UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

AMANDA RODRIGUES STEFANON

APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA RFID PARA A RASTREABILIDADE DE PRODUTOS SIDERÚRGICOS

JUIZ DE FORA
2023

AMANDA RODRIGUES STEFANON

APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA RFID PARA A RASTREABILIDADE DE PRODUTOS SIDERÚRGICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: D. Sc. Antônio Ângelo Missiaggia Picorone

JUIZ DE FORA

2023

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Stefanon, Amanda Rodrigues.
Aplicação da tecnologia RFID para a rastreabilidade de produtos siderúrgicos / Amanda Rodrigues Stefanon. -- 2023.
53 p.

Orientador: Antônio Ângelo Missiaggia Picorone
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2023.

1. Rastreabilidade. 2. Estoque. 3. RFID. I. Picorone, Antônio Ângelo Missiaggia , orient. II. Título.

AMANDA RODRIGUES STEFANON

APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA RFID PARA A RASTREABILIDADE DE PRODUTOS SIDERÚRGICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 07 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

D. Sc. Antônio Ângelo Missiaggia Picorone
Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc. Clarice Breviglieri Porto
Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc. Marcos Vinicius Rodrigues
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Desejo dedicar este momento de profundo agradecimento à minha extraordinária família, a quem devo meu apoio inabalável ao longo de toda a minha jornada. Em particular, expresso minha mais sincera gratidão ao meu pai, Wilmar, e à minha mãe, Darlene, cujo amor incondicional e encorajamento constante foram pilares essenciais para o meu percurso acadêmico.

À minha irmã, Fernanda, agradeço pela sua presença constante e por compartilhar comigo as alegrias e desafios desta jornada.

Sou grata a Deus pela vida e por colocar pessoas maravilhosas em meu caminho, incluindo amigos que tornaram essa jornada mais leve e significativa.

Meus mais profundos agradecimentos também se estendem aos professores que, ao longo dessa trajetória, compartilharam conhecimento e possibilitaram meu crescimento acadêmico e profissional. Em especial, expresso minha gratidão ao meu orientador, Antônio Picorone, que não apenas orientou este trabalho com sabedoria, mas também foi uma fonte constante de inspiração.

Cada um de vocês desempenhou um papel imprescindível em minha jornada, e por isso serei eternamente grata.

RESUMO

Este estudo discute a relevância da rastreabilidade de produtos acabados no estoque e carregamento empresarial, destacando seu impacto direto na produtividade e precisão das informações. Para tal, é apresentado um estudo de caso de uma empresa siderúrgica localizada no Brasil com desafios relacionados à gestão de estoque e tempo de carregamento. Essa siderúrgica decidiu implementar o projeto com a tecnologia RFID para rastrear os produtos acabados no recebimento do estoque, na estocagem e no carregamento. A análise dos resultados engloba problemas identificados por indicadores internos, medido nos processos afetados. Discute-se a implantação do projeto, as tecnologias e equipamentos utilizados, além de apresentar alguns resultados, tais como, a redução do tempo de permanência dos veículos na empresa e o aumento da acuracidade do estoque. Também são apresentados os desafios para a eficácia da solução RFID, como condições adversas, investimentos consideráveis em recursos humanos, materiais e financeiros e esforços contínuos na manutenção do processo.

Palavras-chaves: Rastreabilidade; Estoque; RFID.

ABSTRACT

This study discusses the relevance of traceability of finished products in stock and business loading, highlighting its direct impact on productivity and information accuracy. To this end, a case study of a steel company located in Brazil with challenges related to inventory management and loading time is presented. This steel company decided to implement the project with RFID technology to track finished products upon receipt of stock, storage and loading. The analysis of results encompasses problems identified by internal indicators, measured in the affected processes. The implementation of the project, the technologies and equipment used are discussed, in addition to presenting some results, such as the reduction in the time vehicles spend at the company and the increase in inventory accuracy. Challenges to the effectiveness of the RFID solution are also presented, such as adverse conditions, considerable investments in human, material and financial resources and continuous efforts to maintain the process.

Keywords: Traceability; Inventory; RFID.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha do tempo do projeto RFID na empresa XYZ. 15
Figura 2 - Comparativo entre as tecnologias de identificação de produtos. 22
Figura 3 - Componentes sistema RFID. 23
Figura 4 - Análise dos resultados do projeto de implementação RFID. 26
Figura 5 - Comparação antes e após implementação RFID na empresa. 27
Figura 6 - Modelo etiqueta 2018 com modificações para preservar a identidade da empresa. 30
Figura 7 - Área de armazenagem, estocagem e expedição dos PA. 31
Figura 8 - Fluxograma do processo do veículo dentro da empresa. 32
Figura 9 - Tempo médio dos veículos na empresa em 2018 (Tp). 33
Figura 10 - Porcentagem de acuracidade do estoque 2018 (A_p). 34
Figura 12 - Exemplo de *tag* que é inserido na etiqueta. 36
Figura 13 - Modelo etiqueta com *tag* RFID, com modificações para preservar a identidade da empresa. 38
Figura 14 - Área de estocagem antiga e novo *layout*. 39
Figura 15 - *Tags* de posicionamento nas baias. 39
Figura 16 - Visão frontal do protótipo de instalação das antenas de leitura RFID nas empilhadeiras. 40
Figura 17 - Tempo médio dos veículos na empresa de 2018 a agosto de 2023 (Tp). 42
Figura 18 - Porcentagem de acuracidade do estoque 2018 a 2020 (Ap). 43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Variáveis avaliadas nos testes de etiquetas. 36
Quadro 2 - Definição de fornecedores para novo Modelo de Etiquetas. 37

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABREEPRO	Associação Brasileira De Engenharia De Produção
ERP	Planejamento De Recursos Empresariais
IIIIE	International Institute Of Industrial Engineering
MES	Manufacturing Execution Systems
PA	Produto Acabado
POC	Proof Of Concept
QR CODE	Quick Response Code
RFID	Radio Frequency Identification
SAP	Systemanalysis Programmentwicklung
SGQ	Sistema De Gestão Da Qualidade
TAC	Transportador Autônomo De Carga

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 12
1.2 JUSTIFICATIVA 13
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 14
1.4 OBJETIVOS 16
1.5 METODOLOGIA 16
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 17

2 RASTREABILIDADE DOS PRODUTOS NA INDÚSTRIA 18

2.1 ESTOQUE DE PRODUTOS ACABADOS 18
2.2 CONFERÊNCIA DE ESTOQUE 19
2.3 ENDEREÇAMENTO DO ESTOQUE 19
2.4 RASTREABILIDADE DE MATERIAIS 20
2.4.1 TECNOLOGIA PARA RASTREABILIDADE: RFID 22
2.4.2 VANTAGENS (RFID) 24
2.4.3 DESVANTAGENS (RFID) 25
2.4.4 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE RFID NA INDÚSTRIA 25
2.5 INDICADORES LOGISTICOS 27

3 ESTUDO DE CASO 30

3.1 CONTEXTO LOGÍSTICO 30
3.2 ANÁLISE DO PROCESSO E INDICADORES 31
3.3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO RFID 35
3.3.1 IDENTIFICAÇÃO DOS PRODUTOS ACABADOS 36
3.3.2 IDENTIFICAÇÃO DO ESTOQUE 38
3.3.3 LEITURA DAS ETIQUETAS DE IDENTIFICAÇÃO 39
3.3.4 *MIDDLEWARE* DE INTERFACE PARA EFETIVIDADE DO PROCESSO 40

4 RESULTADOS 42

4.1 RESULTADOS ALCANÇADOS 42
4.2 LIÇÕES APRENDIDAS 44

5 CONCLUSÕES 46

REFERÊNCIAS 48

ANEXO 1 – TERMO DE AUTENTICIDADE 52

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A logística compreende a gestão do fluxo otimizado e economicamente eficiente de matérias-primas, estoques em processo, produtos finalizados e informações associadas, desde a origem até o consumo na organização. O objetivo principal, de acordo com Stock (1998), é satisfazer as demandas dos clientes por meio do planejamento, execução e monitoramento desse processo. Ballou (2001) descreve a logística como a coordenação cuidadosa e estratégica de todas as etapas envolvidas no transporte, armazenamento e distribuição de mercadorias, garantindo que os produtos e informações corretos sejam entregues no lugar certo e na hora certa, a fim de satisfazer as demandas e expectativas dos clientes.

Segundo Mendes (2021), a logística apresenta uma diferenciação nos conceitos de logística *inbound* e *outbound*. O termo *inbound* refere-se às atividades internas da empresa, incluindo o transporte, armazenamento e entrega da matéria-prima. Enquanto o *outbound* são as atividades que envolvem o transporte, estoque e expedição do produto acabado da organização para o cliente final.

