. Essa etapa utiliza como entrada o feedback da equipe operacional capacitada e tem como saída o sistema ajustado e os processos internos otimizados.

4.3 FASE III – AVALIAÇÃO

Conforme apresentado na Figura 7, a fase de avaliação tem como objetivo analisar o desempenho do sistema RFID e seus impactos operacionais. Verificar se as metas estabelecidas durante a fase de planejamento foram atingidas e identificar os ajustes necessários. Considerar indicadores-chave de desempenho como taxa de leitura, precisão da rastreabilidade, tempo de resposta do sistema, taxa de falhas de leitura, disponibilidade do sistema, taxa de ocorrência de erros de integração, confiabilidade da comunicação, tempo médio para identificação de problemas, consistência dos dados registrados e satisfação dos usuários com o sistema. Avaliar também o impacto operacional e o retorno sobre o investimento, assegurando que o sistema RFID contribua efetivamente para a rastreabilidade e a eficiência das operações industriais.

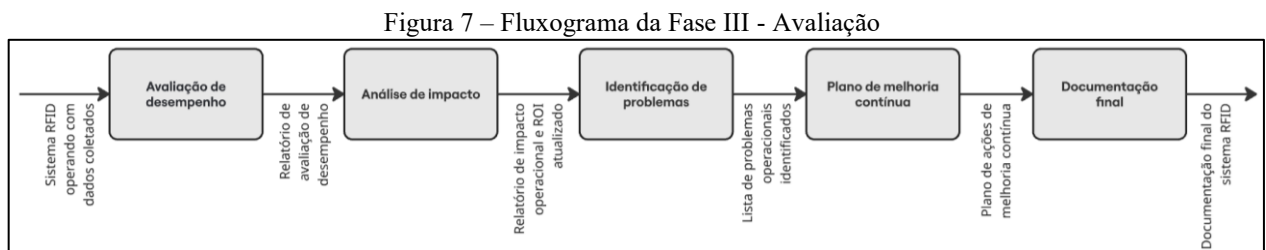
Na etapa de avaliação, foram definidos cinco tópicos principais: avaliação de desempenho, análise de impacto, identificação de problemas, plano de melhoria contínua e documentação final. Cada uma dessas etapas será detalhada a seguir, considerando tanto o acompanhamento dos resultados quanto os ajustes necessários para garantir a evolução e a sustentabilidade do sistema RFID.

Avaliação de desempenho: Realizar uma análise sistemática do desempenho do sistema RFID com base nos indicadores-chave de desempenho (KPIs) definidos na fase de planejamento. Coletar dados operacionais que permitam medir a eficácia do sistema em termos de precisão das leituras, tempo de resposta e taxa de falhas. Elaborar relatórios de avaliação quantitativos e qualitativos para registrar os resultados, permitindo a identificação de áreas de sucesso e de pontos que necessitam de melhorias. Esta etapa utiliza como entrada o sistema RFID operando com dados coletados e gera como saída o relatório de avaliação de desempenho.

Análise de impacto: Avaliar os efeitos da implementação do sistema RFID sobre a eficiência operacional, a produtividade e a qualidade dos processos na ferramentaria. Analisar indicadores como redução de erros de inventário, melhoria na localização e rastreamento de ativos e impacto na redução de custos operacionais. Incluir nesta análise a revisão do retorno

sobre o investimento (ROI), permitindo verificar se os benefícios alcançados justificam os custos incorridos. Para isso, tem como entrada o relatório de avaliação de desempenho e como saída o relatório de impacto operacional e ROI atualizado.

Identificação de problemas: Identificar e documentar de forma sistemática os problemas técnicos e operacionais observados durante a operação do sistema RFID. Registrar ocorrências como falhas de hardware, instabilidades de software e dificuldades de integração com outras plataformas tecnológicas. Utilizar estas informações para orientar as ações corretivas e as melhorias no sistema. Essa etapa tem como entrada o relatório de impacto operacional e ROI atualizado e como saída a lista de problemas técnicos e operacionais identificados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Plano de melhoria contínua: Desenvolver um plano de melhoria contínua com base nas análises de desempenho, impacto e nos problemas identificados. Definir ações específicas para correção de falhas, aprimoramento da eficiência do sistema e expansão das funcionalidades. Incluir neste plano a realização de sessões de revisão com stakeholders para coleta de *feedback*, além de considerar aspectos de sustentabilidade, como consumo de energia, manutenção preventiva e possíveis atualizações tecnológicas futuras. Tem como entrada a lista de problemas técnicos e operacionais identificados e como saída o plano de ações de melhoria contínua.

Documentação final: Atualizar e consolidar toda a documentação do sistema RFID, incluindo informações detalhadas sobre as configurações, procedimentos operacionais, rotinas de manutenção, troubleshooting e melhorias implementadas. Garantir que esta documentação sirva como base para futuras operações, capacitações de novos usuários e processos de auditoria interna ou externa. Sua entrada é o plano de ações de melhoria contínua e sua saída é a documentação final atualizada do sistema RFID.

5 AVALIAÇÃO DO MÉTODO

Para verificar se o método proposto atende aos requisitos definidos, foi aplicada uma pesquisa específica por meio de um questionário direcionado a profissionais com experiência em projetos de implantação e uso de tecnologia RFID. Os respondentes incluem engenheiros, técnicos e supervisores que atuam diretamente com sistemas de rastreabilidade em ambientes industriais, sendo considerados especialistas por sua vivência prática e conhecimento do setor.

Este capítulo descreve a aplicação do questionário, detalha o procedimento de coleta das respostas e apresenta a análise dos dados obtidos. A discussão dos resultados permite identificar práticas consolidadas, desafios encontrados e oportunidades de melhoria na adoção do RFID. O objetivo desse processo é avaliar a efetividade do método desenvolvido e fornecer subsídios para futuras estratégias de implementação e aperfeiçoamento da tecnologia no contexto industrial.

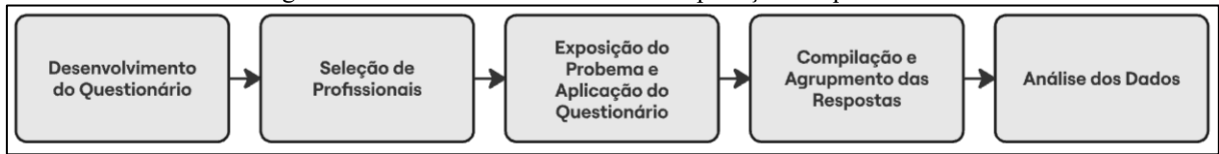
5.1 ESTRUTURAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

A estruturação do questionário, detalhada nesta seção, integra o método desenvolvido para avaliar a aplicação do RFID em ambientes industriais. O processo incluiu o desenvolvimento das perguntas, a seleção dos tópicos e a exposição dos problemas a serem investigados, buscando garantir que os dados coletados fossem diretamente relacionados aos objetivos do trabalho.

O questionário foi elaborado para captar as diferentes práticas, percepções e desafios enfrentados por profissionais que atuam com projetos de RFID. A preparação das perguntas considerou a necessidade de abordar os principais requisitos técnicos, operacionais e estratégicos já levantados nas fases anteriores do método. O objetivo foi possibilitar uma análise dos padrões de uso, eficiência e eventuais dificuldades no contexto real das indústrias.

O método de coleta utilizado foi desenhado para permitir que cada resposta contribuísse com informações relevantes, permitindo identificar tanto pontos de convergência quanto variações de experiência entre os profissionais. A Figura 8 ilustra, em forma de fluxograma, as etapas metodológicas seguidas desde a preparação do questionário até a análise das respostas.

Figura 8 – Fluxo de desenvolvimento e aplicação do questionário



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

5.1.1 Desenvolvimento do questionário

Para avaliar o nível de consenso entre os participantes nas etapas analisadas, foi utilizado o índice de concordância em grupo, conhecido como *rwg*. Esse índice compara a variância observada nas respostas dos avaliadores com a variância esperada caso as respostas fossem totalmente aleatórias, funcionando como uma medida de alinhamento das opiniões dentro do grupo (James; Demaree; Wolf Schmidt, 1993).

No presente estudo, as respostas foram dadas em uma escala ordinal de cinco pontos, em que 1 corresponde a “discordo totalmente” e 5 a “concordo totalmente”. O *rwg* foi calculado para cada etapa, considerando como referência a distribuição uniforme das respostas na ausência de consenso. Valores próximos de 1 indicam alto grau de concordância entre os respondentes, enquanto valores próximos de 0 indicam maior dispersão nas opiniões. A literatura aponta que valores acima de 0,71 já são considerados suficientes para justificar consenso em estudos dessa natureza (Biemann; Cole; Voelpel, 2012; LeBreton; Senter, 2008).

O cálculo do *rwg* é realizado pela razão entre a variância observada nas respostas (S_x^2) e a variância esperada sob ausência de acordo (σ_{EU}^2), conforme a fórmula:

$$rwg = 1 - \left(\frac{S_x^2}{\sigma_{EU}^2} \right)$$

Em uma escala de cinco pontos, a variância esperada sob distribuição uniforme é igual a 2,0 (James; Demaree; Wolf Schmidt, 1993). Por exemplo, se um grupo apresenta variância observada de 0,4 nas respostas, o cálculo será $rwg = 1 - \left(\frac{0,4}{2,0} \right) = 0,8$, indicando um grau forte de consenso.

No quadro 7 é mostrado qual os níveis de concordância de acordo com cada valor.

Quadro 7 – Valores de concordância

Nível de Concordância	Valor do índice
Muito Forte	0.91 até 1.00
Forte	0.71 até 0.90
Moderada	0.51 até 0.70
Fraca	0.31 até 0.50
Não possui	0.00 até 0.30

Fonte: Traduzido de (Biemann; Cole; Voelpel, 2012)

A aplicação do *rwg* permite identificar de forma quantitativa quais etapas apresentam maior alinhamento entre os profissionais avaliados, fornecendo subsídios objetivos para a discussão dos resultados e para a proposição de melhorias no sistema estudado.

5.1.2 Seleção de profissionais

Este segmento do estudo se concentra em detalhar o perfil dos participantes envolvidos na pesquisa. Conforme ilustrado na Figura 9, entre os entrevistados, quatro são especialistas em RFID, envolvidos diretamente com a implementação e desenvolvimento da tecnologia. Os demais incluem um engenheiro de RFID, um vendedor de soluções de RFID e um gerente de negócios em IoT. A diversidade de experiências e a profundidade do conhecimento dos participantes destacam a robustez e a abrangência das perspectivas integradas ao estudo.

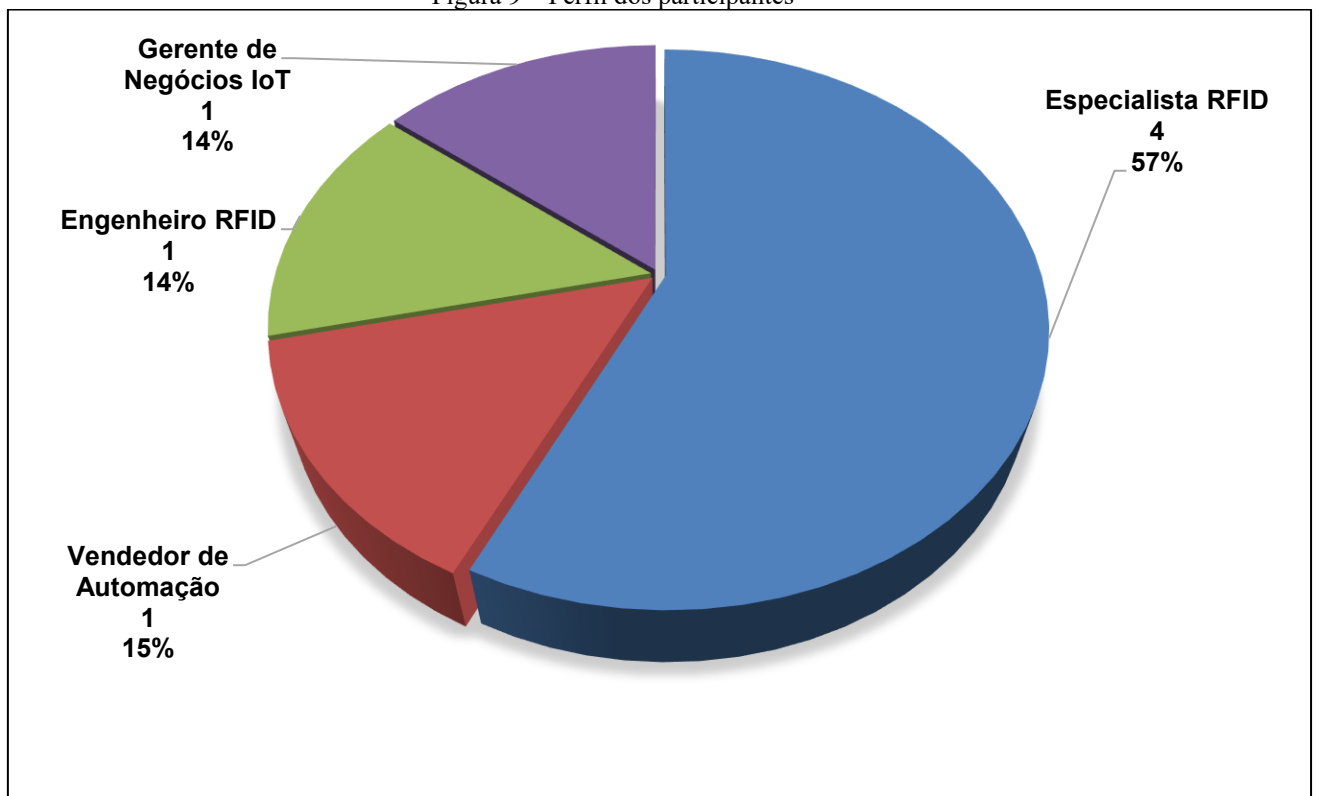
No Quadro 7, é possível obter uma visão clara sobre o nível de experiência dos participantes envolvidos na pesquisa. Com uma média de 10 anos de atuação no campo, os dados destacam a expertise dos participantes. Esta lista de experiências, é um indicativo da alta qualificação e do conhecimento especializado que cada um traz para o estudo.

