

PLANO DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA RFID EM ARMAZÉNS: TRANSFORMAÇÃO DIGITAL INTRALÓGÍSTICA

Erick Alves Ferreira

PPGEE, IFSP Campus Cubatão

E-mail: erick.telma@gmail.com

Arnaldo de Carvalho Junior

PPGEE, IFSP Campus Cubatão

E-mail: adecarvalhojr@ifsp.edu.br

Resumo

A intralógica contemporânea, impulsionada pela Indústria 4.0, enfrenta o desafio premente de aumentar a eficiência, a acuracidade do inventário e mitigar as consequências do erro humano. A tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID) emerge como um pilar tecnológico fundamental da Internet das Coisas (IoT), capaz de automatizar processos de negócio. Contudo, a adoção do RFID transcende a simples aquisição de equipamentos; ela representa um projeto complexo de Transformação Digital (TD) que exige uma abordagem formal de Gestão de Projetos e impacta processos, pessoas e a cultura organizacional. Este artigo propõe um plano de implantação detalhado para sistemas RFID em armazéns, fundamentado em um roteiro consolidado para a Transformação Digital e alinhado aos objetivos de Governança Corporativa e Socioambiental (ESG).

Palavras-chave: RFID; Intralógica; Transformação Digital; Indústria 4.0; ESG.

Abstract

Contemporary intralogistics, driven by Industry 4.0, faces the pressing challenge of increasing efficiency, inventory accuracy, and mitigating human error consequences. Radio Frequency Identification (RFID) technology emerges as a fundamental Internet of Things (IoT) pillar, capable of automating business processes. However, adopting RFID transcends mere equipment acquisition; it represents a complex

Digital Transformation (DT) project that requires a formal Project Management approach and impacts processes, people, and organizational culture. This paper proposes a detailed RFID implementation plan for warehouses, grounded in an established DT roadmap and aligned with Environmental, Social, and Governance (ESG) objectives.

Keywords: RFID; Intralogistics; Digital Transformation; Industry 4.0; ESG.

Introdução

A intralogística contemporânea, impulsionada pela Indústria 4.0, enfrenta o desafio premente de aumentar a eficiência, a acuracidade do inventário e mitigar as consequências do erro humano (Giusti *et al.*, 2019). A tecnologia de identificação por radiofrequência (*radio-frequency identification* - RFID) emerge como um pilar tecnológico fundamental da internet das coisas (*internet of things* - IoT) (Buntak; Kovačić; Mutavdžija, 2019), capaz de automatizar processos de negócio (Polyakov *et al.*, 2023).

Nesse contexto, a RFID se destaca como a tecnologia de captura de dados fundamental. Diferente do código de barras, o RFID não requer visada direta (*line-of-sight* - LoS), permite a leitura de centenas de itens simultaneamente e possibilita a identificação única de cada ativo (Liawatimena *et al.*, 2011). Essa capacidade de captura de dados automatizada transforma o armazém em um ecossistema inteligente e conectado, habilitado pela IoT (Jarasuniere; Ciziuniere; Cereska, 2023).

No entanto, a implantação do RFID é frequentemente subestimada. Muitos projetos falham por serem tratados como uma simples atualização tecnológica, negligenciando o impacto nos processos de negócio (Pane; Awangga; Azhari, 2018). Conforme demonstram Carujo, Anunciação e Santos (2022), iniciativas de Transformação Digital (TD), como a implementação de um sistema de gerenciamento de armazéns (*warehouse management system* - WMS), são projetos complexos cuja adoção de uma abordagem formal de Gestão de Projetos é um “fator crítico de sucesso”. A implantação do RFID é uma iniciativa de TD

(Andiyappillai, 2020) que exige um planejamento rigoroso de escopo, custo e, principalmente, gestão de pessoas e cultura (Ferreira; Carvalho Junior, 2025; Da Silva; Machado, 2025).

A gestão de armazenagem é um componente nevrálgico da cadeia de suprimentos moderna (Ayres, 2009). Em um cenário de alta competitividade, ascensão do *e-commerce* e complexidade das operações *omnichannel* (Millstein; Bilir; Campbell, 2022; Kembro; Norrman, 2020), a pressão por operações mais ágeis, com custos reduzidos e acuracidade de inventário próxima de 100%, é constante (Brito Junior; Spejorim, 2010). A logística tradicional, contudo, é marcada por “gargalos” de informação e uma forte dependência de processos manuais, que são intensivos em mão de obra e suscetíveis a erros, gerando consequências onerosas (Giusti *et al.*, 2019).

A resposta a esses desafios reside na adoção de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 (Aravindaraj; Cchinna, 2022), que promovem a fusão entre os mundos físico e digital, criando “*Smart Warehouses*” (Buntak; Kovačić; Mutavdžija, 2019). Conforme definido por Santos *et al.* (2022), um “*Smart Warehouse*” possui uma arquitetura lógica que visa aumentar a rastreabilidade, confiabilidade, agilidade e reduzir a intervenção humana nos processos.

Este artigo propõe um plano de implantação de RFID em armazéns focado nesta visão. O objetivo é detalhar a infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI) indispensável (redes Ethernet e Wi-Fi), a arquitetura de dados (padrões GS1) e o roteiro de implantação baseado nos trabalhos de Montagner (2010) e Ferreira e Carvalho Jr (2025), alinhando o projeto às metas de ESG e habilitando a evolução futura para um armazém autônomo. O roteiro passo a passo abrange desde o diagnóstico inicial até a evolução para um armazém autônomo, utilizando Inteligência Artificial (IA) para otimização de *slotting* (Lorenc; Kužnar; Lerher, 2021) e explorando o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (*unmanned aerial vehicles - UAVs*), Realidade Aumentada (Horejsi; Machác; Simon, 2024) e Blockchain para rastreabilidade confiável (Fernández-Caramés *et al.*, 2019).