Em relação ao setor logístico nas indústrias, a tecnologia impulsionou melhorias nos processos de controle, rastreamento e coordenação. Esse avanço resultou em melhorias significativas nas atividades logísticas, proporcionando a obtenção de dados mais precisos, gestão mais eficiente, redução de custos e um maior gerenciamento dos processos da organização (BOWERSOX; CLOSS, 2009). A implementação de um sistema autônomo de identificação de produtos aprimora a eficiência dos processos de produção e distribuição, prevenindo possíveis falhas como falta, extravio ou mistura de itens (FEINBIER; SCHITTKO; GALLAIS, 2008).

Diante disso, o rastreamento dos produtos é uma atividade essencial para as organizações. Através dos dados fornecidos pelo rastreamento, os envolvidos no processo podem obter suporte relacionado à localização, horários, qualidade, segurança e movimento. Essas informações resultam em um banco de dados que possibilita um monitoramento preciso das atividades logísticas relevantes (DUARTE, 2005).

Exemplos de ferramentas para identificar e rastrear produtos são códigos de barras, QR *Code* e sistema RFID (*Radio Frequency Identification)*. Os leitores de códigos de barras foram um marco no século XIX, tendo como finalidade a coleta de dados operacionais, a rastreabilidade e monitoramento de produtos. E consiste em uma sequência específica de barras

e espaços com variações, de altura e de espessura, representando um único produto (DIAS, 2009).

O Código de Resposta Rápida (QR *Code - Quick Response Code)*, foi criado no século XX, com o objetivo principal de se criar um código de barras bidimensional que armazena um maior número de informações, em um espaço reduzido e de alta velocidade (COMTRERAS *et al*., 2017 *apud* COLMAN, 2019).

O método RFID teve início na Segunda Guerra Mundial (BANZATO, 2017). A tecnologia RFID é um dos componentes que a logística emprega para fornecer *insights* que melhoram a análise e o gerenciamento de riscos. Os sistemas de RFID estão cada vez mais integrados aos processos de rastreamento industrial, proporcionando uma identificação automática e autônoma de objetos e pessoas. Essa tecnologia se apoia na interação entre etiquetas e leitores por meio de antenas, viabilizando a transmissão e recepção de identificações exclusivas por meio de ondas de rádio (DENUWARA; MAIJALA; HAKOVIRTA, 2019).

Considerando as oportunidades apresentadas no estudo de caso discutido neste trabalho, optou-se pela implementação do RFID em uma siderurgia. Por questões de preservar a privacidade da empresa, neste trabalho a empresa objeto de estudo será denominada de empresa XYZ. Contudo, é relevante mencionar que em 2017 a organização iniciou a busca por informações sobre a aplicação da tecnologia RFID em outras empresas siderúrgicas e não encontrou referências de sua utilização para o endereçamento de estoque e expedição de produtos acabados. Diante dessa lacuna, em 2018, a siderurgia objeto de estudo iniciou o processo de análise para a implementação do projeto de rastreamento por RFID.

Em vista disso, este trabalho propõe analisar os resultados obtidos com a implementação de um sistema baseado em RFID na área da logística da empresa siderúrgica XYZ. Portanto, o presente trabalho busca responder à seguinte questão de investigação: quais são os benefícios e desafios presentes na implantação e aplicação da tecnologia RFID com a finalidade de rastrear os produtos acabados nos processos de estoque e expedição?

1.2 JUSTIFICATIVA

A Engenharia de Produção teve início no século XVIII com o objetivo de analisar o funcionamento de organizações, considerando o todo, e buscando otimizar processos, criar fluxos de trabalho eficientes em todas as áreas, reduzir custos, aumentar a produtividade e, consequentemente, agregar valor à organização (PIRATELLI, 2005).

De acordo com as definições do *International Institute of Industrial Engineering* – IIIE – e Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO, "compete à Engenharia de Produção o projeto, a implantação, a operação, a melhoria e a manutenção de sistemas produtivos integrados de bens e serviços, envolvendo homens, materiais, tecnologia, informação e energia".

Com isso, a escolha do tema deste trabalho ocorre devido à oportunidade de vivenciar a prática da profissão de Engenharia de Produção durante o estágio da autora em uma empresa siderúrgica. Nesse contexto, foi possível trabalhar com a aplicação de conceitos e teorias da logística, rastreabilidade e Tecnologia da Informação.

Outro fator que justifica este trabalho é a escassez de referências bibliográficas relacionadas aos desafios e oportunidades do uso de RFID em indústrias siderúrgicas. Este estudo contribui para preencher a lacuna existente em relação às pesquisas especializadas sobre esse tema específico. A análise dos desafios enfrentados pelas indústrias siderúrgicas ao adotar o RFID, assim como a exploração das oportunidades que essa tecnologia oferece, representa um assunto relevante para as pesquisas acadêmicas.

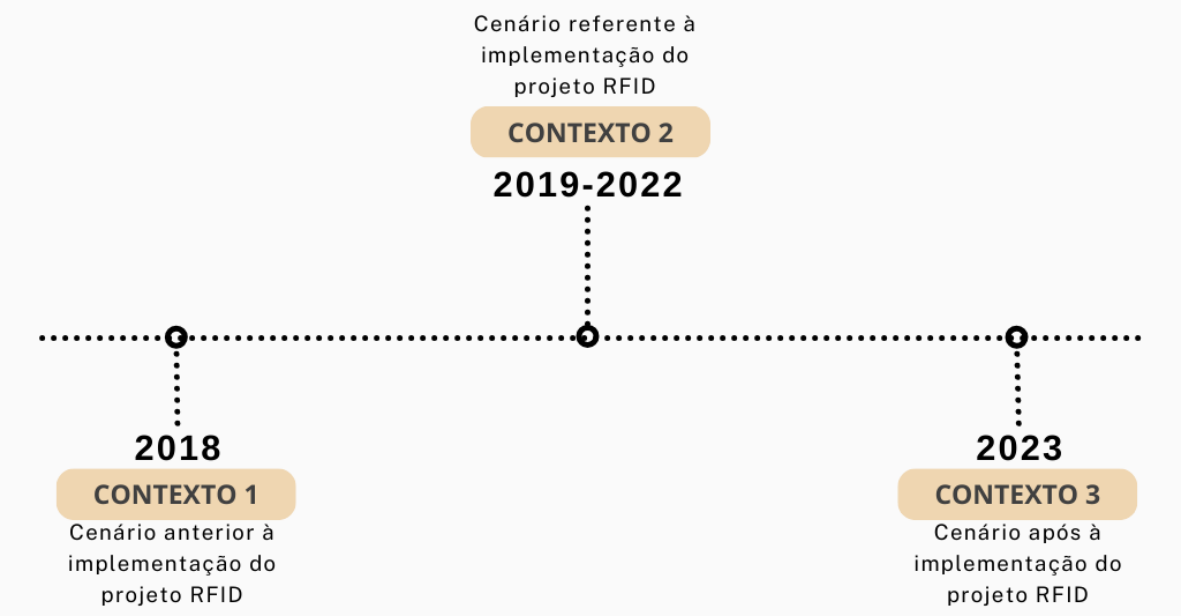
1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O trabalho destaca a necessidade de garantir a rastreabilidade dos produtos acabados para a precisão do controle de estoque e para otimizar o processo de expedição de produtos em uma organização. Para isso, são apresentados exemplos de tecnologias utilizadas nesse contexto, juntamente com indicadores logísticos que possibilitam acompanhar a eficácia das melhorias implementadas na organização. O estudo se concentra na implementação da tecnologia RFID (identificação por radiofrequência) nas etiquetas dos materiais, contextualizando essa implementação com a realidade do estudo de caso.

O estudo de caso foi realizado em uma empresa brasileira fabricante de aço. A organização em análise começou o projeto de RFID apenas na área da logística *outbound*, mais

especificamente nos processos de estocagem e expedição de produtos acabados. Nesse sentido, o estudo de caso aborda três diferentes contextos, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Linha do tempo do projeto RFID na empresa XYZ.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

O contexto 1 se refere ao ano de 2018, antes da implementação da tecnologia RFID, no qual os dados iniciais dos processos são coletados por meio de indicadores obtidos no Sistema de Gestão da empresa, e os problemas são mapeados.

No contexto 2, que abrange os anos de 2019 a 2022, ocorre a implementação do projeto de RFID. Nesse período, são descritas as etapas executadas, como a substituição de etiquetas, instalação de antenas, utilização de *tags* de endereçamento e desenvolvimento de *software*.