Quadro 8 – Caracterização dos participantes

Participante	Profissão	Anos de experiência
Profissional 1	Gerente de Negócios IoT	18
Profissional 2	Engenheiro RFID	4
Profissional 3	Vendedor de Automação	5
Profissional 4	Especialista RFID	4
Profissional 5	Especialista RFID	13
Profissional 6	Especialista RFID	15
Profissional 7	Especialista RFID	10

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 9 – Perfil dos participantes



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

5.1.3 Questionário aplicado

O objetivo deste tópico é apresentar as questões direcionadas aos profissionais para avaliar a percepção deles sobre cada etapa do método. Para isso, foi aplicado um questionário simples e direto, no qual cada participante indicou, em uma escala de 1 a 5, o quanto considera cada etapa importante dentro do processo.

A primeira parte do questionário avaliou as etapas da Fase I, que envolvem o planejamento e preparação do sistema. Foram consideradas as atividades de design do sistema, estudo de viabilidade técnica e comercial, planejamento de integração, avaliação ambiental e documentação das especificações técnicas.

1. O design do sistema é importante para a implementação do método?
2. O estudo de viabilidade técnica e comercial é importante para o sucesso do projeto?
3. O planejamento de integração é importante para garantir o funcionamento do sistema?

4. A avaliação ambiental é importante no contexto da implantação deste método?
5. A documentação de especificações técnicas é importante para a execução do projeto?

Na sequência, os participantes responderam sobre as etapas da Fase II, que são ligadas à execução e ajustes práticos. Foram avaliadas as etapas de instalação física, configuração de software, testes de campo e validação, treinamento operacional e ações de otimização contínua e gestão de mudanças.

6. A instalação física é importante para a operação do sistema?
7. A configuração de software é importante para o funcionamento do método?
8. Os testes de campo e validação são importantes para garantir a eficiência do sistema?
9. O treinamento operacional é importante para o uso correto do sistema?
10. A otimização contínua e a gestão de mudanças são importantes para manter a eficácia do método?

Por fim, a Fase III concentrou as etapas voltadas para acompanhamento, análise e fechamento do projeto. Foram analisadas a avaliação de desempenho, análise de impacto, identificação de problemas, plano de melhoria contínua e documentação final.

11. A avaliação de desempenho é importante para monitorar os resultados do sistema?
12. A análise de impacto é importante para identificar os efeitos do método?
13. A identificação de problemas é importante para o aperfeiçoamento do sistema?
14. O plano de melhoria contínua é importante para o desenvolvimento do processo?
15. A documentação final é importante para registrar as informações do projeto?

Após a coleta das respostas, os dados obtidos serviram de base para identificar quais etapas são percebidas como mais ou menos relevantes pelos profissionais participantes. As respostas completas podem ser consultadas no Apêndice C. A próxima seção consiste em aplicar o método conforme o planejamento descrito, utilizando esses resultados para ajustar pontos críticos e reforçar as fases mais valorizadas pelo grupo.

5.1.4 Aplicação do questionário

Concentrando-se na avaliação das fases propostas, foi apresentado aos profissionais, na seção anterior, um questionário para validação dessas etapas. Este estudo busca entender de que forma diferentes experiências e níveis de familiaridade com a tecnologia RFID influenciam a eficiência operacional e a capacidade de resolução de problemas nas atividades diárias.

O questionário foi respondido pelos participantes entre os dias 11 e 17 de maio de 2025. As informações coletadas permitem avaliar não apenas a validade das etapas, mas também as práticas adotadas em seus campos de atuação. Com isso, foi possível reunir diferentes percepções de profissionais que utilizam RFID em sua rotina, contemplando diversas indústrias e especializações.

Além disso, o estudo abordou as implicações estratégicas da adoção do RFID para a gestão interna de ativos e o controle de inventário, pontos importantes para a otimização dos fluxos de trabalho e a redução de custos operacionais. Todas as respostas dos participantes estão disponíveis no Apêndice C.

5.1.5 Compilação e agrupamento das respostas – FASE I

A avaliação de desempenho recebeu notas distribuídas entre os participantes conforme apresentado na Figura 10. O foco dessa etapa foi entender como o sistema RFID é acompanhado durante a operação, considerando critérios como precisão das leituras, velocidade de resposta e frequência de falhas.

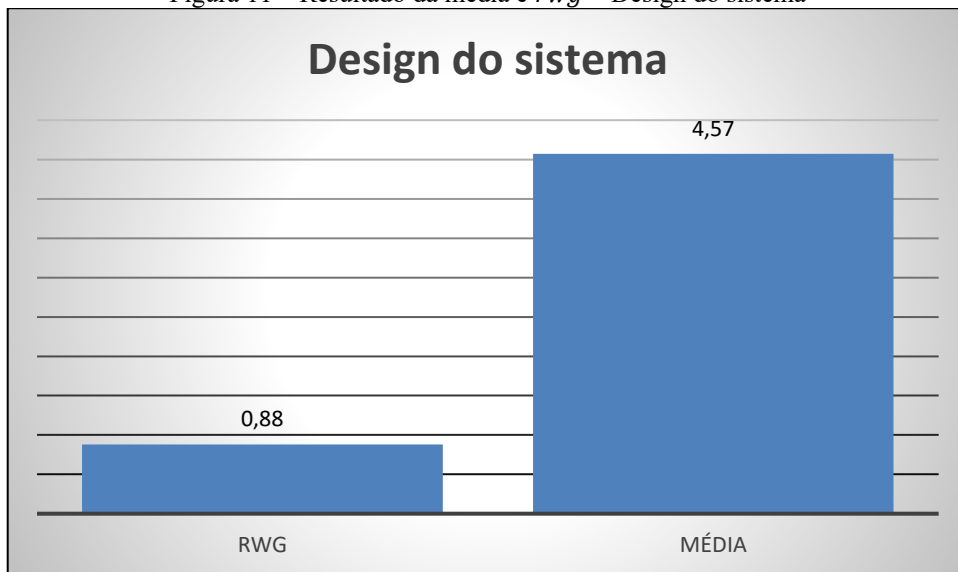
A avaliação de desempenho recebeu notas distribuídas entre os participantes conforme apresentado na Figura 10. O foco dessa etapa foi entender como o sistema RFID é acompanhado durante a operação, considerando critérios como precisão das leituras, velocidade de resposta e frequência de falhas.

Registrando uma média de 4,57, o índice *rwg* calculado foi de 0,88. Esse resultado, mostrado na Figura 11, indica que os participantes fortemente compartilham a visão de que monitorar os indicadores é parte essencial para garantir que o sistema funcione dentro do esperado. O alinhamento identificado reforça a ideia de que avaliações regulares são úteis para corrigir desvios rapidamente.

Figura 10 – Compilação das notas – Design do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

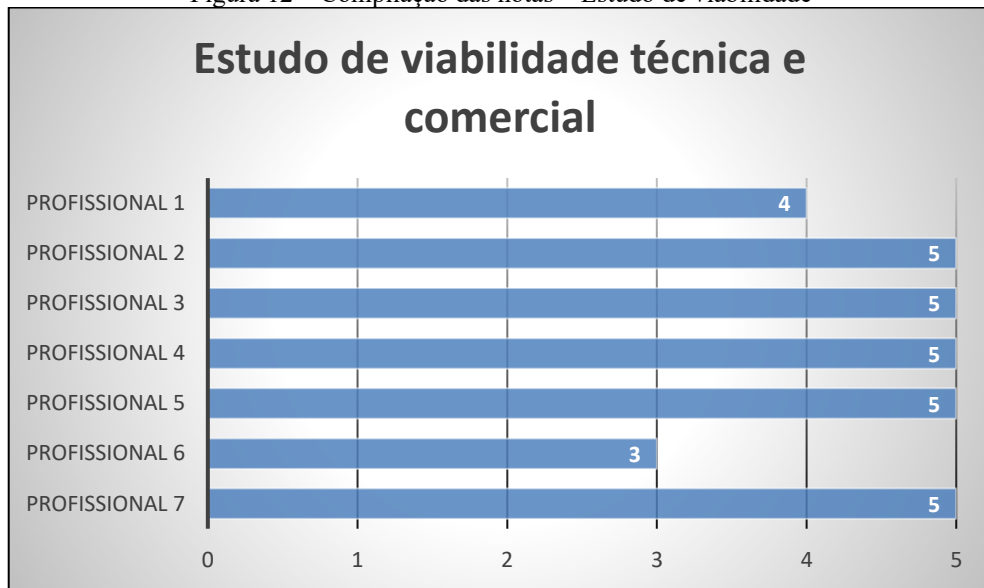
Figura 11 – Resultado da média e *rwg* – Design do sistema

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

De maneira geral, os dados mostram que os profissionais reconhecem a importância de acompanhar o desempenho do sistema ao longo do tempo. Esse acompanhamento contribui tanto para prevenir problemas recorrentes quanto para orientar decisões de melhoria, mantendo a rastreabilidade eficiente na rotina das ferramentarias.

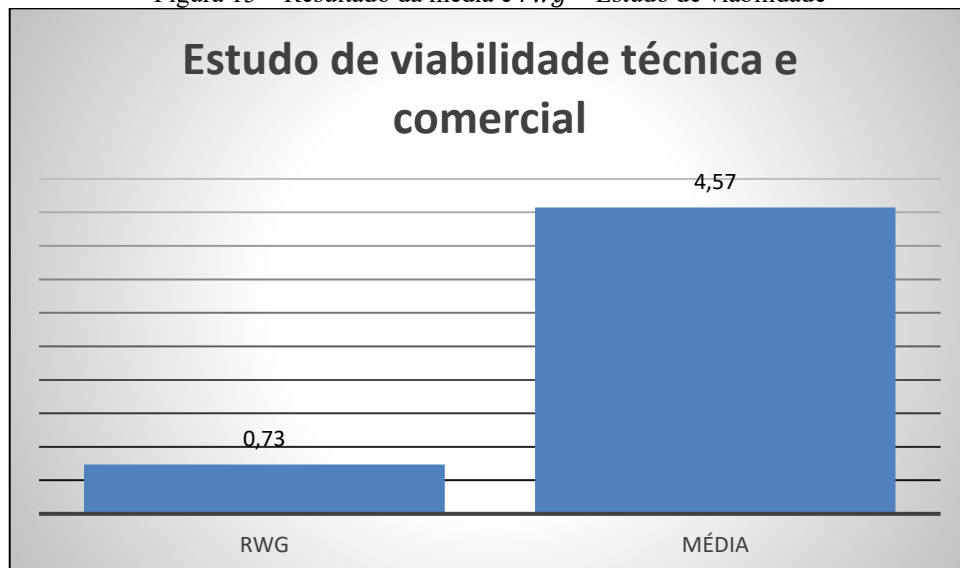
O Estudo de viabilidade técnica e comercial foi avaliado pelos participantes quanto à sua importância para o processo de implantação do sistema RFID. A Figura 12 mostra como as notas se distribuíram para essa etapa, que envolve a análise de custos, benefícios operacionais e retorno sobre o investimento antes da tomada de decisão.

Figura 12 – Compilação das notas – Estudo de viabilidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com uma média de 4,57, o índice *rwg* obtido nessa etapa foi de 0,73, conforme Figura 13, indicando um forte nível de alinhamento entre os profissionais consultados. O consenso registrado reforça a ideia de que considerar tanto os aspectos técnicos quanto os econômicos é essencial para reduzir riscos e otimizar os recursos disponíveis.

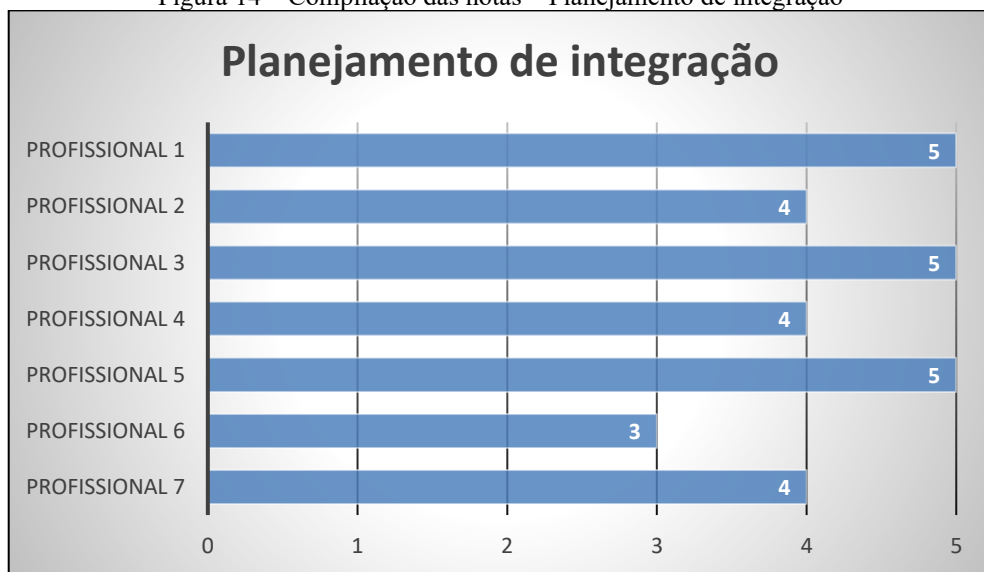
Figura 13 – Resultado da média e *rwg* – Estudo de viabilidade

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

De modo geral, os resultados sugerem que a etapa de viabilidade técnica e comercial funciona como um filtro inicial do projeto, permitindo identificar possíveis limitações e evitar escolhas inadequadas. Assim, a análise prévia desses fatores contribui diretamente para o sucesso da implantação e para o uso eficiente dos investimentos realizados.