Revisão da Literatura

A metodologia deste trabalho é de natureza qualitativa e exploratória, baseada em uma revisão sistemática da literatura. O objetivo é sintetizar os conceitos-chave, desafios e melhores práticas descritas na literatura acadêmica e técnica para propor um roteiro de implantação de RFID em armazéns. A proposta se fundamenta na fusão de dois modelos centrais: o roteiro de seis etapas para a TD (Ferreira; Carvalho Junior, 2025) e os imperativos de Governança Corporativa e Socioambiental (ESG) (Ferreira; Panhan, 2023). Esta estrutura é complementada por diretrizes técnicas de infraestrutura de rede (Cisco, 2025; Ubiquiti Networks, 2018), padrões de dados (GS1, 2024), arquiteturas de sistemas de WMS (Tong; Ming; Zhang, 2023) e metodologias de gestão de projetos (Carujo; Anunciação; Santos, 2022; Montagner, 2010).

RFID Na Arquitetura Lógica do *Smart Warehouse*

A transição para a Indústria 4.0 exige uma nova arquitetura lógica para a logística (SANTOS et al., 2022). O armazém deixa de ser um silo de informação e passa a ser um nó inteligente e flexível na cadeia de suprimentos. O RFID é a tecnologia central de captura de dados nessa arquitetura, habilitada pela IoT (Jarašūnienė; Čižiūnienė; Čereška, 2023). De forma resumida, um sistema RFID opera por meio de componentes básicos: uma etiqueta (ou tag), que armazena dados em um microchip, onde seus tipos e características são mostrados na Tabela 1; um leitor (ou interrogador) com uma antena, que emite sinais de Radiofrequência RF, onde seus tipos e características são mostrados na Tabela 2; e um sistema de *backend* (WMS/Middleware) para processar os dados (LIU, 2020). O leitor envia uma onda de rádio que energiza a tag (no caso de tags passivas, as mais comuns na logística) (Liawatimena et al., 2011). A tag, por sua vez, utiliza essa energia para “refletir” (retroespalhar) um sinal de volta ao leitor, contendo seu identificador único de código eletrônico de produto (*electronic product code* – EPC).

Esta nova arquitetura permite uma "composição de *workflows*" (Kattepur, 2019), onde processos de negócio são orquestrados dinamicamente entre humanos, robôs e sensores. O RFID permite a criação de um "Gêmeo Digital" (*Digital Twin*) do armazém (Hu et al., 2023), onde o status e a localização de cada palete no mundo

físico são espelhados em tempo real no sistema virtual (WMS), habilitando a automação de processos de negócio (Polyakov *et al.*, 2023) e melhorando a competitividade e o nível de serviço (Pane; Awangga; Azhari, 2018).

Tabela 1 - Padrões e características de tags RFID

Tipo	Frequência de Operação	Alcance	Aplicação Típica
Passiva (Baixa Frequência - LF)	30 kHz a 300 kHz (Geralmente 125–134 kHz)	Contato a 10 Centímetros (pode chegar a 50 cm em condições ideais, ou menos de 10 cm)	Rastreamento de Animais, Controle de Acesso, aplicações com altos volumes de líquidos e metais. Funciona bem perto de líquidos e metais.
Passiva (Alta Frequência - HF)	3 MHz a 30 MHz (Primária: 13,56 MHz)	Perto do Contato a 30 Centímetros (até cerca de 1 metro, ou "alguns metros", padronizado até 1 m)	Controle de Acesso, Pagamentos (NFC), Livros de Biblioteca, Rastreamento de Ativos.
Passiva (Ultra-Alta Frequência - UHF)	860 a 960 MHz (Faixas comuns: 865–868 MHz ou 902–928 MHz)	Perto do Contato a 25+ Metros (pode chegar a 30 m, ou até 10 m)	Rastreamento da Cadeia de Suprimentos, Manufatura, Pedágio Eletrônico, Rastreamento de Ativos e Inventário. Sofre problemas de propagação com metal e líquidos.
Passiva Assistida por Bateria (BAP)	Opera em faixas como UHF (a energia para transferência de dados é a onda do leitor)	Médio alcance - até 100m	Utilizada para alimentação da própria etiqueta, e para ler e transferir dados de um sensor, quando no campo do leitor.
Ativa	433 MHz, (pode usar 2,45 GHz)	Longo alcance - 100m ou mais (pode chegar a 100+ metros, ou facilmente 100 m em ambientes desobstruídos)	Rastreamento de Veículos, Manufatura Automotiva, Mineração, Construção, Rastreamento de Ativos, rastreamento de contêineres de carga.

Fonte: Adaptado de Fernández-Caramés *et al.* (2019), Barreto e Machado (2022), Liawatimena *et al.* (2011), Smiley (2020) e Motroni *et al.* (2021), e Castro (2014)

O Padrão GS1 Como Linguagem Universal

A tecnologia RFID, para ser eficaz em escala, deve funcionar como uma “linguagem universal” de negócios. É aqui que entram os padrões GS1 (GS1, 2024).

Tabela 2 - Padrões e características das antenas RFID

Padrão/Característica	Princípio de Operação	Aplicação Típica / Uso
Polarização Circular (CP)	O campo de RF gira. Isso permite maior incerteza posicional dos itens marcados. Ajuda a mitigar problemas causados pela orientação da <i>tag</i> .	Utilizada quando a localização da <i>tag</i> é desconhecida ou em diferentes ângulos e alturas (ex.: <i>tags</i> em caixas paletizadas passando por um portal de porta de doca).
Polarização Linear (LP)	O campo de RF oscila em uma única direção (vertical ou horizontal). Não são tão flexíveis com ângulos e alturas de <i>tags</i> .	Ideal se a <i>tag</i> estiver em uma altura e orientação consistentes (ex.: lendo <i>tags</i> em vagões ferroviários). Uma antena LP foi escolhida para maximizar a potência irradiada para etiquetas fixadas paralelamente ao solo.
Campo Distante (Far-Field)	Usa o <i>backscatter</i> (energia restante modulada que retorna ao leitor) para se comunicar.	Comunica-se com <i>tags</i> passivas RFID a até 9 metros ou mais em um ambiente ideal.
Campo Próximo (Near-Field)	Usa acoplamento magnético ou indutivo para se comunicar quando a <i>tag</i> está na proximidade.	Ideal para aplicações que exigem leituras de proximidade. Geralmente não lê mais do que 30 centímetros.
Direcional	Possui um feixe concentrado em uma direção (formato de cone). Foca o ganho para captar leituras em uma direção específica.	Usado onde a leitura é necessária em uma direção específica.
Omni-Direcional	Fornecer uma ampla cobertura em um plano, geralmente 360 graus.	Usado onde os itens marcados estão na mesma altura, mas passarão pela antena em diferentes ângulos.
Alto Ganho (High Gain)	Quanto maior o ganho, geralmente mais longo é o alcance de leitura. Geralmente resulta em uma largura de feixe (<i>beamwidth</i>) menor.	Necessário para leituras de longo alcance.
Baixo Ganho (Low Gain)	Implica em alcance de leitura mais curto. Geralmente resulta em uma largura de feixe (<i>beamwidth</i>) maior.	Otimizado para zonas de leitura menores, como controle de acesso.