Já o contexto 3, relativo ao ano de 2023, analisa os desafios identificados para a efetiva implantação da tecnologia RFID nos processos logísticos da empresa, desde o recebimento da produção até a estocagem e expedição dos produtos acabados.

Posteriormente, são apresentados os resultados dos indicadores coletados nos contextos 1, 2 e 3. Em seguida, é realizada uma análise comparativa entre os conceitos apresentados na pesquisa bibliográfica e os resultados obtidos por meio do estudo de caso. Essa análise permite identificar semelhanças, diferenças e possíveis correlações entre a teoria exposta na literatura e a prática observada no cenário da empresa siderúrgica durante a implantação do RFID na logística.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo geral analisar os resultados obtidos com a implementação do sistema de RFID em um segmento logístico de uma empresa de siderurgia, com a finalidade de rastrear os seus produtos acabados dentro dos processos de estoque e expedição.

1.4.2 Objetivos Específicos

Com a finalidade de atingir o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

a) Descrever a situação da empresa XYZ antes do início da implantação do sistema RFID;
b) Descrever os procedimentos de implantação do sistema RFID na siderúrgica XYZ;
c) Descrever os principais desafios obtidos em relação à implementação, manutenção e utilização a longo prazo da tecnologia RFID no estoque e carregamento de produtos acabados na empresa XYZ;
d) Apresentar e avaliar os resultados obtidos identificando os seus impactos no processo.

1.5 METODOLOGIA

Para atender ao objetivo proposto, foi empregada a metodologia de pesquisa bibliográfica, a qual se baseia em materiais previamente elaborados, como livros e artigos científicos. Nesse sentido, são apresentados os estudos de diversos autores que abordam as definições relacionadas ao tema do projeto, visando compreender o estudo de caso da implementação do RFID.

Quanto ao procedimento técnico adotado, foi realizado um estudo de caso que consiste em uma pesquisa empírica destinada a investigar um fenômeno contemporâneo dentro do contexto da vida real (YIN, 2015). Para a elaboração do trabalho, foi conduzida uma pesquisa exploratória, na qual foram coletados dados e informações da empresa XYZ por meio de documentos como POC (*Proof of Concept*), planilhas e procedimentos, durante os diferentes contextos apresentados no projeto (antes, durante e após a implementação do projeto). Essa

abordagem permitiu uma compreensão mais profunda e contextualizada da experiência da empresa com a implementação do RFID na área logística.

A obtenção de dados quantitativos foi realizada por meio do Sistema de Gestão da empresa XYZ, visando capturar os registros dos indicadores estabelecidos no período de 2018 a 2023. Esses dados têm como finalidade possibilitar a análise dos resultados obtidos ao longo desse intervalo de tempo.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do presente Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Produção é dividida em cinco capítulos. O capítulo 1 traz uma análise introdutória, objetivos, motivações, justificativas pelo tema, limitação da abordagem por meio do escopo e metodologia utilizada.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica com a finalidade de apresentar estudos relacionados ao estoque e à importância da rastreabilidade nas áreas de estoque e expedição de produtos acabados nas indústrias. Além de apresentar exemplos de tecnologias relacionadas à otimização dos resultados nestes processos, especialmente a tecnologia RFID.

O capítulo 3 consiste em apresentar o contexto do estudo de caso e as mudanças necessárias para a implementação do projeto realizado por uma indústria localizada no Brasil, na área da logística, com a tecnologia RFID nas etiquetas dos PA, apresentando ao leitor a realidade do projeto estudado.

O capítulo 4 contém as discussões acerca dos desafios enfrentados devido à implementação, manutenção e utilização do projeto, essencialmente, pela complexibilidade da tecnologia. Além disso, também são abordados os benefícios por meio dos resultados de indicadores traçados pela empresa, advindos da utilização a longo prazo do projeto. Finalmente, o capítulo 5 encerra o trabalho, em que é apresentada a conclusão das análises realizadas junto às considerações finais.

2 RASTREABILIDADE DOS PRODUTOS NA INDÚSTRIA

Este capítulo descreve de forma sucinta, com base na literatura existente, os conceitos de: i) estoque de produtos acabados; ii) conferência de estoque; iii) endereçamento de estoque; iv) rastreabilidade de materiais; v) tecnologia RFID, discorrendo sobre as vantagens, desvantagens da sua utilização e dois exemplos de estudo de caso de outras organizações; vi) indicadores logísticos. Dessa forma, o presente capítulo trata do embasamento para compreender a aplicação do estudo de caso da utilização do RFID nas etiquetas dos produtos acabados em uma siderurgia.

2.1 ESTOQUE DE PRODUTOS ACABADOS

A definição de estoque varia entre diferentes autores. Chiavenato (2005) define estoque como a composição de materiais, como os Produtos Acabados (PA), que não estão sendo utilizados em um momento específico, mas serão necessários para atender a uma demanda futura. Francischini e Gurgel (2004) o descrevem como todos os bens físicos que, por um determinado período, não estão sendo usados de maneira produtiva. Slack *et al.* (1997) oferece uma perspectiva semelhante, afirmando que estoques são recursos materiais acumulados em um sistema de transformação.

De acordo com Moura (2004), estoque é um conjunto de bens armazenados em locais como depósitos, almoxarifados e galpões, adaptando-se às especificidades dos materiais, com o propósito de atender aos objetivos das atividades realizadas pela organização. Viana (2002) destaca a importância do planejamento do *layout* para o estoque de materiais, visando a obtenção de melhores custos em relação à mão-de-obra. Um *layout* adequado garante uma operação eficaz, permitindo o uso eficiente do espaço e proporcionando acesso e movimentação adequados dos materiais de forma organizada.

Segundo Moura (1997), o planejamento do *layout* proporciona movimentações efetivas de equipamentos, materiais e pessoas, facilitando as operações dentro do estoque. Dias (2012) destaca a constante movimentação física no estoque, que ocorre nos processos de recebimento, armazenagem e expedição de Produtos Acabados. Essas movimentações demandam informações detalhadas sobre as características técnicas dos materiais e dos equipamentos utilizados. O autor lista vários exemplos de equipamentos utilizados na movimentação de materiais no estoque, como esteiras fixas ou móveis, carrinhos, paleteiras, empilhadeiras, pontes rolantes e pórticos.

2.2 CONFERÊNCIA DE ESTOQUE

As atividades de recebimento do material para armazenamento são fundamentais para uma gestão de estoque efetiva, visto que a assertividade do estoque está diretamente relacionada ao recebimento do material correto (KUMMER, 2012). Em vista disso, os autores Martins e Campos (2017) segmentam elementos essenciais relacionadas à etapa de recebimento, como por exemplo:

1. Estabelecer espaços físicos para plataformas, separação e conferência dos materiais, filas de veículos e acesso livre para estocar inicialmente os produtos.
2. Utilização de recursos de informática, por meio de terminais de leitura ótica para realizar a identificação dos materiais.
3. Equipamentos de carga e descarga, como equipamentos que auxiliam nos processos de carga e descarga, com a finalidade de obter uma operação ágil e segura. A exemplificação inclui empilhadeiras, carros de transporte, guinchos manuais e etc.

Após a estocagem dos materiais, a organização realiza o processo de inventário com o objetivo de realizar a conferência física dos produtos acabados em estoque. O inventário é uma operação física na qual ocorre a contagem de todos os itens presentes, com a finalidade de confirmar a veracidade das informações registradas virtualmente por meio da comparação da presença física dos materiais. Essa prática é uma ferramenta importante para a gestão do estoque, conforme descrito por Kummer (2012).

Conforme Martins e Campos (2017), caso sejam identificadas divergências entre o estoque físico e os registros do controle de estoque contábil, é necessário realizar os ajustes necessários para corrigir as discrepâncias encontradas. Essa ação é fundamental para manter a precisão e a confiabilidade dos registros de estoque, permitindo que as informações estejam alinhadas com a realidade física dos produtos disponíveis na empresa.

2.3 ENDEREÇAMENTO DO ESTOQUE

Para a tomada de decisões relacionadas ao *layout* de armazenagem é necessário compreender as diferentes estratégias de endereçamento associadas ao espaço de estocagem. As políticas são delineadas em duas abordagens distintas que têm impacto significativo no *design* do *layout*: armazenagem fixa e aleatória. A primeira delas é a armazenagem fixa, em

que os materiais são alocados em posições predefinidas, promovendo ordem e facilitando a localização dos itens, mas limitando a flexibilidade do espaço disponível. Por outro lado, a armazenagem aleatória permite uma maior flexibilização na utilização do espaço, uma vez que não há posições fixas para os materiais, permitindo adaptações conforme as demandas variáveis (MOURA, 1997).