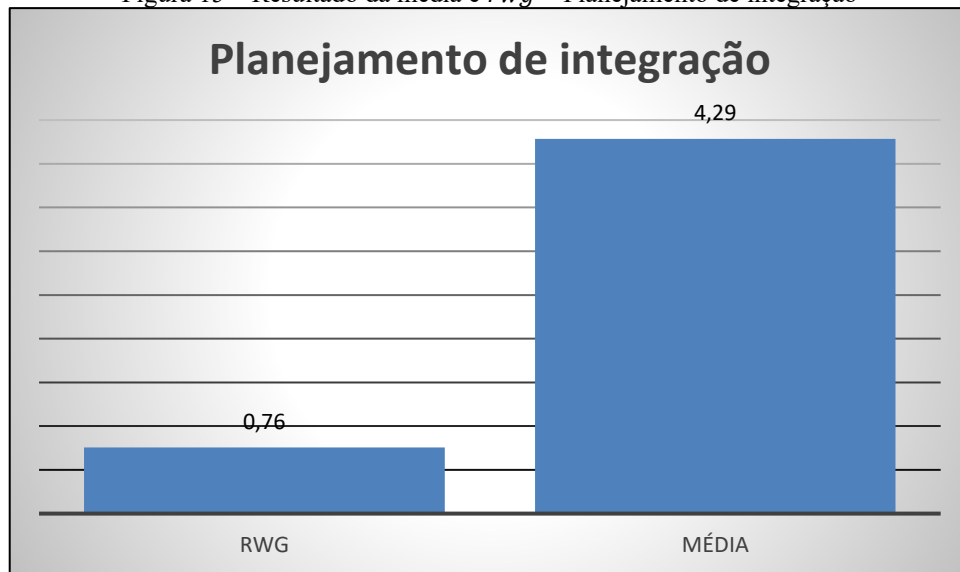
O Planejamento de integração foi abordado no questionário como uma etapa relacionada à avaliação da compatibilidade entre o sistema RFID e os demais sistemas já utilizados na ferramentaria. A Figura 14 apresenta a distribuição das notas atribuídas pelos participantes para esse tópico.

Figura 14 – Compilação das notas – Planejamento de integração



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Conforme Figura 15, a etapa apresentou uma média de 4,29, e o *rwg* calculado foi de 0,76, o que evidencia um forte alinhamento nas respostas. Os profissionais destacaram que pensar antecipadamente na integração de hardware e software, além de definir procedimentos para o fluxo de dados, facilita a comunicação entre sistemas e evita retrabalhos durante a implantação.

Figura 15 – Resultado da média e *rwg* – Planejamento de integração

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

No geral, os resultados mostram que o planejamento dessa integração é visto como uma medida prática para reduzir falhas, agilizar a adoção do RFID e permitir o funcionamento do sistema de forma mais harmônica no contexto já existente da empresa. Dessa forma, a etapa acaba contribuindo para a continuidade operacional e para a redução de riscos na implementação do projeto.

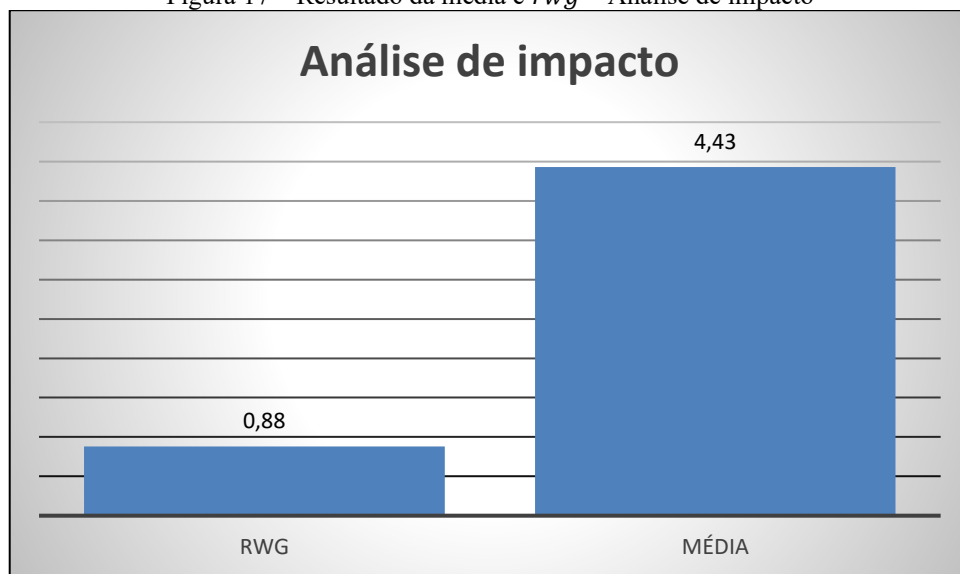
A Análise de impacto é o foco desta etapa, onde os participantes avaliaram os efeitos da implementação do sistema RFID sobre a eficiência operacional, produtividade e redução de custos. A Figura 16 ilustra a distribuição das notas dadas a esse tema.

Apurando uma média de 4,43, o índice *rwg* para a análise de impacto ficou em 0,88, conforme Figura 17. Esse valor indica que houve forte nível de acordo entre os respondentes quanto à importância de avaliar os resultados práticos do sistema após a implantação, considerando não só indicadores quantitativos, mas também as mudanças nos processos internos e ganhos de controle.

Figura 16 – Compilação das notas – Análise de impacto



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 17 – Resultado da média e *rwg* – Análise de impacto

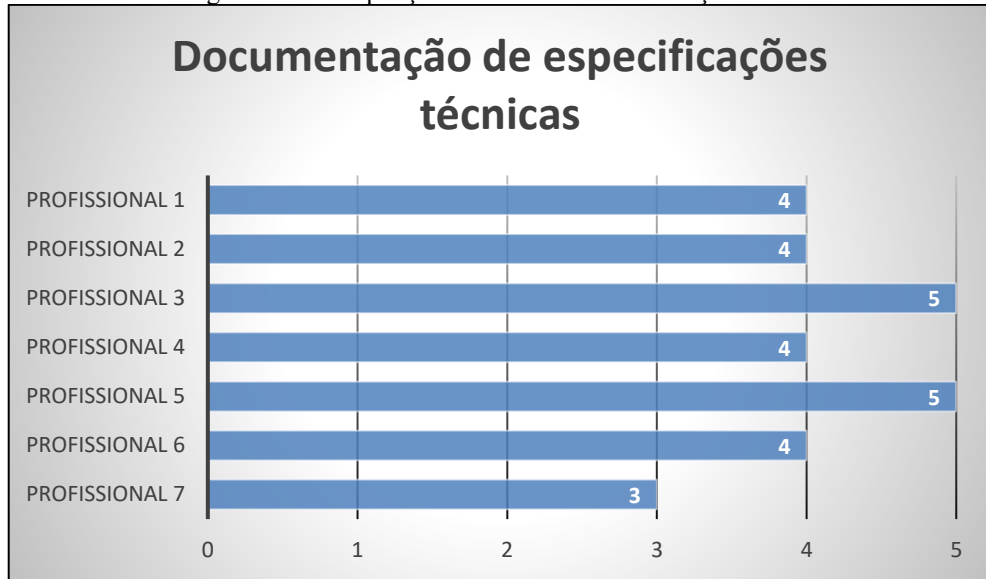
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

No conjunto, os dados reforçam que a análise de impacto funciona como uma referência para validar se o sistema atendeu às expectativas e justificou o investimento realizado. Além disso, essa etapa oferece subsídios para identificar oportunidades de ajustes ou melhorias e serve de base para decisões futuras relacionadas à tecnologia de rastreabilidade.

A Documentação de especificações técnicas foi analisada pelos participantes quanto ao seu papel na operação e manutenção do sistema RFID. A Figura 18 apresenta como as notas foram distribuídas para essa etapa, que envolve a elaboração de manuais, procedimentos de calibração e guias de manutenção.

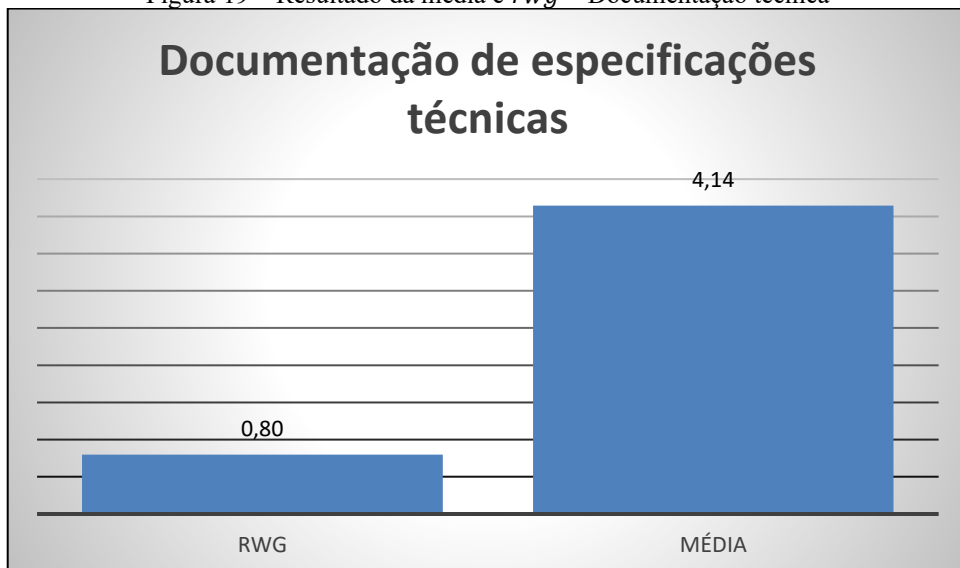
Como visto na Figura 19, a etapa possui uma média registrada de 4,14, o *rwg* obtido nessa etapa foi de 0,80, indicando um forte consenso relevante entre os profissionais. Esse valor sugere que a maioria reconhece a documentação clara e acessível como uma ferramenta importante para garantir o uso correto do sistema, facilitar treinamentos e permitir a continuidade das operações ao longo do tempo.

Figura 18 – Compilação das notas – Documentação técnica



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 19 – Resultado da média e *rwg* – Documentação técnica



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

De maneira geral, os resultados mostram que a documentação não é vista apenas como formalidade, mas como suporte prático para a rotina dos usuários. A etapa também é associada à redução de erros e à maior agilidade na resolução de problemas, contribuindo para a estabilidade e sustentabilidade do sistema implantado.

5.1.6 Compilação e agrupamento das respostas – FASE II

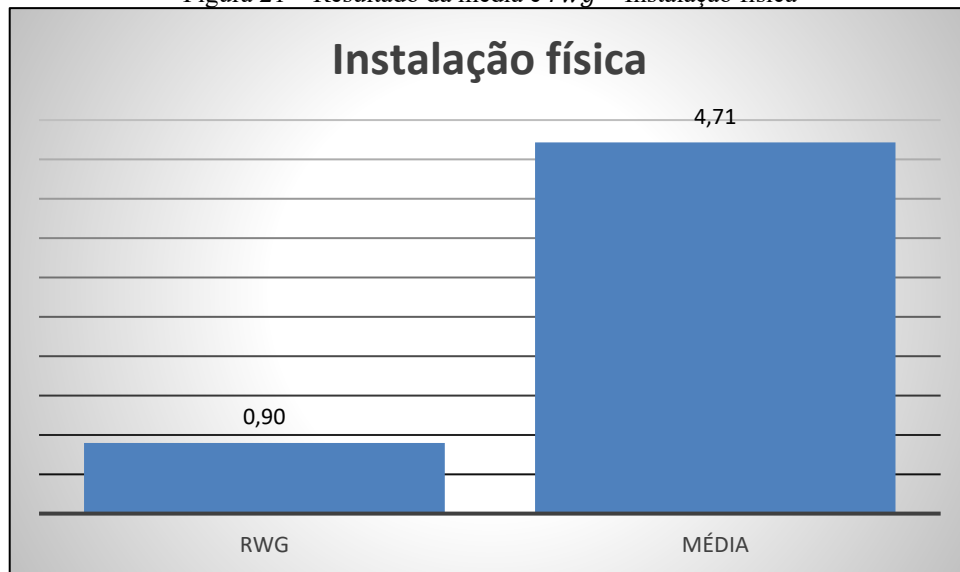
A Instalação física foi considerada no questionário como o momento de montagem das antenas, leitores e demais componentes do sistema RFID. A Figura 20 mostra como os participantes avaliaram essa etapa em relação à adaptação do layout do ambiente e à busca por melhor desempenho na leitura.

Figura 20 – Compilação das notas – Instalação física



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Obtendo uma média de 4,71, a etapa de instalação física apresentou um índice *rwg* de 0,90, demonstrando alinhamento forte nas respostas, como pode ser visto na Figura 21. O resultado evidencia que os profissionais veem a montagem correta e o ajuste fino do posicionamento dos equipamentos como fatores determinantes para o sucesso inicial do sistema.