Fonte: Adaptado de Smiley (2020) e Motroni et al. (2021)

O GS1 fornece a arquitetura de sistema que permite a interoperabilidade global (GS1, 2016). Um sistema RFID não captura apenas um “número”; ele captura um código eletrônico de produto (*electronic product code* - EPC). O EPC, gerenciado pelo GS1, é a chave que conecta o item físico (identificado via RFID) a dados digitais na nuvem. A arquitetura GS1 define três pilares. O primeiro é *Identify* (Identificar), que define a estrutura de dados única para itens (EPC), locais (GLN), ativos e paletes. O segundo pilar, *Capture* (Capturar), define como os dados são capturados, incluindo o padrão EPC Gen2 para RFID UHF, garantindo que *tags* e leitores de diferentes fabricantes possam comunicar-se, e definindo também a

interoperabilidade com códigos de barras (GS1, 2016) para permitir uma migração gradual. O terceiro pilar, *Share* (Compartilhar), define como os dados são compartilhados entre parceiros da cadeia (ex: via EPCIS - *Electronic Product Code Information Services*), permitindo visibilidade *end-to-end* e servindo como base de dados confiável para futuras aplicações em *Blockchain* (FERNÁNDEZ-CARAMÉS *et al.*, 2019).

WMS e Integração

O RFID é o sistema nervoso que captura os dados, mas o WMS é o “cérebro” que os utiliza. A implementação de um WMS é, por si só, um fator decisivo para melhorar a performance de um armazém B2B (Shanmugamani; Mohamad, 2023). O RFID atua como um acelerador, fornecendo dados automáticos e precisos que o WMS utiliza para gerenciar inventário (Li; Wang, 2024), alocar tarefas, consolidar pedidos (Boysen; Stephan; Schiwerdfeger, 2024) e otimizar rotas.

A integração entre RFID, WMS e planejamento de recursos da empresa (*Enterprise Resource Planning* - ERP) é um dos maiores desafios técnicos (Tong; Ming; Zhang, 2023). Conforme Andiyappillai (2019b), a “Padronização de Soluções Integradas” é vital. Sem padronização (como os padrões GS1 e APIs abertas), as empresas criam sistemas isolados (“silos de informação”) que são caros de manter e incapazes de escalar. A integração efetiva, como a proposta em arquiteturas flexíveis (NG *et al.*, 2021) e sistemas integrados (Leal; Calvosa, 2025), é um pilar da arquitetura de “*Smart Warehouses*” (Santos *et al.*, 2022).

Tecnologia, Técnica e Educação Corporativa

A implantação do RFID é uma TD (Andyappillai, 2020b) que exige uma reengenharia de processos e uma nova abordagem de gestão (Guelbert, 2009). Conforme Carujo, Anunciação e Santos (2022), tratar essa mudança como um “Projeto” formal, com análise de viabilidade econômica e gestão de *stakeholders*, é um fator crítico de sucesso.

É fundamental também diferenciar os conceitos de “técnica” e “tecnologia” no contexto da mudança (Langhi; Cordeiro; Duarte, 2023). A tecnologia é a ferramenta em si (o leitor RFID, a antena, o *software*). Por outro lado, a técnica é o “saber fazer” do operador (a nova forma de conferir um palete, o novo método de inventário cíclico). A implantação do RFID (tecnologia) é inútil se os operadores não desenvolverem as novas técnicas operacionais. Isso só é alcançado por meio da Educação Corporativa (Langhi; Cordeiro; Duarte, 2023), que foca em ressignificar os conceitos e o porquê da mudança para o fator humano (Da Silva; Machado, 2025).

A Transformação Digital Como Pilar Para Metas ESG

A TD, habilitada por tecnologias da Indústria 4.0 como o RFID, é uma poderosa apoiadora do desenvolvimento cultural e prático de metas ambientais, sociais e de governança (*Environmental, Social, and Governance - ESG*) (Ferreira; Panhan, 2023). A captura de dados em tempo real permite que as empresas não apenas otimizem processos, mas o façam de maneira sustentável e governável. A tecnologia impacta os três pilares do ESG. No pilar Ambiental (E), ela permite a “otimização *data-driven* para a descarbonização das operações” (LI *et al.*, 2024), possibilitando o planejamento de “*Green Warehouses*” (Ren *et al.*, 2023) e a medição precisa da pegada de carbono (*Carbon Footprint*) (Nissinen; Seppala; Heinonen, 2022). No pilar Social (S), a automação impacta o capital humano. O foco da TD deve ser a requalificação, a melhoria da ergonomia e a mitigação do erro humano (Giusti *et al.*, 2019), alinhando a tecnologia ao bem-estar do colaborador (Da Silva; Machado, 2025). Finalmente, no pilar da Governança (G), a transparência e as rastreabilidades geradas pelo RFID e WMS são a base da governança corporativa, permitindo auditorias precisas e criando um registro de dados confiável (Ferreira; Panhan, 2023).

Infraestrutura de TI Essencial Para o Sistema RFID

A eficácia de um sistema RFID é diretamente proporcional à qualidade de sua rede (Smily, 2020). Os dados gerados pelos leitores são de missão crítica e exigem uma

rede confiável, com baixa latência e alta disponibilidade. O planejamento incorreto da infraestrutura de rede pode levar à perda de dados, leituras imprecisas e falha total do sistema (Kokoreva; Shurygina; Bragin, 2022).