Com o objetivo de otimizar a identificação dos materiais no estoque, as organizações devem adquirir um sistema operacional que direcione os produtos para locais identificados. Dessa forma, endereçar os materiais estocados facilita aos operadores encontrá-los posteriormente (MARTINS; CAMPOS, 2017). O endereçamento é uma ferramenta que auxilia na localização de materiais dentro do estoque. Visto que a organização, ao não identificar um material para ser expedido, precisa tomar a decisão de produzir quantidade para a reposição ou não atender ao pedido. Logo, a empresa expõe-se às consequências negativas relacionadas à sua imagem e aos prejuízos financeiros. Dessa maneira, a organização deve informatizar os armazéns com o objetivo de reduzir os prejuízos e as falhas devido ao endereçamento do material (VIANA, 2002).

Em relação ao armazenamento, Furtado (2005) afirma que todos os materiais devem ser localizados de acordo com a posição ocupada dentro do armazém. Nesse sentido, essas informações devem ser representadas por meio de um sistema de caracteres, incluindo números e letras. Com o avanço da automação nos depósitos, torna-se crucial estipular um método de endereçamento.

Entre as diferentes abordagens de endereçamento, é essencial designar locais específicos para armazenar os produtos, identificando-os com códigos de barras ou códigos internos da empresa. É fundamental implementar uma simbologia representativa para cada local de armazenamento, abrangendo até mesmo os menores espaços em uma unidade de estoque. Devido à possibilidade de recebimento de produtos em momentos e quantidades variadas, e ao seu consumo de acordo com as políticas de gestão de estoques, é comum que estejam armazenados em múltiplas posições. O monitoramento preciso das posições de armazenamento é essencial para garantir a eficiência das operações nos armazéns (KUMMER, 2012).

2.4 RASTREABILIDADE DE MATERIAIS

Conforme o estudo de Domingos *et al.* (2012), a falta de registro e controle de informações logísticas pode causar problemas e falhas nos processos. Por exemplo, erros

relacionados ao peso e à quantidade do material na distribuição, atrasos devido ao elevado fluxo de veículos na empresa, demora na recepção dos materiais, custos de estocagem e transporte, e dificuldades para a construção do inventário. Além disso, os autores Nassar e Vieira (2014) ressaltam que o fluxo de informações deve ser realizado de forma automatizada e em tempo hábil para evitar que falhas cheguem ao cliente final.

A rastreabilidade de materiais é um requisito para o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) de uma organização. Portanto, para atender aos requisitos de rastreabilidade, a empresa deve gerenciar a identificação exclusiva dos produtos finais e manter a documentação necessária que permita rastrear esse processo (ABNT NBR ISO 9001:2015).

Assim, a rastreabilidade é um fator fundamental para as atividades logísticas nas empresas, pois possibilita o controle das operações por meio da disponibilidade de informações sobre movimentações dos produtos, preparação de pedidos, recebimento e expedições (MENDES, 2021). Organizações que não possuem registro de seus produtos apresentam ausência de rastreabilidade, impactando na qualidade do produto, na satisfação dos clientes, no desempenho organizacional e na competitividade (FUSCO, 2002).

De acordo com Jacinto *et al.* (2011), a rastreabilidade dos materiais é realizada por meio de definições e parâmetros que identificam e localizam os itens estocados, auxiliando nas atividades da empresa, como movimentações e inventários. Empresas com grandes volumes de materiais demandam rapidez e exatidão do administrador. Controlar itens por suas nomenclaturas pode ser fonte constante de erros, dificultando a gestão de estoque eficaz. Portanto, o monitoramento e a atualização de dados confiáveis são fundamentais para uma gestão eficiente (KUMMER, 2012).

Mendes (2021) define as tecnologias relacionadas à gestão de operações empresariais na logística como Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), destacando que elas aumentam a velocidade do fluxo informacional, contribuem para a exatidão dos dados e fornecem maior credibilidade e excelência nos serviços realizados. Entre essas tecnologias, para identificação de produtos, são citadas o uso de códigos de barras e a aplicação de RFID.

Os códigos de barras e o QR Code são exemplos de códigos de identificação que utilizam símbolos impressos para simplificar a captura de dados por dispositivos leitores. Essa abordagem tem o potencial de automatizar procedimentos, aumentando a eficiência, o controle e a confiabilidade do sistema em que estão incorporados (COLMAN, 2019). Ao definir a tecnologia para rastrear produtos no estoque, a organização deve avaliar as características de

cada uma. A Figura 2 ilustra um comparativo entre as três principais tecnologias de identificação de produtos: código de barras, QR Code e RFID.

Figura 2 - Comparativo entre as tecnologias de identificação de produtos.

Características	Código de Barras	QR Code	RFID
Capacidade de armazenamento	Baixa	Alta	Alta
Necessidade de leitura com linha de visão	Sim (unidimensional)	Sim (bidimensional)	Não
Necessidade de intervenção humana	Sim	Sim	Não
Distância para a captação da informação	Pequena	Pequena	Longe
Quantidade de Leitura	Baixa	Baixa	Alta
Segurança dos dados	Baixa	Baixa	Alta
Durabilidade	Baixa	Baixa	Alta
Preço	Baixo	Baixo	Alto

Fonte: adaptado de Montoya (2018).

2.4.1 Tecnologia para rastreabilidade: RFID

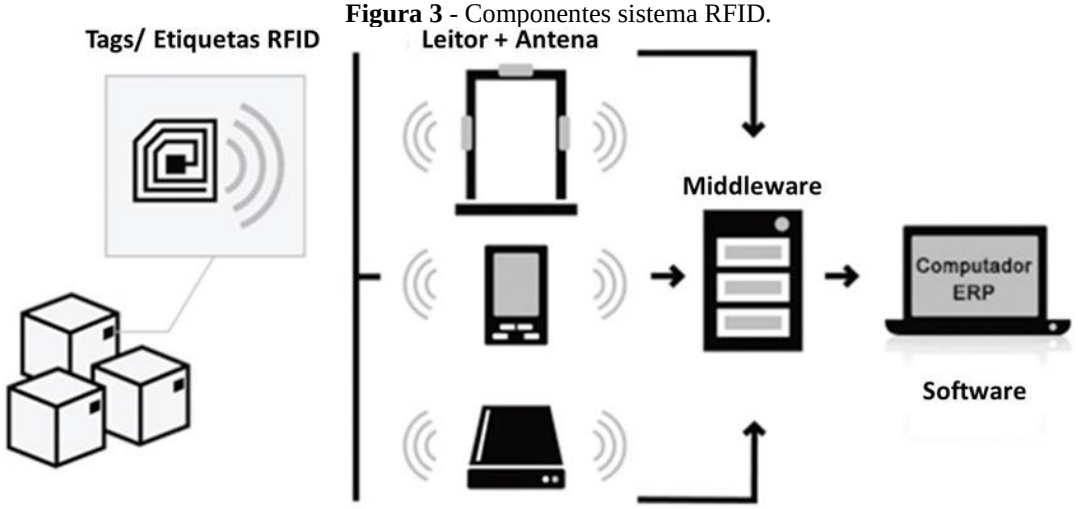
A necessidade de obter maior precisão no gerenciamento de estoque motivou as empresas a adotarem tecnologias inovadoras, como sistemas de informação em seus processos (BANZATO, 2017). No contexto industrial, percebe-se uma diversidade de sistemas que precisam trocar informações, como sistemas de engenharia, compras, controle de processos e produção, sendo que o requisito de interoperabilidade é buscado pelas empresas (INTEROPERABILITY, 2017).

De acordo com Chow *et al.* (2006) e Kach e Borzabad (2011), a utilização da tecnologia RFID é uma realidade em várias indústrias, especialmente nos setores que movimentam muitas peças diariamente e necessitam de rastreamento preciso de seus produtos. Segundo Shankar *et al.* (2015), a tecnologia RFID fornece identificação, localização e rastreamento. Dessa forma, pode ser considerada fundamental para a visualização do produto em trânsito, uma vez que os dados provenientes dessa tecnologia possibilitam a automatização da cadeia de suprimentos, monitoramento preciso da localização e tempo do material nas etapas da operação.

O sistema RFID é uma tecnologia sem fio composta principalmente por leitor, antenas e *tags*. Seu funcionamento ocorre da seguinte maneira: inicialmente, as *tags* são fixadas ao

objeto que será monitorado, nelas estão gravadas as informações de identificação do produto. As *tags* são lidas por meio de radiofrequência pelas antenas. Por fim, para gerenciar o grande volume de dados adquiridos, é utilizado o *middleware*, que integra os sistemas gerenciais da instituição (REI, 2010). O sistema completo, contendo *tags*, antena, leitor e *middleware*, está ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Componentes sistema RFID.