Figura 21 – Resultado da média e *rwg* – Instalação física

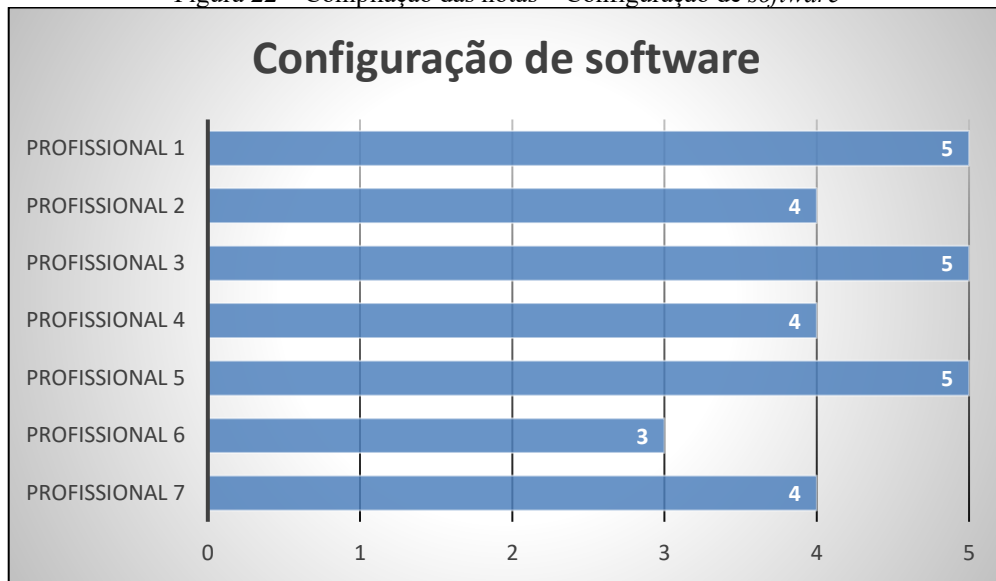
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

No conjunto das respostas, fica claro que a instalação física é vista não apenas como uma tarefa operacional, mas como uma fase estratégica do projeto. A preocupação com a disposição dos componentes já na implantação é citada como essencial para evitar retrabalho e facilitar o funcionamento do RFID de acordo com as condições reais da ferramentaria.

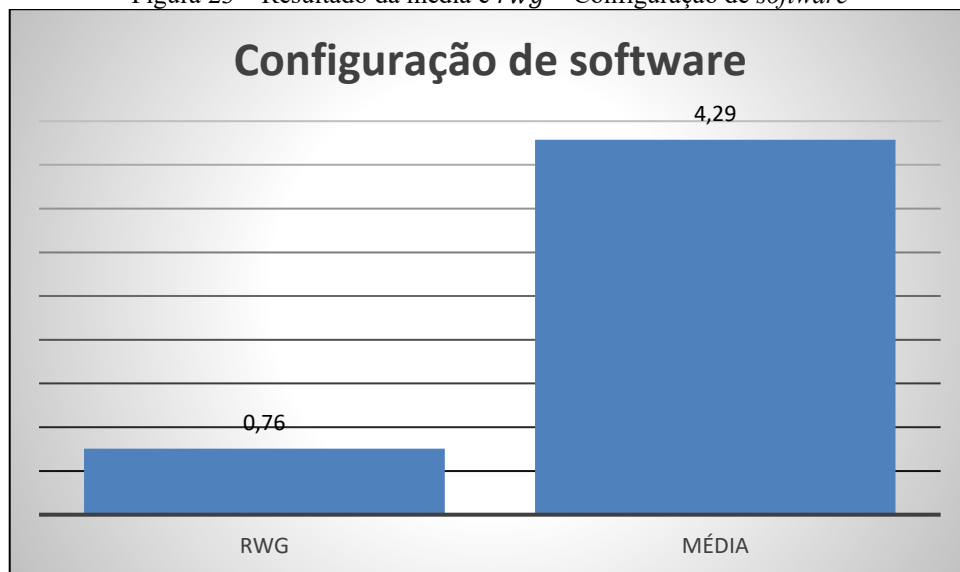
A Configuração de software foi tratada no questionário como a integração do sistema RFID com os sistemas de gestão já existentes e a preparação das ferramentas para o monitoramento dos dados. A Figura 22 apresenta a distribuição das notas dadas a essa etapa, considerando aspectos como o desenvolvimento de interfaces e a adequação das bases de dados.

A Figura 23 mostra uma média de 4,29, um índice de *rwg* apurado para essa etapa foi de 0,76, indicando que houve forte alinhamento entre as opiniões dos participantes quanto à necessidade de garantir uma configuração bem planejada. Os respondentes ressaltaram que uma integração eficiente dos sistemas facilita o acesso às informações e apoia a tomada de decisões durante a operação.

De maneira geral, os resultados apontam que a configuração de software não é vista apenas como um ajuste técnico, mas como um fator que influencia diretamente a agilidade e a eficiência do processo. A etapa também foi associada à redução de erros de comunicação entre sistemas e à possibilidade de ampliar as funcionalidades do RFID ao longo do tempo.

Figura 22 – Compilação das notas – Configuração de *software*

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 23 – Resultado da média e *rwg* – Configuração de *software*

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

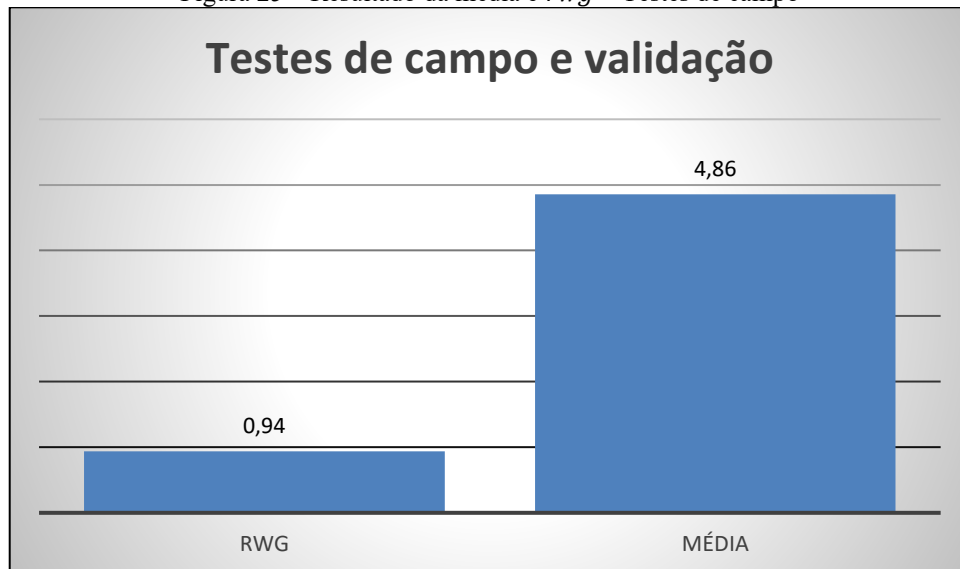
O Teste de campo e validação foi considerado no questionário como a etapa responsável por comprovar o desempenho do sistema RFID diante das condições reais de uso. A Figura 24 apresenta a distribuição das avaliações feitas pelos participantes sobre esse ponto, incluindo a checagem de conformidade e o monitoramento do sistema logo após a implantação.

Figura 24 – Compilação das notas – Testes de campo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com uma média de 4,86, o *rwg* registrado nesta etapa foi de 0,94, demonstrado na Figura 25, mostra um alinhamento muito forte nas respostas. O índice reforça a percepção de que validar o sistema na prática é essencial para identificar ajustes necessários, corrigir possíveis falhas e confirmar que o funcionamento atende aos parâmetros esperados.

Figura 25 – Resultado da média e *rwg* – Testes de campo

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

De modo geral, os resultados indicam que o teste de campo e validação é visto como uma garantia para a operação do RFID, permitindo correções rápidas e evitando problemas recorrentes. Essa etapa foi associada ao aumento da confiabilidade do sistema e à segurança na utilização diária do recurso tecnológico na ferramentaria.

O Treinamento operacional foi tratado no questionário como a etapa dedicada à capacitação dos usuários e da equipe de manutenção para o uso correto do sistema RFID. A Figura 26 mostra como as notas se distribuíram entre os participantes ao avaliar essa etapa, que envolve o repasse de procedimentos, rotinas de operação e práticas de resolução de problemas.

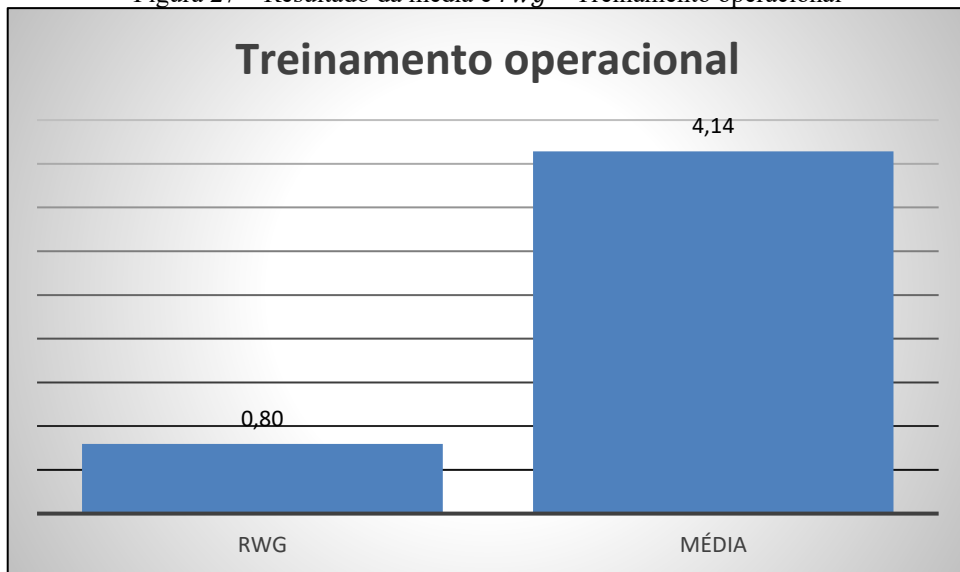
Figura 26 – Compilação das notas – Treinamento operacional



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Como pode-se ver na Figura 27, a média das respostas foi de 4,14, e o *rwg* calculado para o treinamento operacional foi de 0,80, indicando um forte nível de consenso entre os profissionais. Esse resultado mostra que os respondentes reconhecem o treinamento como essencial para garantir a utilização adequada do sistema, reduzir falhas e promover a autonomia dos usuários no dia a dia.

De forma geral, as respostas sugerem que investir em treinamento impacta diretamente na eficiência e sustentabilidade do RFID na ferramentaria. O alinhamento entre os participantes reforça que essa etapa não deve ser negligenciada, pois contribui para o funcionamento contínuo e seguro do sistema.

Figura 27 – Resultado da média e *rwg* – Treinamento operacional

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

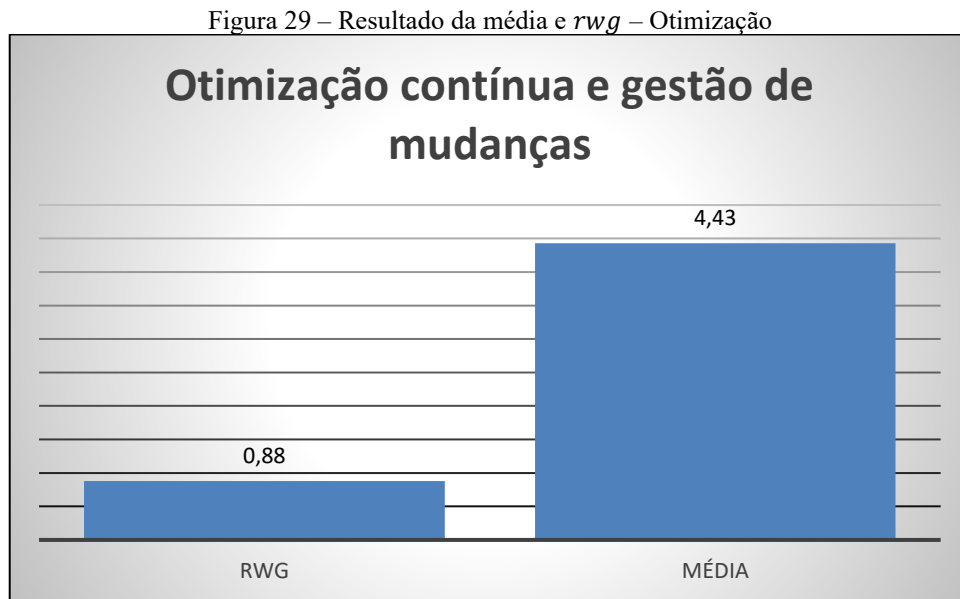
A Otimização contínua e gestão de mudanças foi avaliada como a etapa responsável por realizar ajustes pós-implantação, implementar melhorias técnicas e adaptar os processos internos ao uso do RFID. A Figura 28 apresenta a distribuição das notas dadas pelos participantes para esse tema.

Figura 28 – Compilação das notas – Otimização



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Apresentado na Figura 29, mostra-se uma média de 4,43, o índice *rwg* dessa etapa foi de 0,88, demonstrando que houve uma forte convergência de opiniões quanto à necessidade de monitorar e ajustar o sistema mesmo após o início da operação. O resultado indica que os profissionais enxergam valor em ouvir o feedback dos usuários e em promover atualizações frequentes para acompanhar as demandas da ferramentaria.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

No geral, as respostas revelam que a gestão de mudanças e a busca por melhorias contínuas são vistas como condições para a sustentabilidade e evolução do sistema RFID. O alinhamento observado sugere que essa etapa garante que o sistema não fique defasado e siga respondendo às necessidades do ambiente industrial.