REDE ETHERNET (CABEADA) E *EDGE COMPUTING*

A rede cabeada é a fundação do sistema RFID, conectando todos os componentes fixos que exigem máxima estabilidade. Para Leitores Fixos e Portais, a conexão deve ser sempre via cabo Ethernet (Cat 5e ou superior). Uma prática recomendada é o uso de energia sobre a ethernet (*power over ethernet* - PoE) (Smilley, 2020), que alimenta os leitores RFID diretamente pelo cabo de rede, utilizando *switches* PoE (IEEE 802.3at/af). O desempenho da rede é crítico, é fundamental garantir que as portas de rede dos leitores e dos *switches* estejam configuradas corretamente. Conforme documentação técnica da CISCO (2025), problemas de autonegociação (*auto-negotiation*) que resultam em *mismatch* de *duplex* (ex: leitor em *Full-Duplex* e *switch* em *Half-Duplex*) causam colisões e perda massiva de pacotes. Em implementações de larga escala, a arquitetura moderna utiliza computação de borda (*Edge Computing*) (Lin, S. *et al.*, 2021); "*Edge Gateways*" (dispositivos de processamento local) são instalados próximos aos leitores, executam o *middleware* localmente, filtram os dados e enviam apenas informações consolidadas ao WMS central (Leal; Calvosa, 2025). Por fim, a Segmentação de Rede (*virtual local area networks* - VLANs) é muito importante para isolar o tráfego RFID do tráfego corporativo geral, garantindo a segurança e a performance da coleta de dados (Buntak; Kovačić; Mutavdžija, 2019).

REDE WIRELESS, CONECTIVIDADE E LOCALIZAÇÃO

A rede sem fio (*wireless* - Wi-Fi) é o que permite a mobilidade no armazém, com o planejamento tendo os objetivos duplos de conectividade e localização. Os principais casos de uso são os leitores móveis (*Handhelds*) (Chen *et al.*, 2018; Barreto; Machado, 2022) e os leitores embarcados em empilhadeiras (Motroni *et al.*, 2021) ou UAVs (Fernández-Caramés *et al.*, 2019). A Tabela 3 mostra os requisitos de rede por componente RFID.

Tabela 3 - Matriz de Requisitos de Rede por Componente RFID

Componente RFID	Tecnologia de Rede	Requisito Físico / RF	Configuração Crítica (Software)	Justificativa Operacional (Risco de Falha)	Referências
Leitor Fixo (Smart Gate)	Ethernet (cabeadada)	Cabo Cat 6/6a (blindado) PoE+ (Energia)	Auto-negociação (Speed / Duplex)	Evitar perda de pacotes por duplex mismatch. (Risco: Leitura de portal perdida; inconsistência de estoque).	(Motroni <i>et al.</i> , 2021); (Cisco, 2025)
Leitor Móvel (Handheld)	WiFi (Wireless)	Banda dupla (2.4 / 5 GHz) Boa cobertura (ex.: >-70dBm)	Roaming Rápido (ex: 802.11r). Segurança WPA2/3-Enterprise.	Garantir que o operador não perca a conexão e a sessão com o WMS ao se mover entre corredores.	(Ubiquiti Networks, 2018); (Chen <i>et al.</i> , 2018)
Empilhadeira / Robô (Smart Forklift)	WiFi (Wireless)	Design de Alta Densidade de Aps	RSSI Mínimo de -65 dBm. Planejamento de canais não sobrepostos	Manter a precisão da localização (RSSI/Trilateration) e permitir o roaming contínuo sem perda de pacotes. (Risco: Posição do palete errada no WMS).	(Motroni <i>et al.</i> , 2021); (Kokoreva <i>et al.</i> , 2022)
Servidor de Aplicação (WMS / ERP / MES)	Ethernet (cabeadada)	1 10 GbE. Redundância de Links (LAG)	VLANs, QoS (Qualidade de Serviço).	Ponto central de integração de dados. Deve processar dados de todos os leitores em tempo real.	(Tong <i>et al.</i> , 2023); (Shanmugamani; Mohamad, 2023)

Fonte: Adaptado de Motroni et al. (2021), CISCO (2025), Ubiquiti Networks (2018), Chen et al. (2018), Kokoreva et al. (2022), Tong et al. (2023) e Shanmugamani; Mohamad (2023)

A etapa mais importante é o mapeamento de radiofrequência (*RF Site Survey*), pois armazéns são ambientes hostis para RF, cheios de metal (prateleiras) e produtos que absorvem sinal (GS1, 2020; Shrestha; Karmakar, 2019). Um "*Site Survey*" profissional é mandatório para determinar a posição exata dos pontos de acesso (*access points* - APs) (Ubiquiti Networks, 2018). A rede pode ser usada para posicionamento (*Location Accuracy*); conforme destacado por Kokoreva *et al.* (2022), o planejamento incorreto de APs leva a erros significativos de localização. Para dispositivos em movimento, o *Roaming* Contínuo (*Seamless Roaming*) (suportando padrões como 802.11k/r/v) é essencial, e a Segurança (WPA2-Enterprise ou WPA3) é item obrigatório (Ubiquiti Networks, 2018).

Plano de Implantação

A implantação da tecnologia RFID é um projeto de TD e deve ser gerenciada como tal (Andiyappillai, 2020a; Carujo; Anunciação; Santos, 2022). A simples instalação de hardware sem uma redefinição de processos e cultura está destinada ao

fracasso. Este trabalho se baseia no roteiro de seis fases para a TD proposto por Ferreira e Carvalho Junior (2025), integrando com os imperativos de ESG para criar um plano de implantação robusto (Ferreira; Panhan, 2023).