Fonte: baseado em Oda (2015).

As *tags* RFID têm a função de enviar, receber e transmitir dados, e são divididas em duas categorias principais: as *tags* passivas, que utilizam a energia do leitor, não possuindo bateria, e podem funcionar por princípios de indução magnética ou por antenas dipolo; e as *tags* ativas, que usam uma bateria como fonte de energia para o circuito e a antena (SANTINI, 2008).

O *middleware* desempenha um papel crucial no fluxo de dados entre os dispositivos de leitura RFID e as aplicações de negócio. Suas funções essenciais incluem coleta, roteamento, gerenciamento de dados e gerenciamento de dispositivos. Na coleta de dados, atua como um *buffer* temporário realizando extração, agregação, limpeza e filtragem, tornando eficiente a transição de dados brutos para informações relevantes às aplicações. No roteamento de dados, direciona informações entre leitores RFID e aplicações, determinando destinos apropriados. No gerenciamento de dados, identifica e aciona eventos com base em regras de negócio, atribuindo significado aos dados e integrando-os aos processos de negócio. No gerenciamento de dispositivos, monitora e coordena leitores, oferecendo uma camada de

abstração para simplificar a interação com a infraestrutura física RFID, aumentando a produtividade e facilitando a integração de novos dispositivos na rede (LEONG *et al.*, 2005).

Segundo Duchovni *et al.* (2006), as *tags* apresentam frequências distintas de acordo com a aplicação do projeto:

1. Baixa frequência (menor que 135 kHz), que apresenta melhor desempenho em materiais metálicos e líquidos, mas possui área de leitura limitada, custos maiores e velocidade lenta de transmissão de dados;
2. Alta frequência (13,56 MHz), possui melhor desempenho comparado à baixa frequência, logo, possui maior acessibilidade e variação de uso;
3. Ultra frequência (433 MHz e 860 a 930 MHz), possui o melhor desempenho, logo, apresenta maior eficiência, velocidade de leitura e alcance, além do melhor custo. Entretanto, possui o comprimento de onda mais curto, consequentemente, há a probabilidade de interferência no sinal na atuação em água e metais.

2.4.2 Vantagens (RFID)

Ao comparar o sistema RFID com o sistema de código de barras, é evidente que a tecnologia RFID oferece benefícios significativos, como maior velocidade de leitura e a capacidade de operar em ambientes diversos, incluindo aqueles perigosos, sujos e contaminados, devido à capacidade de leitura independente de uma etiqueta RFID em relação à linha de visão (STAMBAUGH; CARPENTER, 2009).

Essa tecnologia permite a automação da identificação de produtos, tornando o processo independente do operador humano, o que resulta no aumento da produtividade e eficiência no gerenciamento de estoque da indústria. Além disso, o RFID oferece dados em tempo real e proporciona rastreabilidade contínua dos itens dentro da operação, reduzindo erros relacionados à localização e lacunas de informações na cadeia de abastecimento (KACH; BORZABAD, 2011).

No entanto, as vantagens do RFID vão além da automação na captura de dados na cadeia de suprimentos. A implementação desse sistema tem como objetivo principal ampliar a integração de toda a cadeia logística da empresa (WAMBA; CHATFIELD, 2009). Isso torna a movimentação dos itens na cadeia de suprimentos mais transparente, graças à precisão na localização, à possibilidade de previsões mais precisas e à redução de ineficiências na cadeia de suprimentos (KACH; BORZABAD, 2011). Além disso, de acordo com Silva (2019), o RFID

permite um melhor aproveitamento do espaço físico, minimiza perdas de produtos por danos e melhora o controle do inventário, resultando em uma operação mais eficiente e redução nos custos de armazenagem.

2.4.3 Desvantagens (RFID)

Embora os avanços da tecnologia RFID sejam inegáveis, sua ampla utilização enfrenta diversos desafios. Assim como todas as tecnologias, o sistema RFID apresenta desvantagens e riscos. Existem relatos de casos que destacam obstáculos e tentativas mal-sucedidas de implementação dessa tecnologia dentro das organizações, levantando questionamentos sobre sua eficácia (KHARIF, 2005).

De acordo com Kach e Borzabad (2011), a implementação do RFID é uma das principais barreiras enfrentadas, pois as empresas se deparam com altos custos iniciais. O investimento necessário para adquirir a tecnologia física e o *software* para o RFID pode representar um desafio financeiro significativo (USTUNDAG; TANYAS, 2009).

Taboada (2009) destaca que o uso de materiais metálicos pode causar interferência na radiofrequência devido ao alcance limitado das antenas em locais próximos a metais. Škiljo *et al.* (2020) apontam que as limitações do RFID derivam das restrições eletromagnéticas, incluindo propriedades de radiação de antenas e fenômenos de propagação.

Santana (2005) menciona a necessidade de padronização da frequência nos elementos do sistema RFID para garantir leituras uniformes, o que demanda a uniformização das frequências utilizadas.

Além disso, a heterogeneidade dos componentes do sistema RFID pode resultar em dificuldades de integração entre fontes de dados distintas. É desafiador projetar interfaces de comunicação entre dispositivos, sistemas operacionais e arquiteturas que atendam às especificidades do projeto (FARAHZADI *et al.*, 2018).

A seguir, serão apresentados dois exemplos que ilustram os resultados alcançados com a introdução da tecnologia RFID na indústria. Essa abordagem visa oferecer uma visão mais abrangente das experiências de diversas organizações e os resultados obtidos com a adoção dessa tecnologia.

2.4.4 Exemplos de aplicação de RFID na indústria

1) Estudo de caso: Freitas, Fraga e Souza (2016).

O sistema RFID foi aplicado em uma multinacional fundada em 1957, na Cidade Industrial de Curitiba, que fabrica produtos e presta serviços automotivos para montadoras e para o mercado de reposição. Além disso, produz ferramentas elétricas, sistemas de segurança, termotecnologia, máquinas de embalagem e tecnologias industriais. Com o objetivo de implementar melhorias em sua cadeia de suprimentos, a empresa realizou dois projetos que envolviam a tecnologia RFID:

- Leitor por rádio frequência RFID: o projeto consiste em utilizar o RFID para alimentar o SAP (*Systemanalysis Programmentwicklun*g - Desenvolvimento de Programas para Análise de Sistema), automatizar a coleta dos dados, especialmente os de entrada, objetivando reduzir o tempo de cobertura e o estoque e aumentar a produtividade.
- Integração de máquinas: o projeto consiste em aumentar a eficiência nos processos na integração da tecnologia RFID, objetivando reduzir o trabalho manual e consequentemente, aumentar a produtividade e diminuir o nível de inventário nas áreas produtivas, visto que serão processados os dados em tempo real.

Logo, com a aplicação dos projetos, foi possível associar os ganhos relacionados aos conceitos da Indústria 4.0, então, os autores estruturam uma tabela, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Análise dos resultados do projeto de implementação RFID.

Projetos / Conceitos	Flexibilidade	Customização em massa	Velocidade	Qualidade	Produtividade	Network vertical dos sistemas	Integração da cadeia de valor	Tecnologia
Leitor por rádio frequência RFID	X		X	X		X	X	X
Integração de Máquinas	X		X	X	X	X		X

Fonte: baseado em Freitas, Fraga e Souza (2016).

Por outro lado, os desafios apresentados pelos autores incluíram o alto investimento financeiro necessário para alcançar a efetividade na integração física e virtual (incluindo maquinários, *softwares*, entre outros) e as habilidades da mão de obra. Isso se deve ao fato de que atividades serão programadas e monitoradas por máquinas, exigindo um trabalho analítico, treinado e adaptado aos novos padrões.

2) Estudo de caso: Freitas, Silva e Brancão (2019)

Em uma indústria fundada em 1988 na cidade de Jaú, com uma média produtiva mensal de 36.118 produtos, foi identificada a necessidade de realizar um projeto inovador na área de expedição por meio da implementação do sistema RFID. O sistema foi aplicado nas fases de separação, pré-embarque, conferência, faturamento e envio dos produtos, com o objetivo de reduzir o tempo dessas etapas, que eram realizadas manualmente por um operador utilizando código de barras.

Os autores destacaram os ganhos em qualidade e agilidade resultantes da implantação da tecnologia, que incluíram: maior produtividade, redução de falhas humanas e maior confiabilidade para com os clientes. Foi ressaltada a melhoria na produtividade, que reduziu o tempo total do processo em nove vezes. Anteriormente, o processo era realizado em 2 horas, enquanto agora, com o uso do RFID, demanda apenas 20 minutos. A figura 5 apresenta os resultados da otimização do processo.