5.1.7 Compilação e agrupamento das respostas – FASE III

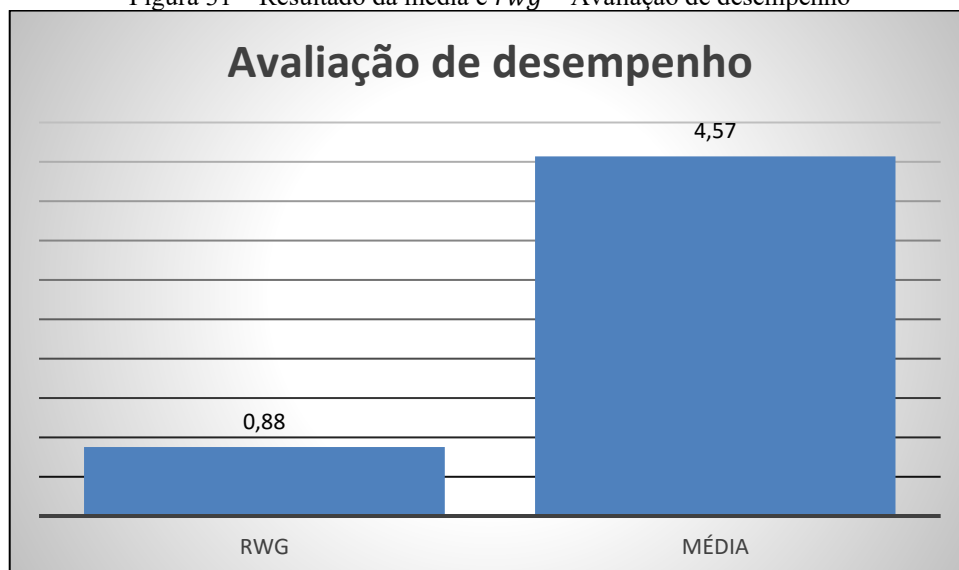
A Avaliação de desempenho aparece nesta fase como o momento de analisar sistematicamente os resultados do sistema RFID, observando indicadores como precisão das leituras, tempo de resposta e taxa de falhas. A Figura 30 mostra como as notas atribuídas a esse tópico foram distribuídas entre os participantes.

Figura 30 – Compilação das notas – Avaliação de desempenho



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Registrando uma média de 4,57, o índice *rwg* para esta etapa ficou em 0,88, sinalizando forte alinhamento entre os profissionais em relação à importância do monitoramento contínuo do sistema após a implantação, conforme Figura 31. Esse consenso demonstra que a avaliação periódica dos resultados é considerada essencial para identificar melhorias e assegurar que o sistema continue atendendo aos requisitos definidos.

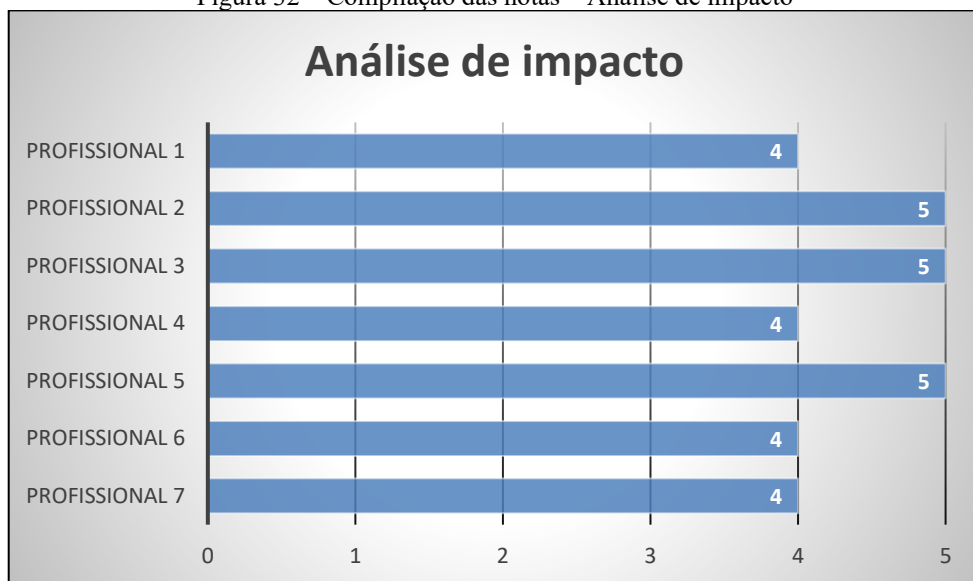
Figura 31 – Resultado da média e *rwg* – Avaliação de desempenho

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

De modo geral, os dados coletados indicam que manter a análise de desempenho ao longo do tempo contribui para a estabilidade e evolução do sistema RFID. A etapa é vista como um mecanismo para garantir o ajuste das operações conforme novas demandas ou eventuais problemas surgem no ambiente de aplicação.

A Análise de impacto foi tratada como a etapa de avaliação dos efeitos práticos do sistema RFID na rotina e nos resultados da ferramentaria. A Figura 32 apresenta a distribuição das notas atribuídas pelos participantes, considerando pontos como redução de erros, ganhos em rastreabilidade e impacto sobre custos operacionais.

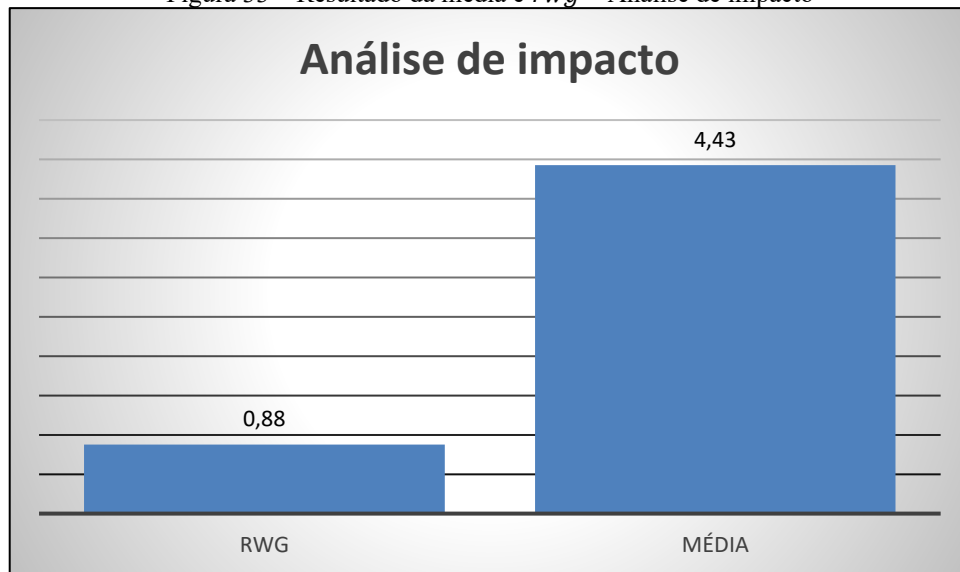
Figura 32 – Compilação das notas – Análise de impacto



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com uma média de 4,43 nas respostas, o *rwg* encontrado para esta etapa foi de 0,88, pode-se ver na Figura 33, um forte grau de consenso entre os respondentes quanto à importância de acompanhar o impacto da tecnologia após sua implementação. Os profissionais destacaram que essa análise permite verificar se os objetivos foram alcançados e identificar áreas que podem ser aprimoradas no futuro.

No geral, os resultados reforçam que avaliar o impacto do sistema é essencial para legitimar o investimento e direcionar novas ações. O alinhamento entre as respostas indica que essa etapa serve tanto para justificar escolhas já feitas quanto para apoiar possíveis ajustes, mantendo o sistema relevante e adequado à realidade da ferramentaria.

Figura 33 – Resultado da média e *rwg* – Análise de impacto

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

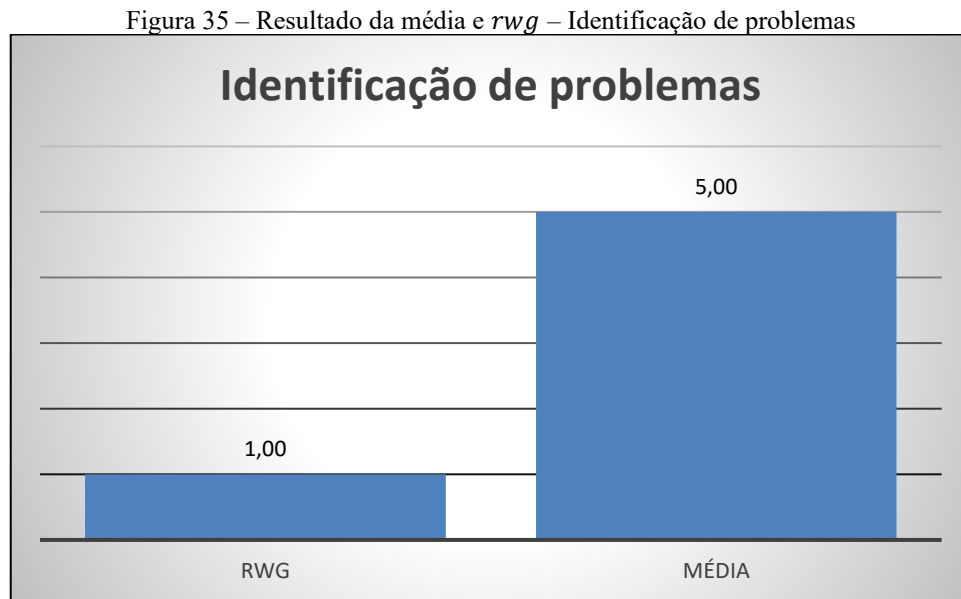
A Identificação de problemas foi avaliada no questionário como o processo de registrar e analisar as ocorrências técnicas e operacionais ao longo do uso do sistema RFID. A Figura 34 apresenta como as avaliações dos participantes se distribuíram nessa etapa, incluindo relatos sobre falhas de hardware, dificuldades de integração ou instabilidades no software.

Figura 34 – Compilação das notas – Identificação de problemas



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A média das respostas, como mostrado na Figura 35, para esta etapa foi de 5,00, e o *rwg* apurado foi de 1,00, indicando um alinhamento muito forte nas respostas e reforçando que os profissionais entendem a identificação sistemática de problemas como parte fundamental da rotina de operação. O consenso demonstra que monitorar as ocorrências é visto como um passo necessário para agir rapidamente e evitar que falhas ocorram.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

De modo geral, os dados apontam que a identificação de problemas não apenas auxilia na manutenção do sistema, mas também serve como base para futuras melhorias. Os resultados sugerem que valorizar essa etapa contribui para a confiabilidade do RFID e para a segurança do ambiente operacional.

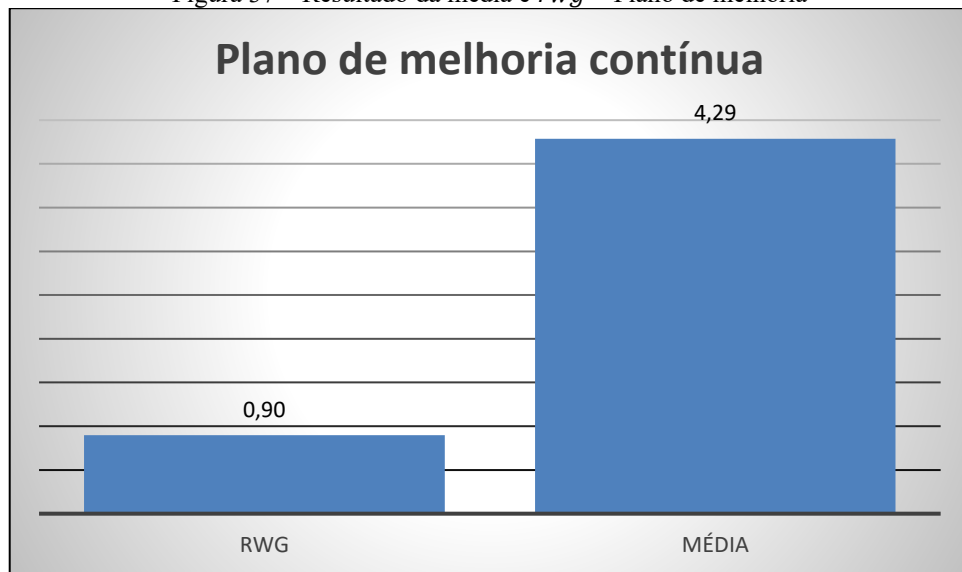
O Plano de melhoria contínua aparece nesta fase como o momento de definir ações corretivas e propor aprimoramentos a partir das análises de desempenho e impacto do sistema RFID. A Figura 36 mostra como as notas foram distribuídas entre os participantes ao avaliar essa etapa, considerando também a participação de diferentes áreas e a inclusão de revisões periódicas.

A Figura 37 mostra que a média das respostas para esta etapa foi de 4,29, e o *rwg* verificado para o plano de melhoria contínua foi de 0,90, sinalizando uma forte convergência de opiniões sobre a importância de manter processos de revisão e adaptação do sistema ao longo do tempo. Os profissionais destacaram que essa etapa permite ajustar o RFID às novas demandas e evitar a estagnação, garantindo que o sistema continue relevante para a operação.

Figura 36 – Compilação das notas – Plano de melhoria



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

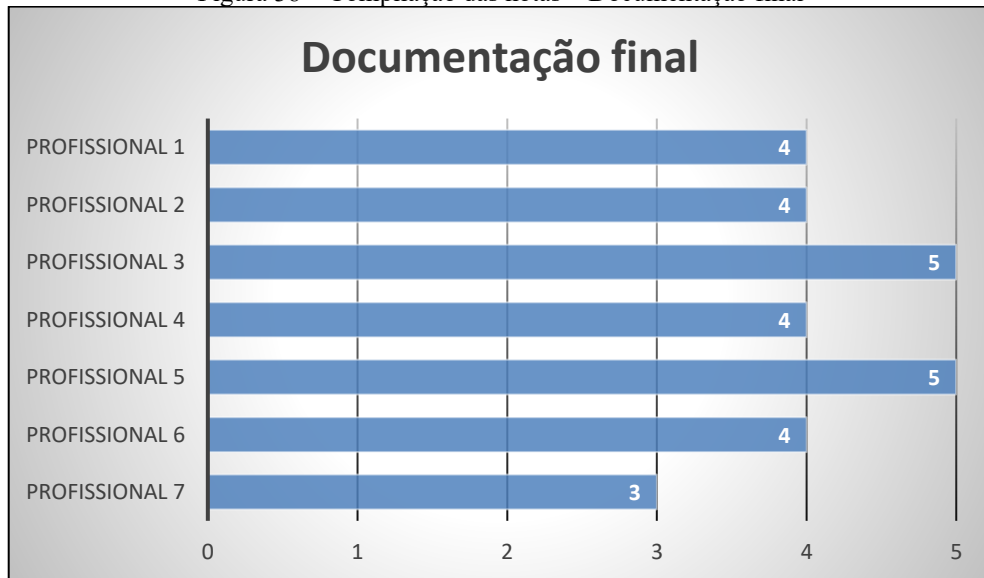
Figura 37 – Resultado da média e *rwg* – Plano de melhoria

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

No geral, os resultados evidenciam que a definição de um plano de melhoria contínua não só fortalece a sustentabilidade da solução implantada, mas também favorece a cultura de atualização e inovação na ferramentaria. O alinhamento nas respostas reforça que os participantes veem valor nesse tipo de abordagem estruturada.