Fase 1: Diagnóstico e Conscientização

O objetivo desta fase é alinhar a organização e definir o problema (Ferreira; Carvalho Junior, 2025). O primeiro passo é a Elaboração e Análise do Projeto (Montagner, 2010), definindo claramente os gargalos (ex: erros de picking, "furos" no estoque, baixa eficiência) (Živičnjak; Rogić; Bajor, 2022). Em seguida, identifica-se o retorno do investimento (*return of investment* – ROI) do caso de negócios (*Business Case*). Conforme Carujo, Anunciação e Santos (2022), a análise de viabilidade econômica é um fator crítico de sucesso. Deve-se quantificar tanto a eficiência operacional (custo de mão de obra em conferência, mitigação de erro humano (Giusti *et al.*, 2019)) quanto a habilitação de novos modelos de negócio, como o *omnichannel* (Li; Wang, 2024). Finalmente, o Engajamento Estratégico é a chave da conscientização (Ferreira; Carvalho Junior, 2025), posicionando o projeto não apenas pelo ROI (Rangel *et al.*, 2024), mas como um pilar para as metas de ESG (Ferreira; Panhan, 2023), gerando dados para Governança (G) (transparência) e Sustentabilidade (E) (eficiência energética).

Fase 2: Estratégia e Planejamento

Nesta fase, define-se a visão "TO-BE" e o plano tático (Ferreira; carvalho Junior, 2025). Um pilar fundamental é o Planejamento Físico e a Estratégia de Contingência. A tecnologia não corrige um layout ruim (Mohamud *et al.*, 2023), e a seleção correta dos sistemas de armazenagem (ex: *flow-racks*) (Loske *et al.*, 2023) é um pré-requisito para a eficiência do *picking*. A otimização da localização física do armazém na malha logística é o primeiro passo para o sucesso em estratégias *omnichannel* (Millstein; Bilir; Campbell, 2022). A estratégia de implantação deve ser contingente ao modelo de negócio (Kembro; Norrman, 2020); por exemplo, um armazém *omnichannel* exige etiquetagem no nível do item, enquanto um B2B pode focar em paletes. Também deve-se considerar se o armazém será multi-cliente, o

que exige planejamento para compartilhamento de recursos (JAMILI; VAN DEN Berg de Foster, 2025). Com o layout definido, realiza-se o Redesenho de Processos (*business process management* - BPM) (Fera *et al.*, 2017), focando na automação de *workflows* (Kattepur, 2019), consolidação de pedidos (Boysen; Stephan; Schwerdfeger, 2024) e alocação de capacidade para múltiplas plataformas (Hu; Yu; Fu, 2023). Este planejamento deve incluir Metas ESG explícitas (Ferreira; Panhan, 2023), como a otimização de rotas para descarbonização (LI *et al.*, 2024) e o *design* de *Green Warehouses* (Ren *et al.*, 2023). Por fim, define-se a Arquitetura de TI, executando o RF *Site Survey* (Kokoreva; SHhurygina; Bragin, 2022) e planejando a rede Ethernet (Cisco, 2025), além de formalizar a padronização de dados (GS1, 2024) e a integração com o WMS/ERP (Andiyappillai, 2019a).

Fase 3: Prova de Conceito e Piloto

Esta é a etapa de experimentação do roteiro de TD (Ferreira; Carvalho Junior, 2025), vital para validar a física da RF (Smiley, 2020). O primeiro passo é a Prova de Conceito (*proof of concept* - PoC), um teste de física para validar se a RF funciona com os produtos específicos da empresa. Isso inclui o teste de materiais, pois a leitura é afetada por líquidos e metais (Shrestha; Karmakar, 2019), e a definição da etiquetagem ideal para garantir a leitura (GS1, 2020; Smiley, 2020). Aprovada a PoC, implementa-se um Projeto Piloto em área limitada, mas com a solução completa (hardware, rede e integração WMS) (Fera *et al.*, 2017). O piloto é também a oportunidade para a Validação Qualitativa (ESG - Social), coletando *feedback* dos operadores (Pane; Awangga; Azhari, 2018) sobre o novo *workflow* (Kattepur, 2019) e a nova técnica operacional (Langhi; Cordeiro; Duarte, 2023).

Fase 4: Implantação (Roll-Out)

A quarta etapa do roteiro de TD (Ferreira; Carvalho Junior, 2025) é a expansão da solução para todo o escopo definido (Zoubek *et al.*, 2021). Como o armazém não pode parar, a implantação deve ser faseada (ex: doca por doca). O foco principal desta fase é o pilar Social (ESG), executando a Gestão da Mudança. A implantação

da tecnologia (RFID) exige uma mudança na técnica (operação) (Langhi; Cordeiro; Duarte, 2023). A equipe deve ser treinada no novo processo "TO-BE", focando em como a tecnologia irá mitigar o erro humano (Giusti *et al.*, 2019) e o estresse da conferência manual. A Integração de Sistemas com o WMS/ERP deve ser garantida como 100% funcional (Shanmugamani; Mohamad, 2023; Tong; Ming; Zhang, 2023).

Fase 5: Gestão da Mudança e Cultura

O roteiro de TD, conforme Ferreira e Carvalho Jr (2025), dedica uma fase à consolidação da cultura, um pilar Social (S) e de Governança (G). O primeiro objetivo é a criação de uma Cultura Orientada a Dados. A organização passa a operar com dados em tempo real, e a tecnologia deve apoiar o desenvolvimento do “capital humano” (Ferreira; Panhan, 2023; Langhi; Cordeiro; Duarte, 2023). O segundo objetivo é a Ética e Governança dos Dados. Os dados de RFID permitem monitorar *workflows* (Motroni *et al.*, 2021), exigindo uma Governança (G) clara de que o objetivo é a otimização de processos e a segurança (D Antônio *et al.*, 2025), e não a vigilância punitiva, garantindo a adesão do fator humano (Da Silva; Machado, 2025).