Figura 5 - Comparação antes e após implementação RFID na empresa.

	Antes da implantação do RFID	**Depois da implantação do RFID**
Tempo de Separação	5 minutos	5 minutos
Tempo de Pré-Embarque	60 minutos	3 minutos
Tempo de Conferência	180 minutos	3 minutos
Tempo de Faturamento	3 minutos	3 minutos
Tempo de Envio	2 minutos	2 minutos

Fonte: Freitas, Silva e Brancão (2019).

Como desafios, os autores destacaram a interferência no sinal lido pela antena RFID, devido ao uso de materiais metálicos na matéria-prima dos produtos. Além disso, ressaltaram a dificuldade no posicionamento das antenas para garantir uma leitura efetiva de todos os produtos fabricados, abrangendo todas as etapas do processo.

A seguir, são expostos os princípios dos indicadores logísticos. O objetivo é conduzir o acompanhamento dos processos e atividades, além de obter os resultados provenientes da implementação da tecnologia RFID na empresa XYZ, que foi objeto do estudo de caso apresentado neste trabalho.

2.5 INDICADORES LOGISTICOS

As métricas utilizadas pela empresa como indicadores de desempenho são essenciais. Sem uma medida adequada, as empresas não identificam com precisão os aspectos que possuem

um funcionamento eficaz e os que estão falhando. Nesse contexto, há a possibilidade de os gestores desenvolverem estratégias equivocadas e tomarem decisões inadequadas, visto que não possuem informações disponíveis. Consequentemente, isso resulta em prejuízos nos resultados comerciais a curto, médio e longo prazo, acarretando impactos financeiros negativos na empresa (GORNI NETO, 2022),

Devido à intensa concorrência no mercado, as organizações buscam adotar práticas que agreguem valor à logística empresarial, promovendo eficiência organizacional. Segundo os estudos de Gunasekaran e Kobu (2007), indicadores de desempenho são cruciais na administração das operações logísticas, enquanto Bowersox e Closs (2009) enfatizam que empresas comprometidas com uma avaliação de desempenho abrangente conseguem melhorar sua produtividade geral. As estratégias táticas atuam como diretrizes para as empresas elaborarem e aplicarem recursos essenciais, com o propósito de atingir os objetivos desejados em um contexto dinâmico e extremamente competitivo.

Um indicador logístico que pode ser utilizado pela empresa é o que utiliza o cálculo relacionado à conferência dos materiais recebidos em estoque, onde se pode calcular a acurácia dos estoques (A_e), medida pela porcentagem de itens corretos, tanto em quantidade quanto em valor (MARTINS; CAMPOS, 2017). A acurácia dos estoques pode ser obtida por:

$$A_e = \frac{N_i}{N_A}, \tag{1}$$

em que:

N_i é o número ou valor de itens corretos;

N_A é o número ou valor total de itens.

Também é crucial examinar a permanência dos veículos nos centros de distribuição como parte do processo de aprimoramento contínuo. Isso se deve ao fato de que quanto mais tempo um veículo fica parado em um processo, menor será sua produtividade. Além disso, o tempo excessivo no pátio pode resultar em custos adicionais, acarretando multas estatais e impactando a cadeia de suprimentos (MACHADO, IGNACIO, 2020).

Considerando que no mês de abril de 2015 entrou em vigor a lei do motorista nº 13.103/2015 que impõe:

> O prazo máximo para carga e descarga do Veículo de Transporte Rodoviário de Cargas será de 5 (cinco) horas, contadas da chegada do veículo ao endereço de destino,

> após o qual será devido ao Transportador Autônomo de Carga - TAC a importância equivalente a R$ 1,38 (um real e trinta e oito centavos) por tonelada/hora ou fração (BRASIL, 2015, Art. 5º, § 5).

Torna-se importante o controle do tempo do veículo para carga e descarga na empresa. Logo, o tempo de permanência para cada veículo é dado por (BALLOU, 2006):

$$T_e = H_s - H_e \quad , \tag{2}$$

em que:

H_s é a hora de saída do veículo;

H_e é a hora de entrada do veículo.

3 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta a implantação da tecnologia RFID na empresa siderúrgica XYZ, onde serão discutidos: i) o contexto logístico; ii) análise do processo e indicadores; iii) implementação do projeto por meio de *tags* de RFID nas etiquetas para identificar os materiais, *tags* nas baias de estocagem para identificar posicionamento de estoque e carregamento, antenas para a leitura das *tags* e o desenvolvimento de *software* para integrar as automações com os sistemas computacionais da empresa.

3.1 CONTEXTO LOGÍSTICO

Os produtos siderúrgicos são identificados por códigos que indicam a composição química do seu material e cada unidade do produto é representada por um número de lote de produção que registra o peso exato da peça. Essas informações são impressas nas etiquetas e inseridas nos materiais. Na Figura 6 pode-se ver um exemplo da etiqueta utilizada.

Figura 6 - Modelo etiqueta 2018 com modificações para preservar a identidade da empresa.

Fonte: Adaptada pela autora (2023).

Uma vez etiquetados, os produtos acabados são encaminhados para a área de estocagem para serem expedidos conforme os carregamentos das vendas realizadas. As vendas são estruturadas por meio de ordens que especificam o material, quantidade e data solicitada pelo

cliente. Dessa forma, são gerados fornecimentos por cliente que compõem um transporte. Em seguida, os transportes são agendados de acordo com a disponibilidade diária de carregamento da empresa.

Para dar início ao processo de carregamento, o operador identifica no estoque o material destinado a cada fornecimento dentro daquele transporte, retirando-o e colocando-o no veículo agendado. Após a coleta e carregamento de todos os lotes dos fornecimentos, o carregamento é finalizado.

No estudo de caso, são analisados três contextos distintos, conforme apresentado na seção anterior. O contexto 1 refere-se ao ano de 2018, anterior à implantação da tecnologia RFID na expedição dos produtos. O contexto 2 engloba os anos de 2019 a 2022, período de implementação do projeto. Por fim, o contexto 3 diz respeito ao ano de 2023, após a efetiva implantação da tecnologia RFID no processo logístico da empresa, desde o recebimento da produção até a estocagem e expedição dos Produtos Acabados.

3.2 ANÁLISE DO PROCESSO E INDICADORES

No contexto 1, com a finalidade de expedir os produtos, a área da logística da empresa estudada recebe da área de produção o PA, juntamente com os dados daquela produção, por meio do sistema de *Manufacturing Execution Systems* (MES). Em seguida, o material é levado com auxílio de empilhadeiras para a área de estocagem. Observe que, no contexto analisado não há qualquer conferência do recebimento da produção.

A área de estocagem possui cerca de, aproximadamente, 300m de comprimento e 150m de largura e os PA são estocados ocupando posições aleatórias no pátio. Na Figura 7 pode-se ver a dimensão do pátio de estocagem com os PA aguardando para a expedição.

Figura 7 - Área de armazenagem, estocagem e expedição dos PA.
Fonte: Google Earth (2023).

Para acompanhar o desempenho do setor em relação ao carregamento e ao estoque, a empresa utiliza como indicadores o tempo médio de permanência dos veículos dentro da sua planta (T_p) e o percentual de acuracidade do estoque (A_p). O T_p é obtido por meio do sistema de "Fluxo de Gestão Interno de Veículos", que calcula o tempo médio de disponibilidade total de todos os transportes no mês, dado por:

$$T_p = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} \left(t_f(j) - t_i(j) \right), \tag{3}$$

em que:

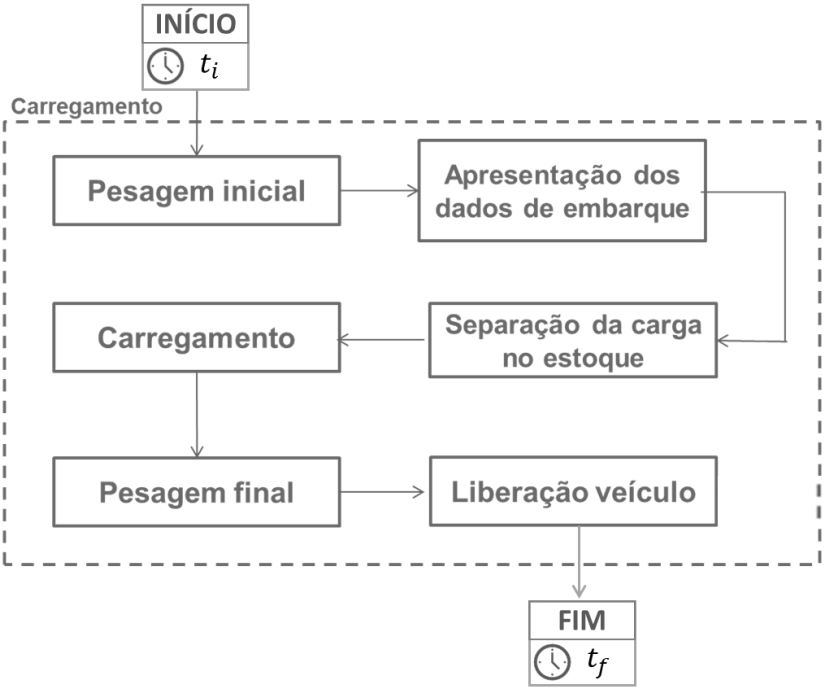
N - quantidade total de veículos no mês;

t_i - instante de tempo em que *j*-ésimo veículo entrou da usina;

t_f – instante de tempo em que *j*-ésimo veículo saiu da usina.