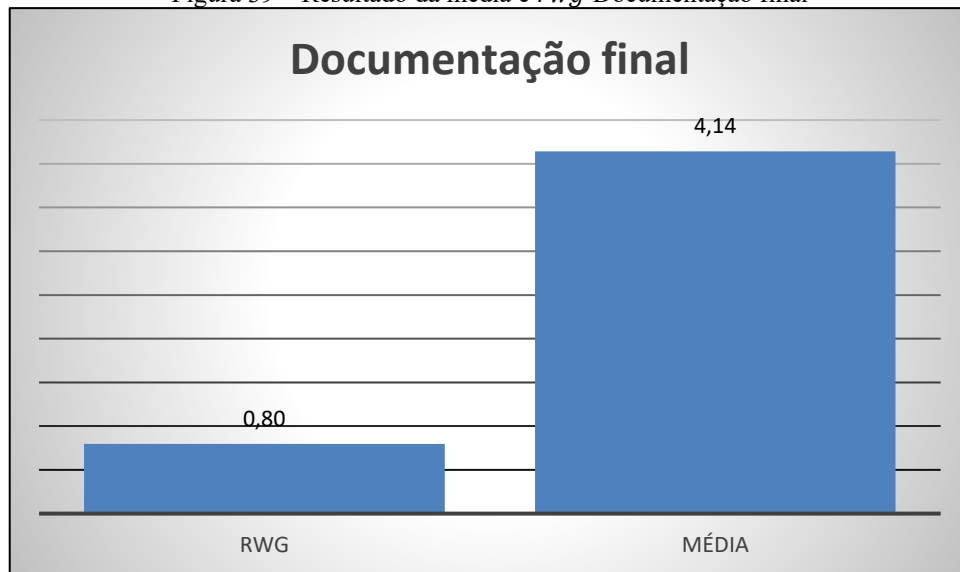
A Documentação final foi avaliada como a última etapa do processo, envolvendo a consolidação de informações detalhadas sobre as configurações, procedimentos, rotinas de manutenção e registros de melhorias do sistema RFID. A Figura 38 exibe a forma como as notas atribuídas a esse tema ficaram distribuídas entre os participantes.

Figura 38 – Compilação das notas – Documentação final



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A média das respostas para esta etapa foi de 4,14, e o *rwg* registrado foi de 0,80, como pode-se ver na Figura 39, é demonstrado um forte nível de alinhamento nas respostas. O resultado indica que os profissionais reconhecem o papel da documentação final como suporte para futuras operações, treinamentos e auditorias internas ou externas.

Figura 39 – Resultado da média e *rwg* Documentação final

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

De modo geral, as respostas apontam que a documentação final não é vista apenas como formalidade, mas como uma ferramenta de referência essencial para garantir a continuidade operacional e facilitar a transferência de conhecimento. O consenso entre os participantes sugere que a etapa agrega valor ao processo, consolidando aprendizados e apoiando a evolução do sistema ao longo do tempo.

5.1.8 Avaliação geral dos resultados

Considerando o conjunto das etapas analisadas nas três fases do estudo, observa-se que os índices *rwg* ficaram, em sua maioria, acima do valor de referência de 0,70, sendo que várias etapas apresentaram valores superiores a 0,80 e algumas atingiram até 1,00. Esses resultados reforçam que existe alinhamento relevante entre os profissionais a respeito da importância das etapas para o sucesso da implantação e operação do sistema RFID em ferramentarias.

Os dados revelam que a estruturação inicial (Fase I), o cuidado com a implementação (Fase II) e o acompanhamento das operações e melhorias (Fase III) são vistos como complementares e necessários. Os comentários dos participantes indicam que a definição clara das etapas, aliada a procedimentos de validação prática, adaptação ao ambiente, treinamento e documentação, contribui para uma implantação mais eficiente, com menor risco de falhas e maior capacidade de ajuste ao longo do tempo.

De forma geral, a percepção coletiva é de que a soma dessas ações favorece não só a eficiência operacional, mas também a sustentabilidade e a evolução do sistema RFID, servindo de referência para novos projetos e adaptações futuras em ambientes industriais.

6 CONCLUSÃO

Em resposta às profundas transformações globais nos modos de produção, uso e concepção de veículos, o Governo Federal do Brasil instituiu, em 2018, o Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística. Esta iniciativa visa fomentar o desenvolvimento do setor automotivo brasileiro, com o objetivo de ampliar a presença global da indústria automobilística do país por meio da exportação de veículos e componentes automotivos. Entre seus objetivos, destaca-se o fortalecimento da competitividade da indústria nacional de moldes, especialmente por meio do aprimoramento do controle e compreensão dos fluxos de peças dentro das ferramentarias.

O presente trabalho foi desenvolvido com o propósito de atender a uma demanda do Programa Rota 2030, focando no aumento da eficiência e rastreabilidade em ambientes de produção de moldes. Os objetivos específicos incluíram: (i) realizar uma revisão sistemática da literatura sobre rastreabilidade via RFID em ferramentarias; (ii) identificar os principais fatores técnicos e operacionais que afetam a adoção do RFID; (iii) elaborar e aplicar um questionário a especialistas para validação dos fatores levantados; e (iv) analisar criticamente as barreiras e oportunidades da implementação dessa tecnologia no setor.

No que diz respeito ao primeiro objetivo, a revisão da literatura permitiu identificar os principais conceitos e desafios relacionados à implementação de sistemas de rastreabilidade, incluindo variáveis como quantidade e posicionamento de antenas, custos, integração com processos produtivos e impactos operacionais. O segundo objetivo foi alcançado por meio da sistematização dos fatores críticos, embasados tanto na literatura quanto na experiência prática reportada por profissionais do setor.

Para o terceiro objetivo, foi desenvolvido um questionário qualitativo direcionado a especialistas com mais de cinco anos de experiência em ferramentarias, tendo sido possível coletar respostas de sete profissionais. Esse número limitado de respondentes configura uma das principais limitações do estudo, restringindo a possibilidade de generalização dos resultados. Os dados obtidos, predominantemente qualitativos, permitiram validar percepções sobre os benefícios, desafios e requisitos para a adoção do RFID, porém não possibilitaram inferências estatísticas mais robustas.

No cumprimento do quarto objetivo, a análise das respostas evidenciou que, embora o RFID seja reconhecido como uma solução versátil e promissora para rastreamento em ambientes industriais, sua adoção demanda planejamento detalhado, qualificação de equipes e adaptação aos contextos específicos de cada ferramentaria. Destacaram-se como barreiras relevantes a ausência de mão de obra qualificada, a necessidade de retorno financeiro imediato e a complexidade do ambiente produtivo, fatores que limitam iniciativas de implementação mais complexas.

Ainda que a proposta do método tenha sido validada conceitualmente pelos especialistas, não foi possível avançar para a implementação prática do sistema no contexto real das ferramentarias, o que representa uma limitação significativa deste trabalho. Adicionalmente, o número reduzido de especialistas consultados e o caráter qualitativo dos dados coletados restringem o potencial de generalização das conclusões, recomendando cautela na extrapolação dos achados para outros contextos industriais.

Em síntese, a integração da tecnologia RFID na indústria de ferramentaria se revela promissora, com potencial de promover ganhos em rastreabilidade, eficiência e redução de perdas. Entretanto, sua adoção eficaz depende de fatores como o investimento em treinamento, a análise detalhada das condições específicas de cada ambiente e o envolvimento das equipes operacionais. Recomenda-se, para estudos futuros, a implementação prática do método proposto e a ampliação da amostra de especialistas consultados, de modo a fortalecer as evidências empíricas e permitir uma análise quantitativa dos impactos da tecnologia RFID neste setor.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

A investigação realizada forneceu uma visão sobre os desafios técnicos e operacionais associados ao uso da tecnologia RFID em ambientes de ferramentaria. Embora os resultados tenham sido esclarecedores, eles também destacam a necessidade de explorar mais a fundo as potencialidades e limitações do RFID. Assim, sugere-se a realização de estudos adicionais, que poderiam não apenas validar os achados deste trabalho, mas também expandir a sua aplicabilidade prática. Propõe-se, portanto, os seguintes direcionamentos para futuras pesquisas.

6.1.1 Experimentação em laboratório

Uma etapa fundamental para o avanço da implementação do RFID em ferramentarias é a realização de testes em um ambiente controlado. Este ambiente seria preparado para simular uma ferramentaria real, incluindo a presença de diversos tipos de materiais que representam potenciais fontes de interferência, tais como metais, plásticos e sinais diversos. A ideia seria variar a composição e disposição desses materiais para avaliar como cada configuração afeta a eficácia da rastreabilidade RFID. Esses experimentos permitiriam a identificação precisa de condições boas e desafiadoras para a tecnologia, fornecendo dados para a compreensão dos limites e possibilidades do RFID em cenários industriais complexos.

6.1.2 Desenvolvimento de protocolos de teste

Com base nos dados coletados no laboratório, poderia ser elaborada uma padronização de protocolos de teste. Estes protocolos seriam essenciais para estabelecer um método padrão de avaliação de desempenho dos sistemas RFID frente a diferentes desafios materiais e ambientais. Tais protocolos não apenas facilitariam a replicação dos testes por outros pesquisadores e profissionais, mas também ajudariam a normatização das práticas de instalação e operação de sistemas RFID em ambientes industriais similares. A padronização desses procedimentos testaria a resiliência do sistema RFID sob variadas condições operacionais, assegurando uma implementação mais eficaz e previsível.

6.1.3 Desenvolvimento de um manual de boas práticas

Para consolidar os conhecimentos adquiridos, recomenda-se a elaboração de um manual de boas práticas para orientar a implementação e operação de sistemas RFID em ferramentarias. Este material deve reunir diretrizes claras para seleção de componentes, disposição de antenas e leitores, mitigação de interferências e rotinas de manutenção, assegurando durabilidade, confiabilidade e testes periódicos que permitam corrigir eventuais falhas de rastreamento.

REFERÊNCIAS

- ADAME, Toni *et al.* CUIDATS: An RFID–WSN hybrid monitoring system for smart health care environments. **Future Generation Computer Systems**, v. 78, p. 602–615, 1 jan. 2018.
- AJROUD, Chokri; HATTAY, Jamel; MACHHOUT, Mohsen. A novel holographic technique for RFID localization in indoor environments. **Multimedia Tools and Applications**, v. 83, n. 10, p. 29827–29840, 1 mar. 2024.
- ALBANO, Luís Eduardo. **A ferramentaria de amanhã: avanços e tendências**. Disponível em: <<https://www.revistaferramental.com.br/artigo/a-ferramentaria-de-amanha-avancos-e-tendencias/>>. Acesso em: 12 jul. 2024.
- ÁLVAREZ LÓPEZ, Yuri; DE COS GÓMEZ, María Elena; LAS-HERAS ANDRÉS, Fernando. A received signal strength RFID-based indoor location system. **Sensors and Actuators, A: Physical**, v. 255, p. 118–133, 1 mar. 2017.
- AN, Yiqi *et al.* RFID-Based Multi-Sensory System for Environmental Monitoring and Consumable Management of Intelligent Tracking. **IEEE Sensors Letters**, 1 jul. 2024.
- ARKAN, Ihsan; VAN LANDEGHEM, Hendrik. Evaluating the performance of a discrete manufacturing process using RFID: A case study. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 29, n. 6, p. 502–512, 2013.
- BIEMANN, Torsten; COLE, Michael S.; VOELPEL, Sven. Within-group agreement: On the use (and misuse) of r_{WG} and $r_{WG(J)}$ in leadership research and some best practice guidelines. **Leadership Quarterly**, v. 23, n. 1, p. 66–80, fev. 2012.
- BOK, Kyoungsoo; YOO, Jaesoo. RFID based indoor positioning system using event filtering. **Journal of Electrical Engineering and Technology**, v. 12, n. 1, p. 335–345, 2017.
- BRIZOLA, Jairo; FANTIN, Nádia. Vista do REVISÃO DA LITERATURA E REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA. **Revista de Educação do Vale do Arinos**, v. 3, p. 23–39, 2016.

ÇALIŞ, Gülben *et al.* Analysis of the variability of RSSI values for active RFID-based indoor applications. **Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences**, 2013.

CAMPOS, Marcel Groppo de; SANTOS, David Ferreira Lopes; DONADON, Frederico Andreis Beneli. **Impacto dos investimentos em inovação na indústria brasileira**. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<http://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi>>.

CAVUR, Mahmut; DEMIR, Ebubekir. RSSI-based hybrid algorithm for real-time tracking in underground mining by using RFID technology. **Physical Communication**, v. 55, 1 dez. 2022.

CONFORTO, Edivandro Carlos; AMARAL, Daniel Capaldo; SILVA, Sérgio Luis da. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. [S.l.: S.n.].

DEAK, Gabriel; CURRAN, Kevin; CONDELL, Joan. **A survey of active and passive indoor localisation systems**. **Computer Communications**, 15 set. 2012.

DRANNIKOV, Sergei. **RFID-Based Manufacturing Monitoring and Analysis System**. [S.l.: S.n.].

EROMINAS. **Ferramentaria: tudo o que você precisa saber sobre isso**. Disponível em: <<https://www.erominas.com.br/usinagem/ferramentaria-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-isso/>>. Acesso em: 29 jun. 2025.