Fase 6: Operação, Melhoria Contínua e Evolução

A TD não termina; ela se torna o estado de operação normal (Ferreira; Carvalho Junior, 2025). O RFID é a plataforma que habilita a próxima geração de otimizações. A operação inicia com o Monitoramento de indicadores chave de performance (*key performance indicators* - KPIs) (ESG - Ambiental), acompanhando indicadores (acuracidade, retorno do investimento (*return over investment* - ROI)) via *Data Analytics* (Rangel *et al.*, 2024; Andiyappillai, 2019a). Estes dados permitem a otimização *data-driven* para descarbonização (E) (Li *et al.*, 2024) e gestão de *Green Warehouses* (Ren *et al.*, 2023). Segue-se para a Otimização Contínua com IA (Sodiya *et al.*, 2024). Os dados do RFID são o combustível para a IA, permitindo a Otimização de *Slotting* (PAP), onde Redes Neurais Artificiais (*artificial neural networks* – ANNs) e *clustering* analisam os dados de *picking* e resolvem o “Problema de Alocação de Produto”, sugerindo dinamicamente o melhor local de

armazenamento (Lorenc; Kužnar; Lerher, 2021) e criando sistemas flexíveis (SFlex-WMS) (Ng et al., 2021). Finalmente, o sistema evolui para o Armazém Autônomo (ESG - Governança). O inventário manual é substituído por UAVs (drones) (Fernández-Caramés *et al.*, 2019) e a Realidade Aumentada (AR) passa a ser usada para navegação interna, onde os dados do WMS/RFID são projetados para o operador, aumentando drasticamente a acuracidade e confiabilidade do *picking* (Horejsi; Machác; Šimon, 2024). Para Governança (G) total, os eventos de rastreabilidade Serviços de informações de códigos de produtos eletrônicos (*electronic product code information services* - EPCIS) são registrados em um *Blockchain*, criando um registro imutável e auditável (Garrido-Hidalgo *et al.*, 2019; Fernández-Caramés *et al.*, 2019).

Discussões

A implantação do RFID, conforme delineado neste artigo, transcende a instalação de uma tecnologia para se tornar um catalisador de transformação organizacional. A principal implicação deste estudo é que o sucesso do projeto não reside no *hardware* (antenas, leitores), mas na sua capacidade de atuar como um projeto sociotécnico alinhado à estratégia de negócio.

Uma discussão central é a mudança de paradigma do RFID como um "substituto do código de barras" para o RFID como "fundação da Indústria 4.0". O roteiro proposto demonstra que o valor não está na captura de dados em si, mas no seu uso pelo WMS para habilitar a arquitetura lógica do "*Smart Warehouse*" (Shanmugamani; Mohamad, 2023; Santos *et al.*, 2022). A interoperabilidade, garantida pelos padrões GS1 (2024, 2016), é o que permite que os dados fluam do RFID para o WMS, e deste para sistemas de IA (Sodiya *et al.*, 2024), AR (Horejsi; Machác; Šimon, 2024) e *Blockchain* (Fernández-Carámes *et al.*, 2019).

Ferreira e Carvalho Junior (2025), com os pilares de ESG, estudados por Ferreira e Panhan (2023), também altera fundamentalmente a avaliação do projeto. A discussão desloca o foco do ROI de curto prazo para a criação de valor sustentável (Rangel *et al.*, 2024). A tecnologia RFID torna-se uma ferramenta de Governança (G), fornecendo transparência de inventário e mitigando riscos de erro (Giusti *et al.*,

2019); uma ferramenta Ambiental (E), ao gerar os dados para a descarbonização (Li *et al.*, 2024) e gestão de *Green Warehouses*, e um pilar Social (S), ao exigir uma requalificação da força de trabalho (Ren *et al.*, 2023; Da Silva; Machado, 2025).

Discute-se também a complexidade do pilar Social (S). A distinção entre “tecnologia” (a ferramenta RFID) e “técnica” (o novo processo de *picking*) é muito importante (Langhi; Cordeiro; Duarte, 2023). A infraestrutura de TI pode ser perfeita, mas se a “Educação Corporativa” falhar em engajar o operador na nova técnica, o projeto falha. A gestão da mudança (Fase 5 do roteiro) é, portanto, o maior ponto de atrito.

Por fim, a discussão deve ressaltar a abordagem de contingência (Kembro; Norrman, 2020). O roteiro proposto não é linear. A estratégia *omnichannel* (Millstein; Bilir; Campbell, 2022), por exemplo, exige uma implantação no nível do item, um salto de complexidade e custo (infraestrutura Wi-Fi mais densa para localização) em comparação com uma operação B2B focada em paletes (Kokoreva; Shurygina; Bragin, 2022). O diagnóstico da Fase 1 deve, portanto, definir o tipo de RFID necessário para a estratégia de negócio, guiando as escolhas de arquitetura (Tong; Ming; Zhang, 2023).

Considerações Finais

A implantação de um sistema RFID em armazéns é um dos projetos de maior impacto na modernização intralógica, servindo como alicerce para a Indústria 4.0. Este trabalho demonstrou que o RFID não é apenas uma tecnologia, mas um projeto complexo de TD que exige uma abordagem formal de Gestão de Projetos.

Seguindo o roteiro de TD, o sucesso desta jornada depende de uma síntese de fatores críticos. Isso inclui um planejamento rigoroso de projeto e layout, o BPM, uma infraestrutura de TI robusta, a adesão a padrões de dados e, fundamentalmente, uma gestão da mudança focada na educação corporativa.

Ao integrar os objetivos de ESG em cada fase da implantação, o projeto de RFID transcende o simples ROI operacional. Ele se torna um pilar estratégico que fornece os dados para a Sustentabilidade (E), promove o desenvolvimento do capital Social (S) e garante a Governança (G) e a transparência. Este roteiro transforma o

armazém em uma plataforma "*Smart*", pronta para a próxima onda de inovação da Indústria 4.0, como o *picking* assistido por Realidade Aumentada, o inventário por UAVs e a rastreabilidade via *Blockchain*.

Referências

ANDIYAPPILLAI, Natesan. Data Analytics in Warehouse Management Systems (WMS) Implementations - A Case Study. **International Journal of Computer Applications**, v. 181, n. 47, p. 14–17, abr. 2019a.

ANDIYAPPILLAI, Natesan. Digital Transformation in Warehouse Management Systems (WMS) Implementations. **International Journal of Computer Applications**, v. 177, n. 45, p. 34–37, mar. 2020a.

ANDIYAPPILLAI, Natesan. Factors Influencing the Successful Implementation of the Warehouse Management System (WMS). **International Journal of Computer Applications**, v. 177, n. 32, p. 21–25, jan. 2020b.

ANDIYAPPILLAI, Natesan. Standardization of System Integrated Solutions in Warehouse Management Systems (WMS) Implementations. **International Journal of Computer Applications**, v. 178, n. 13, p. 6–11, mai. 2019b.