A Figura 8 representa o fluxograma do processo envolvendo as atividades de expedição dos PA dentro da empresa. Observe que no cálculo do T_p são considerados todos os *leads time* das atividades, como o tempo das pesagens e do carregamento.

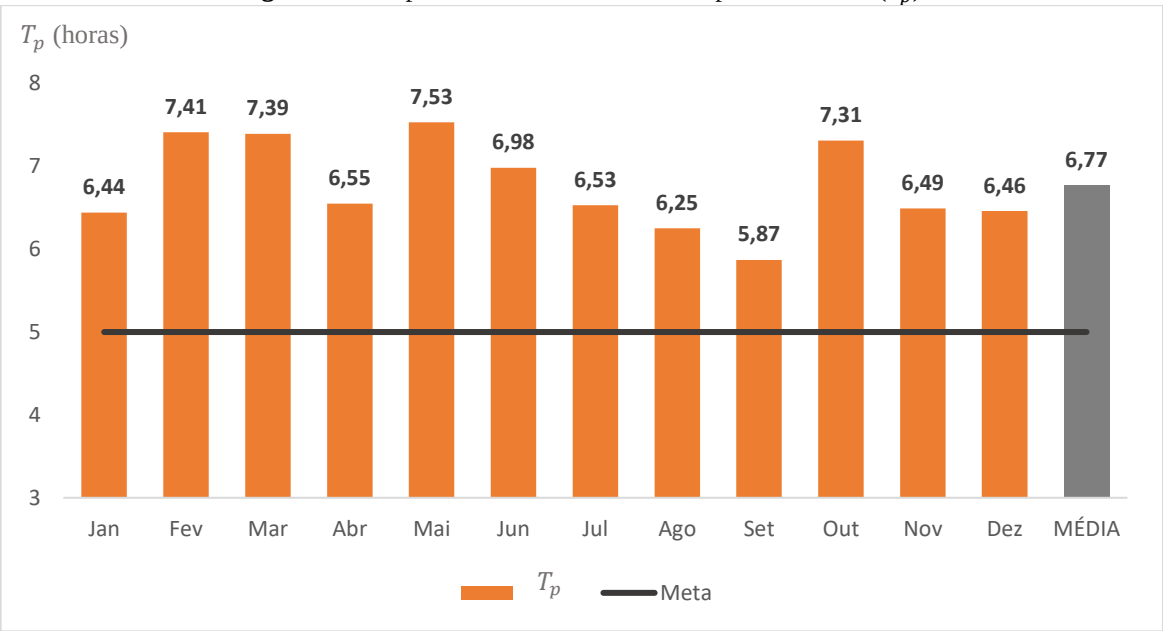
Figura 8 - Fluxograma do processo do veículo dentro da empresa.



Fonte: Adaptado pela autora (2023).

Na Figura 9 estão indicados os tempos médios de permanência dos veículos no pátio da instalação em cada mês do ano de 2018. Em média, em 2018, o tempo de permanência dos veículos no pátio foi de 6,77 horas. Observe que este valor está acima do limite de tempo estabelecido pela Lei 13.103/2015 discutida na seção 2.5 que é de 5 horas e é delimitado pela linha preta.

Figura 9 - Tempo médio dos veículos na empresa em 2018 (T_p).



Fonte: Adaptado pela autora (2023).

Por outro lado, o indicador A_p representa o percentual de assertividade dos produtos fisicamente estocados, ou seja, os produtos constam no estoque no registro computacional e estão efetivamente armazenados. O indicador A_p foi baseado no conceito da Equação 1 (A_e), entretanto, para a porcentagem manter-se positiva a equação foi manipulada. Logo, o A_p é dado por:

$$A_p = \begin{cases} 1 - \frac{Q_l}{Q_f}, & \text{se } Q_f \geq Q_l \\ 1 - \frac{Q_f}{Q_l}, & \text{caso contrário} \end{cases}, \tag{4}$$

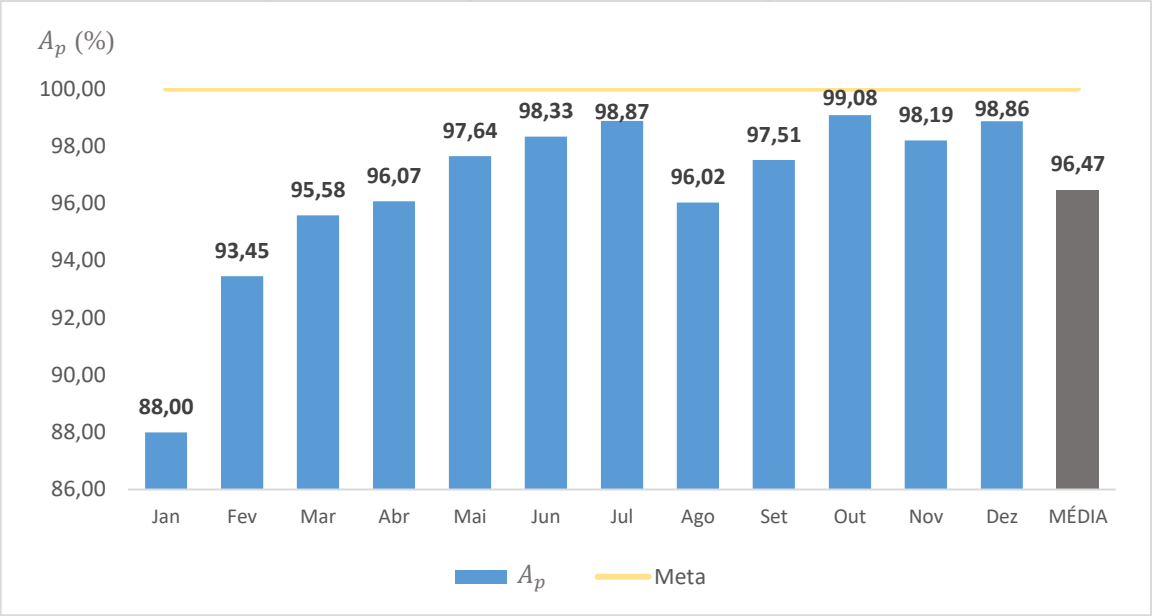
em que:

Q_l - quantidade de PA cadastrados no sistema;

Q_f - quantidade de PA fisicamente estocados no pátio.

Na Figura 10 estão representados os percentuais de acuracidade do estoque em cada mês do ano de 2018, visto que no cenário 1, o acompanhamento é feito mensalmente e o cenário ideal é de 100% de acuracidade. A média anual de acuracidade do estoque no cenário avaliado é de 96,47%.

Figura 10 - Porcentagem de acuracidade do estoque 2018 (A_p).



Fonte: Adaptado pela autora (2023).

A partir do conhecimento dos valores dos indicadores apresentados T_p e A_p, a direção da empresa viu oportunidades de melhoria no processo de expedição dos PA, reduzindo o acúmulo de caminhões na expedição, aumentando a confiabilidade dos registros e a produtividade dos pontos de carregamento, por conseguinte, aumentando a competitividade no mercado. Dessa maneira, a gerência, com o objetivo de estratificar os problemas, realizou a análise do procedimento de carregamento e expedição dos produtos na empresa siderúrgica. O processo de carregamento e expedição de PA consiste nas seguintes etapas:

1. O operador recebe os dados do embarque, com as informações dos materiais que devem ser transportados;
2. Em seguida, ele procura e separa os lotes do material específico, posicionando-os próximo ao transporte, com auxílio da empilhadeira;
3. O operador desce do equipamento para realizar a leitura individual das peças e por meio do coletor de código de barras, são lidos e enviados aos sistemas de informação e gestão empresarial, como ERP (Planejamento de Recursos Empresariais);

4. Por fim, após o sistema faturar todos os lotes via coletor de código de barras, o operador vai até o equipamento novamente, e realiza a movimentação do material para dentro do veículo.