FINKENZELLER, Klaus. **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication, Third Edition**. 3. ed. [S.l.]: John Wiley and Sons, Ltd., 2010. v. 3

FISHER, Jill A.; MONAHAN, Torin. Evaluation of real-time location systems in their hospital contexts. **International Journal of Medical Informatics**, v. 81, n. 10, p. 705–712, out. 2012.

FIT TECNOLOGIA. **Ferramentarias no Brasil**. Disponível em: <<https://fit-tecnologia.com.br/ferramentarias-no-brasil/>>. Acesso em: 12 jul. 2024.

HSU, Yung Fu; CHENG, Chu Sung; CHU, Woei Chyn. COMPASS: An Active RFID-Based Real-Time Indoor Positioning System. **Human-centric Computing and Information Sciences**, v. 12, 2022.

IACO EDUCAÇÃO. **Como organizar uma ferramentaria?** Disponível em: <<https://iaco.com.br/como-organizar-uma-ferramentaria/>>. Acesso em: 12 jul. 2024.

JAMALUDIN, Z. *et al.* Automated Tracking System Using RFID for Sustainable Management of Material Handling in an Automobile Parts Manufacturer. **Innovative and Sustainable Technologies for Societal Wellbeing**, 2018.

JAMES, Lawrence R.; DEMAREE, Robert G.; WOLF SCHMIDT, Gerrit. **rwg: An Assessment of Within-Group Interrater Agreement** *Journal of Applied Psychology*. [S.l.: S.n.].

JIN, Meng *et al.* Versatile RFID-based Sensing: Model, Algorithm, and Applications. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, 2022.

KOELLN, Siegfried. **Inovação deverá ser foco da indústria, avalia executivo da SKA**. Disponível em: <<https://www.revistaferramental.com.br/artigo/inovacao-devera-ser-foco-da-industria-avalia-executivo-da-ska>>. Acesso em: 12 jul. 2024.

LACERDA, Daniel Pacheco *et al.* **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção** *Design Science Research: a research method to production engineering*. [S.l.: S.n.].

LAM, Luan D. M.; TANG, Antony; GRUNDY, John. Characterising indoor positioning estimation using experimental data from an active RFID-based real-time location system. **Journal of Location Based Services**, v. 10, n. 4, p. 262–284, 1 out. 2016.

LEBRETON, James M.; SENTER, Jenell L. Answers to 20 questions about interrater reliability and interrater agreement. **Organizational Research Methods**, v. 11, n. 4, p. 815–852, out. 2008.

LEE, Hyun-Soo *et al.* RFID-Based Real-Time Locating System for Construction Safety Management. **Journal of Computing in Civil Engineering**, 2012.

LI, Junhuai *et al.* An indoor hybrid localization approach based on signal propagation model and fingerprinting. **International Journal of Smart Home**, v. 7, n. 6, p. 157–170, 2013.

LIU, Hui *et al.* Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews**, nov. 2007.

MAINETTI, Luca *et al.* An RFID-based tracing and tracking system for the fresh vegetables supply chain. **International Journal of Antennas and Propagation**, v. 2013, 2013.

MAINETTI, Luca; PATRONO, Luigi; SERGI, Ilaria. A survey on indoor positioning systems. *In: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 2014a.

MAINETTI, Luca; PATRONO, Luigi; SERGI, Ilaria. A survey on indoor positioning systems. *In: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 2014b.

MALON, Krzysztof *et al.* Accuracy analysis of UWB based tracking system for unmanned ground vehicles. *In: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 5 nov. 2018.

OECD. **Oslo manual : guidelines for collecting and interpreting technological innovation data**. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, 2005.

ONER, Mahir; BUDAK, Aysenur; USTUNDAG, Alp. RFID-based warehouse management system in wool yarn industry. **International Journal of RF Technologies: Research and Applications**, v. 8, n. 4, p. 165–189, 2018.

ONER, Mahir; USTUNDAG, Alp; BUDAK, Aysenur. An RFID-based tracking system for denim production processes. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 90, n. 1–4, p. 591–604, 1 abr. 2017.

PANG, Yawei *et al.* A UHF RFID-Based System for Children Tracking. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 5, n. 6, p. 5055–5064, 1 dez. 2018.

PEFFERS, Ken *et al.* **A Design Science Research Methodology for Information Systems Research** *Journal of Management Information Systems*. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<http://www.tuunanen.fi>>.

PLONSKI, Guilherme Ary. Inovação em transformação. **Estudos Avancados**, v. 31, n. 90, p. 7–21, 1 maio 2017.

SANTOS, Carlos César Ribeiro *et al.* Vista do Inovação de processos. 2022.

SEOL, Soonuk; LEE, Eun Kyu; KIM, Wooseong. Indoor mobile object tracking using RFID. **Future Generation Computer Systems**, v. 76, p. 443–451, 1 nov. 2017.

SILVA, Rafael de Amorim. **Um Sistema de Auxilio á Localização de Etiquetas RFID em Ambientes Internos**. [S.l.: S.n.].

THIEDE, Sebastian *et al.* Real-time locating systems (RTLS) in future factories: Technology review, morphology and application potentials. *In: Elsevier B.V.*, 2021.

TSANG, P. Y. P. *et al.* **A Bluetooth-based Indoor Positioning System: a Simple and Rapid Approach Development and Implementation of an Advanced Automobile Parking Navigation Platform** *View project Sustainable supply chain project View project*. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/282604538>>.

WANG, Bing *et al.* **Evaluation of RFID and Wi-Fi Technologies for RTLS Applications in Healthcare Centers**. [S.l.: S.n.].

WANG, Changzhi *et al.* Indoor positioning technique by combining RFID and particle swarm optimization-based back propagation neural network. **Optik**, v. 127, n. 17, p. 6839–6849, 1 set. 2016.

WANG, Changzhi; SHI, Zhicai; WU, Fei. Intelligent RFID indoor localization system using a Gaussian filtering based extreme learning machine. **Symmetry**, v. 9, n. 3, 2017.

WGO. **Ferramentaria: saiba tudo sobre, entenda o que é funciona.** Disponível em: <<https://www.wgo.ind.br/post/ferramentaria-saiba-tudo-sobre-entenda>>. Acesso em: 29 jun. 2025.

WU, Jiaqing *et al.* Three-dimensional indoor localisation system using radio frequency identification tags. **International Journal of Radio Frequency Identification Technology and Applications**, v. 4, n. 4, 2015.

XU, He *et al.* Indoor localization using the reference tags and phase of passive UHF-RFID tags. **International Journal of Business Data Communications and Networking**, v. 13, n. 2, p. 69–82, 1 jul. 2017.

YAO, Wen; CHU, Chao Hsien; LI, Zang. The adoption and implementation of RFID technologies in healthcare: A literature review. *In*: dez. 2012.

YU, Han Yen; CHEN, Jiann Jone; HSIANG, Tien Ruey. Design and Implementation of a Real-Time Object Location System Based on Passive RFID Tags. **IEEE Sensors Journal**, v. 15, n. 9, p. 5015–5023, 1 set. 2015.

ZAFARI, Faheem; GKELIAS, Athanasios; LEUNG, Kin K. A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 21, n. 3, p. 2568–2599, 2019.

ZAND, Pouria *et al.* A high-accuracy concurrent phase-based ranging for large-scale dense BLE network. 2019.

ZHANG, Da *et al.* Localization technologies for indoor human tracking. *In*: 2010.

ZHU, Xiaowei; MUKHOPADHYAY, Samar K.; KURATA, Hisashi. A review of RFID technology and its managerial applications in different industries. **Journal of Engineering and Technology Management - JET-M**, v. 29, n. 1, p. 152–167, 2012.

APÊNDICE A – CONFIGURAÇÃO DE SISTEMA

Com intuito de exemplificar melhor as possibilidades de posicionamento das antenas, foi previamente definidos quatro tipos de configurações possíveis, onde visa-se obter uma maior gama de possibilidade de abrangência, como demonstrado na Figura 40:

Configuração A: Nesta primeira opção, são empregados dois leitores, posicionados de forma frontal um em relação ao outro. Essa disposição promove uma interação direta e bidirecional entre os participantes;

Configuração B: Na segunda configuração, são utilizados três leitores, distribuídos equidistantes em ângulos de 120° entre si. Essa abordagem visa ampliar a cobertura espacial, possibilitando uma maior interação em diferentes pontos da área;

Configuração C: A terceira opção emprega um total de quatro leitores, todos posicionados no centro das paredes da área em questão. Essa estratégia busca proporcionar uma distribuição equitativa do sinal de leitura, otimizando a interação e a precisão das leituras em todas as direções;

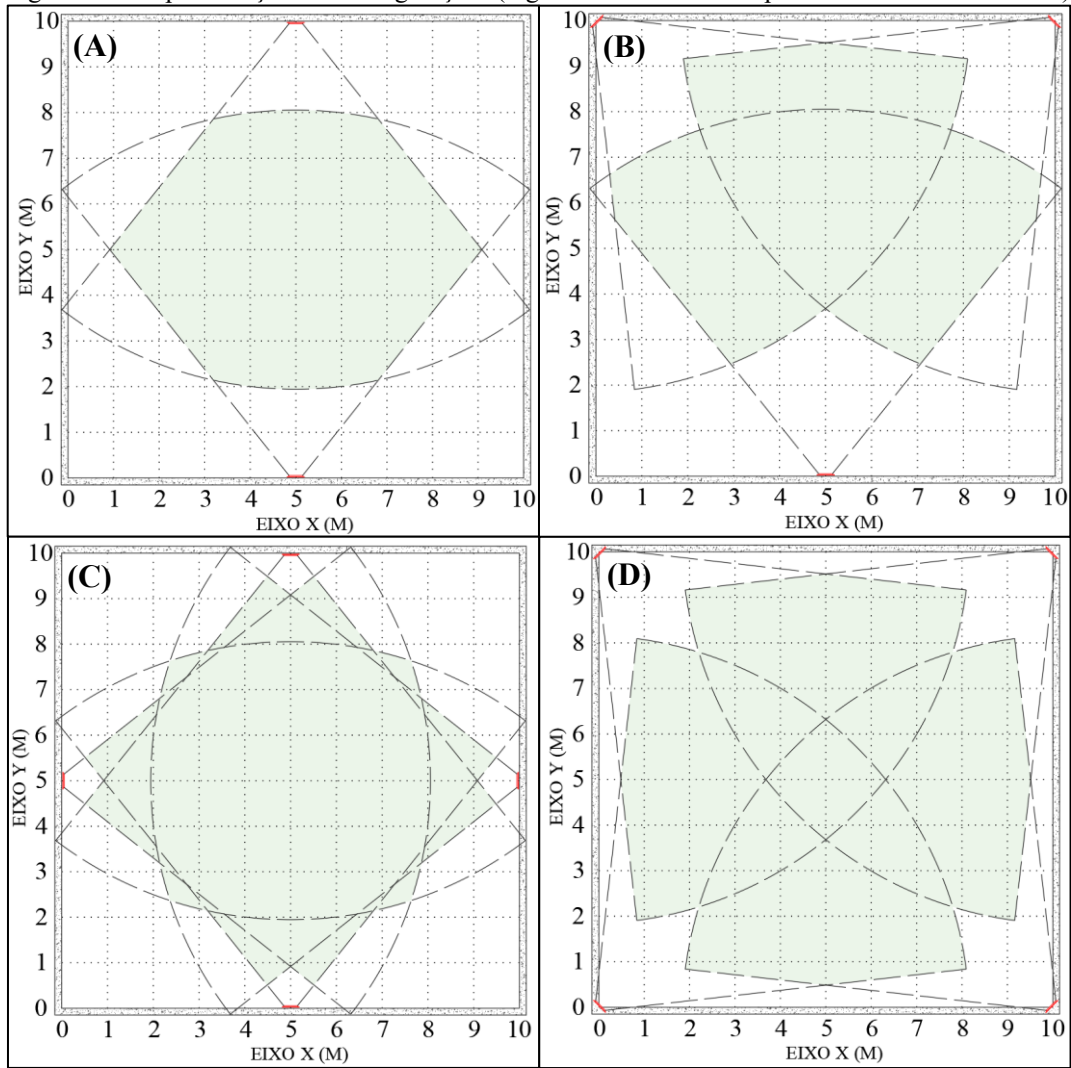
Configuração D: Já a quarta configuração também envolve quatro leitores, porém, diferentemente da configuração anterior, estes são posicionados nos cantos da área. Essa disposição visa enfatizar áreas específicas do espaço.

Como parâmetro de avaliação, pode ser empregados dois modos distintos de fixação das tags, os quais podem desempenhar um papel central na presente análise. Tais modos de fixação compõe uma avaliação fundamental comparativa, sendo delineados como:

Interno: Nessa configuração a tag vai fixada junto ao produto a ser rastreado visando mensurar as interferências que o equipamento pode oferecer;

Externo: Para essa configuração, a tag deverá permanecer ao lado de fora do equipamento, para que não haja interferência operacional.

Figura 40 – Representação das configurações (região em verde claro representa a área de cobertura)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DE SISTEMA

Para uma avaliação do sistema, pode ser tratados os seguintes pilares de avaliação: Alcance, precisão, custo e complexidade técnica. Para melhor mensurar, pode-se atribuir notas para cada pilar na avaliação em uma escala de 1 à 5.

Para o pilar Alcance, pode-se gerir três métricas:

Acima do esperado (5): Observa-se um alcance superior ao previsto, extrapolando as expectativas iniciais. Esse alcance é capaz de proporcionar uma cobertura excedente a área planejada.