ARAVINDARAJ, K.; CHINNA, P. Rajan. A systematic literature review of integration of industry 4.0 and warehouse management to achieve Sustainable Development Goals (SDGs). **Cleaner logistics and supply chain**, v. 5, p. 100072, 2022.

AYRES, Antônio de Pádua Salmeron. **Gestão de logística e operações**. IESDE BRASIL SA, 2009.

BARRETO, Clarice Gonçalves; MACHADO, Ricardo Luiz. Dispositivos tecnológicos na coleta e separação de pedidos: revisão bibliográfica. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 8, n. 6, p. 01-33, 2022.

BOYSEN, Nils; STEPHAN, Konrad; SCHWERDFEGER, Stefan. Order consolidation in warehouses: The loop sorter scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, v. 316, n. 2, p. 459-472, 2024.

BRITO JÚNIOR, Irineu de; SPEJORIM, Washington. Gestão Estratégica de Armazenagem. 1. **Curitiba: IESDE Brasil SA**, 2012.

BUNTAK, Krešimir; KOVAČIĆ, Matija; MUTAVDŽIJA, Maja. Internet of things and smart warehouses as the future of logistics. **Tehnički glasnik**, v. 13, n. 3, p. 248-253, 2019.

CARUJO, Sofia; ANUNCIAÇÃO, Pedro Fernandes; SANTOS, João Rocha. The project management approach. A critical success factor in digital transformation initiatives. **Economics and Culture**, v. 19, n. 1, p. 64-74, 2022.

CASTRO, Jefferson Inácio de. Avaliação de projetos logísticos de RFID aplicados na indústria aeronáutica brasileira. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/entities/publication/7ab8d886-4b42-492b-91d3-1a11d636bc08>. Acesso em: 10 dez. 2025.

CHEN, Xiangqun et al. Design of handheld meter reading terminal based on UHF RFID. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2018. p. 032028.

CISCO. Configure and Verify Ethernet 10/100/1000Mb Half/Full Duplex Auto-Negotiation, 2025. Disponível em:

<https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/lan-switching/ethernet/10561-3.html>. Acesso em: 24 out. 2025.

DA SILVA, Augusto Nascimento; MACHADO, Sivanilza Teixeira. A importância do fator humano na gestão de armazenagem: revisão de literatura. **Mobicities-Journal of Urban Mobility, Logistics and Sustainable Smart Cities**, v. 2, n. 1, 2025.

DE ANTÔNIO, Marcio José Padovan et al. Logistics Automation, AI, and Industry 4.0: Ethical Considerations in a Technological Innovation Scenario. **Journal of Urban Mobility, Logistics and Sustainable Smart Cities**, 2(1), 38–52, 2025. DOI: 10.5281/zenodo.14889814. Disponível em: <https://zenodo.org/records/14889814>. Acesso em: 24 out. 2025.

FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M. et al. Towards an autonomous industry 4.0 warehouse: A UAV and blockchain-based system for inventory and traceability applications in big data-driven supply chain management. **Sensors**, v. 19, n. 10, p. 2394, 2019.

FERREIRA, E. A.; PANHAN, A. M. Indústria 4.0 como apoiadora no desenvolvimento cultural ESG das empresas: Governança Corporativa e Socioambiental agregando valor à Cadeia de Suprimentos. In: **Anais do 6o Congresso de Pós-graduação do IFSP-Conpog**. 2023. p. 434-440.

FERREIRA, Erick A.; CARVALHO JR, Arnaldo. Um Roteiro para a Transformação Digital das Organizações. **Anais do XIV Encontro Nacional de Pós-graduação (2025)**, v. 14, p. 47–51, 2025. DOI: 10.5281/ZENODO.17204006.

GARRIDO-HIDALGO, Celia et al. An end-to-end internet of things solution for reverse supply chain management in industry 4.0. **Computers in Industry**, v. 112, p. 103127, 2019.

GIUSTI, Ilaria et al. Mitigation of human error consequences in general cargo handler logistics: Impact of RFID implementation. **Computers & Industrial Engineering**, v. 137, p. 106038, 2019.

GS1. GS1 RFID Identification of Pulp Products Guideline. 2020. Disponível em: <https://www.google.com/search?q=https://www.gs1.org/standards/gs1-rfid-identification-on-pulp-products-guideline/current-standard%231-Introduction>. Acesso em: 30 out. 2025.

GS1. GS1 RFID/Barcode Interoperability Guideline. 2016. Disponível em: https://www.gs1.org/docs/barcodes/RFID_Barcode_Interoperability_Guidelines.pdf. Acesso em: 30 out. 2025.

GS1. GS1 System Architecture Document. 2024. Disponível em: <https://www.google.com/search?q=https://www.gs1.org/standards/gs1-system-architecture-document/90%233-General-considerations%2B3-3-Scope-of-standards>. Acesso em: 30 out. 2025.

GUELBERT, Marcelo. Estratégia de gestão de processos e da qualidade. **Curitiba: IESDE Brasil S.A.**, 2009.

HOŘEJŠÍ, Petr; MACHÁČ, Tomáš; ŠIMON, Michal. Reliability and accuracy of indoor warehouse navigation using augmented reality. **IEEE Access**, v. 12, p. 94506-94519, 2024.

HU, Bin et al. Construction of digital twin system for cold chain logistics stereo warehouse. **IEEE Access**, v. 11, p. 73850-73862, 2023.

JAMILI, Negin; VAN DEN BERG, Pieter L.; DE KOSTER, René. The impact of resource sharing on the design of multi-client warehouses. **IIE Transactions**, v. 57, n. 3, p. 336-350, 2025.

JARAŠŪNIENĖ, Aldona; ČIŽIŪNIENĖ, Kristina; ČEREŠKA, Audrius. Research on impact of IoT on warehouse management. **Sensors**, v. 23, n. 4, p. 2213, 2023.

KATTEPUR, Ajay. Workflow composition and analysis in industry 4.0 warehouse automation. **IET Collaborative Intelligent Manufacturing**, v. 1, n. 3, p. 78-89, 2019.