Conforme esperado (3): Alcance conforme proposto pelo fabricante, englobando integralmente a área de interesse. Tags são lidas de maneira consistente, refletindo uma boa detecção;

Abaixo do esperado (1): O alcance de detecção não demonstra de forma suficiente a totalidade da área de cobertura de interesse. A leitura das tags não abrange a área proposta implicando em uma limitação de dados;

Já para a precisão de leitura, pode-se aplicar uma conta simples de Erro Médio de Localização, onde um menor erro, implica em um relatório mais confiável e confiante.

$$EML = \frac{\sum_{i=1}^n |D_i - M_i|}{n} \times 100\% \quad (2)$$

Onde:

D é a distância observada para cada amostra;

M é o valor real de cada amostra;

n é o número total de leituras

A classificação das leituras poderá ser da seguinte maneira:

Excelente (5): $EML \leq 2\%$ - Uma precisão muito alta, indicando que as leituras são consistentes;

Muito Boa (4): $2\% < \text{EML} \leq 5\%$ - Precisão boa, onde o erro médio é pequeno, mas não atrapalham os dados;

Boa (3): $5\% < \text{EML} \leq 10\%$ - Precisão aceitável, em que o erro médio está dentre os limites razoáveis;

Limitada (2): $10\% < \text{EML} \leq 15\%$ - Uma precisão limitada, onde o erro médio de localização resulta em uma leitura com erro significativo

Inadequada (1): $\text{EML} > 15\%$ - Uma precisão inadequada para a aplicação proposta.

Já para o pilar custo, subjetiva a quantidade de antenas e pode variar para cada aplicação, por isso para a viabilidade financeira pode ser considerado os seguintes por tais métricas:

Econômica (5): Configuração com o menor custo de investimento financeiro para a implementação;

Acessível (4): Configuração que demanda um investimento financeiro intermediário para realizar de sua instauração.

Moderada (3): Maior custo de implementação em comparação com seus pares.

Já para o pilar complexidade técnica, um ponto relevante também é a quantidade de antenas, podendo ir mais além.

Mais simples (5): Opção com duas antenas;

Simple (4): Opção com três antenas.

Menos simples (3): Opção com quatro antenas.

O número de antenas emerge como uma variável que pode influenciar o grau de complexidade técnica, constituindo, portanto, um elemento de tomada de decisão.

Como exemplo, a ferramenta de análise comparativa mencionada no Quadro 8 permite avaliar diferentes cenários de implementação, considerando que cada um possui seus próprios pré-requisitos. É possível comparar diversos arranjos e locais onde as tags serão implementadas, atribuindo um peso a cada aspecto conforme sua importância para o cliente. É importante destacar que a soma dos pesos atribuídos deve totalizar 10, garantindo assim um equilíbrio na análise.

Esta abordagem se adapta bem à natureza dinâmica das operações em ferramentarias, onde fatores como alcance, precisão, custo e complexidade podem variar significativamente. Atribuir pesos permite quantificar e medir as preferências e prioridades de cada empresa, facilitando uma tomada de decisão mais informada e alinhada com os objetivos estratégicos.

Assim, esta metodologia de avaliação, que se baseia na aplicação de pesos específicos e na soma dos pontos obtidos, cria um modelo analítico robusto. Esse modelo é essencial para comparar e classificar diferentes configurações, oferecendo uma base sólida para análise e decisões estratégicas.

Quadro 9 – Ferramenta de análise comparativa

Arranjo	Local	Tipo	Alcance/ X	Precisão/ Y	Custo/ Z	Complexidade/ W	Σ	Pos.
Config. A	Interno	Tag 1	0	0	0	0	0	-
		Tag 2	0	0	0	0	0	-
	Externo	Tag 1	0	0	0	0	0	-
		Tag 2	0	0	0	0	0	-
Config. B	Interno	Tag 1	0	0	0	0	0	-
		Tag 2	0	0	0	0	0	-
	Externo	Tag 1	0	0	0	0	0	-
		Tag 2	0	0	0	0	0	-
Config. C	Interno	Tag 1	0	0	0	0	0	-
		Tag 2	0	0	0	0	0	-
	Externo	Tag 1	0	0	0	0	0	-
		Tag 2	0	0	0	0	0	-
Config. D	Interno	Tag 1	0	0	0	0	0	-
		Tag 2	0	0	0	0	0	-
	Externo	Tag 1	0	0	0	0	0	-
		Tag 2	0	0	0	0	0	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO COMPLETO

Figura 41 – Resumo respostas profissional 1

Nome	Etapa	Nota	Comentário
Profissional 1	Design do sistema	5	Planejar a cobertura e fazer simulações é essencial para garantir uma boa performance do RFID.
	Estudo de viabilidade técnica e comercial	5	Sem esse estudo, o risco de desperdício de recursos é grande.
	Planejamento de integração	5	Se a integração não for bem definida, o sistema trava em falhas de comunicação.
	Avaliação ambiental	5	Ambiente hostil interfere diretamente, por isso precisa ser bem avaliado.
	Documentação de especificações técnicas	5	A documentação detalhada facilita manutenção e treinamentos futuros.
	Instalação física	5	Sem um bom ajuste de layout, é impossível alcançar o melhor desempenho.
	Configuração de software	5	A integração dos dados com sistemas de gestão faz toda a diferença.
	Testes de campo e validação	5	Só testando a operação real é possível ajustar o sistema.
	Treinamento operacional	5	Treinamento é fundamental para garantir uso correto e sustentabilidade.
	Otimização contínua e gestão de mudanças	4	Sempre há espaço para melhorias, mas nem toda empresa faz.
	Avaliação de desempenho	5	Avaliar KPIs garante que o sistema está entregando o esperado.
	Análise de impacto	5	Importante para justificar o investimento e ajustar processos.
	Identificação de problemas	5	Documentar falhas ajuda a aprimorar continuamente o sistema.
	Plano de melhoria contínua	4	Ações corretivas frequentes são essenciais para evitar retrabalho.
	Documentação final	5	Fundamental para treinamentos futuros e auditorias.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 42 – Resumo respostas profissional 2

Nome	Etapa	Nota	Comentário
Profissional 2	Design do sistema	4	Simulações ajudam, mas só o teste real mostra o resultado.
	Estudo de viabilidade técnica e comercial	5	Sem avaliar custo e benefício, é arriscado seguir em frente.
	Planejamento de integração	4	A integração precisa ser pensada antes, evita dor de cabeça depois.
	Avaliação ambiental	4	O ambiente pode impactar, mas só a prática mostra.
	Documentação de especificações técnicas	3	Nem sempre o pessoal lê manual, mas é importante ter.
	Instalação física	5	Se instalar errado, pode perder o investimento.
	Configuração de software	4	Configurar direito reduz o trabalho depois.
	Testes de campo e validação	5	Sem testar, não tem como confiar no sistema.
	Treinamento operacional	4	Equipe treinada resolve problemas mais rápido.
	Otimização contínua e gestão de mudanças	4	Ajustes sempre aparecem no uso diário.
	Avaliação de desempenho	5	Analisar os dados de operação ajuda a melhorar.
	Análise de impacto	4	Avaliar ganho e perda após o projeto é fundamental.
	Identificação de problemas	5	Sempre tem algo para corrigir.
	Plano de melhoria contínua	4	Sem melhoria contínua, o sistema fica obsoleto rápido.
Documentação final	3	Ajuda na manutenção futura, mas muitos deixam de lado.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 43 – Resumo respostas profissional 3

Nome	Etapa	Nota	Comentário
Profissional 3	Design do sistema	5	O mapeamento dos pontos críticos facilita o monitoramento.
	Estudo de viabilidade técnica e comercial	4	Fundamental para decidir se vale o investimento.
	Planejamento de integração	5	A integração correta evita retrabalho.
	Avaliação ambiental	5	Essencial para saber qual tag usar em cada situação.
	Documentação de especificações técnicas	4	Ter documentação agiliza manutenção.
	Instalação física	5	Execução correta faz toda a diferença.
	Configuração de software	5	Ajustar para o processo reduz erros.
	Testes de campo e validação	4	Testar garante que funciona na prática.
	Treinamento operacional	4	Operadores bem treinados diminuem falhas.
	Otimização contínua e gestão de mudanças	5	Otimização mantém o sistema atualizado.
	Avaliação de desempenho	4	KPIs ajudam a mostrar o que funciona e o que não funciona.
	Análise de impacto	4	É importante saber o efeito no resultado final.
	Identificação de problemas	5	Problemas aparecem durante o uso, tem que monitorar.
	Plano de melhoria contínua	5	Ações contínuas melhoram o sistema.
Documentação final	4	Documentar todas as etapas auxilia futuras revisões.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 44 – Resumo respostas profissional 4

Nome	Etapa	Nota	Comentário
Profissional 4	Design do sistema	4	Simular é importante, mas precisa validar a frequência certa.
	Estudo de viabilidade técnica e comercial	3	O custo pesa bastante para a decisão.
	Planejamento de integração	3	Requer atenção, mas geralmente é possível adaptar.
	Avaliação ambiental	5	Metal, poeira e temperatura são os maiores problemas.
	Documentação de especificações técnicas	4	Documentar reduz erro na operação.
	Instalação física	4	Cada ambiente exige um ajuste fino da instalação.
	Configuração de software	3	Softwares de gestão às vezes complicam a integração.
	Testes de campo e validação	5	Sem teste real, não se garante o resultado.
	Treinamento operacional	3	Operador bem treinado resolve problema na hora.
	Otimização contínua e gestão de mudanças	4	Sempre aparecem problemas que só o uso mostra.
	Avaliação de desempenho	4	Acompanhamento dos resultados mostra onde precisa ajustar.
	Análise de impacto	4	Ajuda a justificar novas implementações.
	Identificação de problemas	5	Testar em ambiente real e avaliar sempre as interferências.
	Plano de melhoria contínua	4	Melhorar continuamente é a única forma de manter o sistema eficiente.
Documentação final	4	Importante para evitar perda de conhecimento com o tempo.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 45 – Resumo respostas profissional 5

Nome	Etapa	Nota	Comentário
Profissional 5	Design do sistema	5	A definição dos pontos de cobertura e antenas deve ser feita com mapeamento preciso.
	Estudo de viabilidade técnica e comercial	5	A análise detalhada do ROI é imprescindível para convencer a diretoria.
	Planejamento de integração	5	A integração de dados é chave para tomada de decisão.
	Avaliação ambiental	5	Considerar cada fator ambiental evita paradas inesperadas.
	Documentação de especificações técnicas	5	Manuais facilitam treinamento e manutenção.
	Instalação física	5	Layout bem feito evita áreas sem cobertura.
	Configuração de software	5	A integração correta dos sistemas é diferencial competitivo.
	Testes de campo e validação	5	Auditoria é essencial para garantir conformidade.
	Treinamento operacional	5	Treinar bem a equipe evita retrabalho.
	Otimização contínua e gestão de mudanças	5	Manter KPIs monitorados garante a eficiência.
	Avaliação de desempenho	5	Indicadores de desempenho bem definidos mostram o sucesso do projeto.
	Análise de impacto	5	A avaliação dos resultados é fundamental para a continuidade do projeto.
	Identificação de problemas	5	Registro de problemas ajuda a não repetir falhas.
	Plano de melhoria contínua	5	Reuniões periódicas com stakeholders impulsionam o progresso.
Documentação final	5	Gestão eficiente depende de processo bem documentado, monitorado e ajustado.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 46 – Resumo respostas profissional 6

Nome	Etapa	Nota	Comentário
Profissional 6	Design do sistema	5	Planejamento de cobertura é o primeiro passo do sucesso.
	Estudo de viabilidade técnica e comercial	5	Importante validar o investimento antes de iniciar.
	Planejamento de integração	4	Nem sempre é fácil integrar com sistemas antigos.
	Avaliação ambiental	5	Avaliar o ambiente reduz riscos de falha.
	Documentação de especificações técnicas	4	Facilita o trabalho da equipe técnica.
	Instalação física	5	A instalação correta reduz problemas futuros.
	Configuração de software	4	Customizações podem ser necessárias dependendo do ambiente.
	Testes de campo e validação	5	Testar as tags no ambiente real é essencial.
	Treinamento operacional	4	Equipe treinada resolve situações rapidamente.
	Otimização contínua e gestão de mudanças	4	Ajustes são constantes, principalmente em ambientes industriais.
	Avaliação de desempenho	5	Acompanhar o desempenho previne problemas maiores.
	Análise de impacto	5	Mede o quanto o sistema agrega de fato.
	Identificação de problemas	5	A identificação rápida de problemas evita perdas.
	Plano de melhoria contínua	4	É o que diferencia projetos medianos dos excelentes.
Documentação final	4	Vale a pena testar diferentes tags e ajustar conforme os resultados.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 47 – Resumo respostas profissional 7

Nome	Etapa	Nota	Comentário
Profissional 7	Design do sistema	4	Na teoria funciona, mas na prática sempre tem ajustes.
	Estudo de viabilidade técnica e comercial	5	Sem análise financeira detalhada, o risco é alto.
	Planejamento de integração	4	Nem sempre a integração é simples.
	Avaliação ambiental	5	Ambiente de ferramentaria é desafiador, sempre tem surpresa.
	Documentação de especificações técnicas	4	Documentar ajuda na manutenção, mas muitos ignoram.
	Instalação física	4	A instalação requer adaptações para cada contexto.
	Configuração de software	4	A customização dos sistemas é inevitável.
	Testes de campo e validação	5	Testar garante que o sistema realmente atende a necessidade.
	Treinamento operacional	4	Equipe precisa estar preparada para lidar com imprevistos.
	Otimização contínua e gestão de mudanças	5	Sem adaptação contínua, o projeto não dura.
	Avaliação de desempenho	4	KPIs servem para indicar a necessidade de ajustes constantes.
	Análise de impacto	4	Saber o impacto operacional é indispensável para manter o sistema.
	Identificação de problemas	5	RFID em ferramentaria é sempre um desafio; cada caso pede ajustes.
	Plano de melhoria contínua	4	É preciso revisar sempre para acompanhar a evolução do processo.
Documentação final	4	Documentar bem facilita transferir conhecimento, mas precisa ser prático.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)