KEMBRO, Joakim Hans; NORRMAN, Andreas. Which future path to pick? A contingency approach to omnichannel warehouse configuration. **Int. Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 51, n. 1, p. 48-75, 2021.

KOKOREVA, Elena; SHURYGINA, Ksenia; BRAGIN, Anton. Impact of Wi-Fi network coverage planning on the logistics objects' location accuracy. In: **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences, 2022. p. 01041.

LANGHI, Celi; DE SOUSA CORDEIRO, Denilson; DUARTE, Edna Mataruco. Técnica, tecnologia e inovação no âmbito da educação corporativa: resignificação de conceitos. **Refas-Revista Fatec Zona Sul**, v. 10, n. 1, p. 1-16, 2023.

LEAL, Rondney da Silva Leal; CALVOSA, Marcello Vinicius Doria. Sistemas integrados e tecnologias inovadoras: vantagens competitivas para a formação em Ciências Sociais Aplicadas. **South American Development Society Journal**, v. 11, n. 32, p. 55-55, 2025.

LI, Haolin et al. Data-driven optimization for automated warehouse operations decarbonization. **Annals of Operations Research**, v. 343, n. 3, p. 1129-1156, 2024.

LI, Ning; WANG, Zheng. Inventory control for omnichannel retailing between one warehouse and multiple stores. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 7395-7412, 2023.

LIAWATIMENA, S. et al. A mini forklift robot. In: **The 2nd International Conference on Next Generation Information Technology**. IEEE, 2011. p. 127-131.

LIU, Q. Automated logistics management and distribution based on RFID positioning technology. **Telecommunications and Radio Engineering**, v. 79, n. 1, 2020.

LORENC, Augustyn; KUŹNAR, Małgorzata; LERHER, Tone. Solving Product Allocation Problem (PAP) by Using ANN and Clustering. **FME Transactions**, v. 49, n. 1, 2021.

LOSKE, Dominic et al. Storage systems' impact on order picking time: An empirical economic analysis of flow-rack storage systems. **International Journal of Production Economics**, v. 261, p. 108887, 2023.

MILLSTEIN, Mitchell A.; BILIR, Canser; CAMPBELL, James F. The effect of optimizing warehouse locations on omnichannel designs. **European Journal of Operational Research**, v. 301, n. 2, p. 576-590, 2022.

MOHAMUD, Ibrahim Hassan et al. The Role of Warehouse Layout and Operations in Warehouse Efficiency: A Literature Review. **Journal Européen des Systèmes Automatisés**, v. 56, n. 1, 2023.

MONTAGNER, Carlos Alberto. Elaboração e análise de projetos. **IESDE BRASIL SA**, 2012.

MOTRONI, Andrea et al. An action classification method for forklift monitoring in industry 4.0 scenarios. **Sensors**, v. 21, n. 15, p. 5183, 2021.

NG, Sokchoo et al. SFlex-WMS: a novel multi-expert system for flexible logistics and warehouse operation in the context of Industry 4.0. In: **SHS Web of Conferences**. EDP Sciences, 2021. p. 10002.

NISSINEN, Ari; SEPPÄLÄ, Jyri; HEINONEN, Tero. Make carbon footprints available—And it is not just one value. **Cleaner Logistics and Supply Chain**, v. 3, p. 100023, 2022.

PANE, Syafril Fachri; AWANGGA, Rolly Maulana; AZHARI, Bayu Rahmad. Qualitative evaluation of RFID implementation on warehouse management system. **TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)**, v. 16, n. 3, p. 1303-1308, 2018.

POLYAKOV, Roman et al. Warehouse logistics information system using RFID tags as an effective way of automating business processes. In: **BIO Web of Conferences**. EDP Sciences, 2023. p. 07002.

RANGEL, Ronaldo Raemy et al. Gestão estratégica da inovação: Indicadores, métricas e avaliação de portfólio para maximização da rentabilidade. **REPAE-Revista de Ensino e Pesquisa em Adm. e Engenharia**, v. 10, n. 2, p. 54-63, 2024.

REN, Qiang et al. Research on design and optimization of green warehouse system based on case analysis. **Journal of cleaner production**, v. 388, p. 135998, 2023.

SANTOS, Carloss César Ribeiro et al. Smart Warehouses: Logical Architecture for Logistics 4.0. **Journal of Bioengineering, Technologies and Health**, v. 5, n. 1, p. 18–24, 2022.

SHANMUGAMANI, Karishma; MOHAMAD, Fazeeda. The implementation of warehouse management system (wms) to improve warehouse performance in

business to business (B2B). **Int. Journal of Industrial Management**, v. 17, n. 4, p. 231-239, 2023.

SHRESTHA, Sika; KARMAKAR, Nemai Chandra. Analysis of real-world implementation challenges of chipless RFID tag. **IET Microwaves, Antennas & Propagation**, v. 13, n. 9, p. 1318-1324, 2019.

SMILEY, S. The Insider's Guide to Working with RFID. **Birmingham: atlasRFIDstore**, 2020.

SODIYA, Enoch Oluwademilade et al. AI-driven warehouse automation: A comprehensive review of systems. **GSC Advanced Research and Reviews**, v. 18, n. 2, p. 272-282, 2024.

TANG, Junxiu et al. A visualization approach for monitoring order processing in e-commerce warehouse. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 28, n. 1, p. 857-867, 2021.

TONG, Qingfei; MING, Xinguo; ZHANG, Xianyu. Construction of sustainable digital factory for automated warehouse based on integration of ERP and WMS. **Sustainability**, v. 15, n. 2, p. 1022, 2023.

UBIQUITI NETWORKS. Ubiquiti Enterprise Wireless Admin. [s.l: s.n.], 2018.

ŽIVIČNJAK, Margareta; ROGIĆ, Kristijan; BAJOR, Ivona. Case-study analysis of warehouse process optimization. **Transportation Research Procedia**, v. 64, p. 215-223, 2022.

ZOUBEK, Michal et al. Methodology proposal for storage rationalization by implementing principles of industry 4.0. in a technology-driven warehouse. **Transactions of FAMENA**, v. 44, n. 4, p. 75-98, 2020.