A estratificação realizada apontou diversos problemas no processo, cujo principais foram:

I. Baias de estocagem divididas sem padrão, sem organização de materiais e endereçamento do estoque. Então, consequentemente, ocasiona maior dificuldade para os operadores identificarem os materiais para carregamento.
II. Cerca de 20% do tempo de carregamento é destinado para procurar e separar os lotes.
III. Baixa aderência do controle de estoque, visto que no contexto 1 da empresa, não há processos que verificavam e validavam automaticamente os produtos que entram para a área de expedição e para onde eram destinados à estocagem.

Em vista disto, como plano de ação para solucionar os problemas identificados, a empresa buscou implementar um sistema de rastreabilidade do seu produto. Por meio de uma decisão gerencial, foi definido o projeto para utilização da tecnologia RFID na etiqueta do material, possibilitando a identificação dos seus produtos durante o processo de estocagem e de carregamento, buscando obter uma maior agilidade nas operações, aumento da acuracidade dos estoques e redução no tempo de carregamento.

3.3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO RFID

O desenvolvimento do projeto RFID na área de expedição marca o início do contexto 2. Com o objetivo de compreender o contexto mundial em que a empresa estava inserida e suas oportunidades, foram realizadas pesquisas de *benchmarking* para identificar o que havia de implantação da tecnologia RFID para controle de estoque e embarque de produtos siderúrgicos. Entretanto, até o ano 2018, não foram encontrados estudos científicos e divulgações relacionados ao desenvolvimento e implantação da solução de rastreabilidade de produtos siderúrgicos por RFID.

Com isso, a empresa iniciou a primeira fase do projeto, em que foi elaborado o escopo, a contratação da empresa fornecedora da tecnologia, a compra dos equipamentos necessários para a implantação e a equipe responsável pelo desenvolvimento.

3.3.1 Identificação dos produtos acabados

Como processo de identificação, a empresa possuía etiquetas com código de barras contendo informações como o tipo de material, seu peso e o lote destinado, conforme a Figura C. Então, foi necessário a identificação de novos fornecedores de etiquetas que trabalhavam com a tecnologia RFID de Ultra frequência, levando em consideração a inserção da t*ag*, do tipo passiva, na parte traseira da etiqueta, como apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Exemplo de *tag* que é inserido na etiqueta.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Além das especificações que o material estará exposto, visto que o produto é submetido à variação de tempo, poeira e a temperaturas (entre 120ºC e 300ºC), foram levantadas características para serem analisadas em testes e pesquisas, que levam em consideração a qualidade e preço do material da etiqueta, tinta e *tag*, conforme o Quadro 1:

Quadro 1 - Variáveis avaliadas nos testes de etiquetas.

Variáveis avaliadas
Deformação (temperatura)
Impressão
Leitura RFID
Leitura Código de Barras
Resistência do papel
Proteção da *tag*
Coloração da etiqueta
Custo

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Para realização do teste, foram mapeados quatro fornecedores distintos, que neste trabalho serão identificados como Azul, Amarelo, Cinza e Vermelho.

Dessa maneira, após a definição dos requisitos e exigências, foi estruturada uma tabela, que atribui via escala de *Likert* valores às variáveis avaliadas para definir o fornecedor mais adequado. Logo, foram apresentados graus de respostas, por meio de valores entre 1 e 5. O extremo de total desacordo é representado por 1, apresentando comportamento negativo no teste de comparação, enquanto o 5 é o outro extremo, em que obteve-se resultado satisfatório. O resultado da avaliação dos fornecedores pode ser visualizado no Quadro 06.

Quadro 2 - Definição de fornecedores para novo Modelo de Etiquetas.

Variáveis	Fornecedores			
	Azul	Amarelo	Cinza	Vermelho
Deformação (temperatura)	3	1	2	2
Impressão	1	2	3	2
Leitura *tag*	3	3	3	3
Leitura Código de Barras	3	1	3	3
Resistência do papel	3	1	2	3
Proteção do *tag*	3	1	3	3
Coloração da etiqueta	3	1	3	3
Custo	1	5	4	3
TOTAL	20	15	23	22

Fonte: adaptado pela autora (2023).

Pode-se observar na Quadro 2 que o fornecedor melhor avaliado foi o Cinza com o total de 23 pontos. A etiqueta fabricada pelo fornecedor Cinza está ilustrada na Figura 12.

Figura 12 - Modelo etiqueta com *tag* RFID, com modificações para preservar a identidade da empresa.

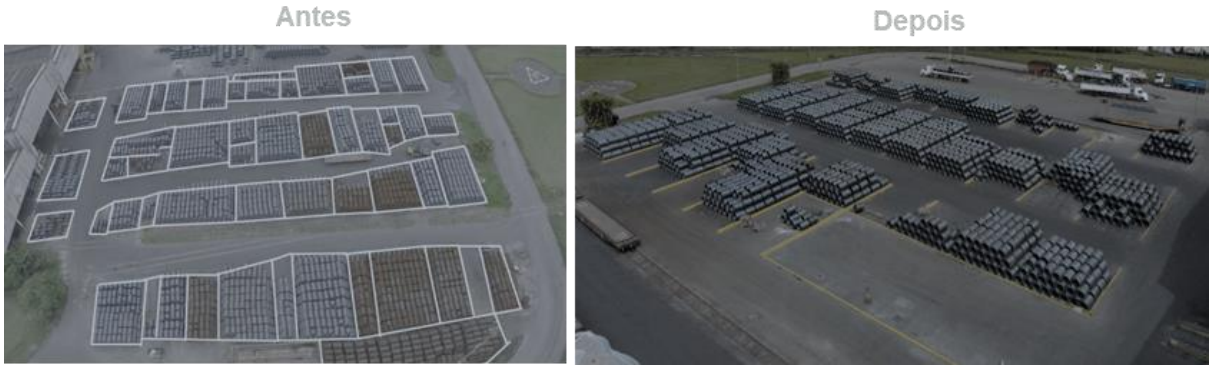
Fonte: Adaptada pela autora (2023).

3.3.2 Identificação do estoque

Na análise realizada no projeto, identificou-se que além da rastreabilidade do produto, a organização do estoque é essencial para facilitar a identificação dos materiais na etapa de carregamento. O método utilizado pela empresa para a armazenagem dos produtos é o armazenamento aleatório, em que não há local determinado para cada tipo específico de material, então, as baias disponíveis eram preenchidas conforme a demanda. Portanto, para um gerenciamento do estoque efetivo, a empresa realizou mudanças físicas na área de estoque, construindo um novo *layout*.

O novo modelo do espaço físico para o estoque de PA foi desenvolvido com o objetivo de dividir a área em dimensões padronizadas conforme o tipo de material. A política utilizada para o armazenamento permanece como aleatória, devido à flexibilidade e a otimização do espaço. Pode-se ver na Figura 13 duas imagens, a imagem à esquerda representa o estoque no contexto 1, com as baias despadronizadas e os materiais misturados. Enquanto a figura à direita representa o estoque no contexto 2, após a implantação do novo *layout*, em que foi realizada a padronização do tamanho das baias de estocagem e a identificação por tipo de material.

Figura 13 - Área de estocagem antiga e novo *layout*.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Com o estoque organizado, a empresa responsável pela implantação da tecnologia RFID mapeou todas as baias do estoque e inseriu *tags*, identificando o ponto inicial e final de cada localização de estoque e carregamento na área. Sendo que, a *tag* posicionada à frente, representa a posição do ponto de carregamento, enquanto a *tag* lateral corresponde à posição de estocagem. Conforme pode ser observado na Figura 14:

Figura 14 - *Tags* de posicionamento nas baias.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

3.3.3 Leitura das etiquetas de identificação

A lógica desenvolvida pela equipe do projeto contempla a necessidade de leitura das *tags* da etiqueta para identificar o material que está sendo transportado, e a *tag* de posicionamento, que identifica o local em que o PA está saindo e em qual posição está entrando. Em vista disso, foram instaladas quatro antenas em cada empilhadeira, que é o equipamento que transporta o PA tanto para estocagem quanto para o carregamento. Dessa forma, conforme a Figura 15, as duas antenas dianteiras, número 1 e 2 possuem a função de

leitura da *tag* da etiqueta, ou seja, do material que está sendo carregado. As duas antenas laterais, número 3 e 4, realizam a leitura das *tags* das baias, para identificar o ponto de carregamento e o de estocagem, conforme apresentado na figura 15.

Figura 15 - Visão frontal do protótipo de instalação das antenas de leitura RFID nas empilhadeiras.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Em relação à identificação dos PA que saem da linha de produção e chegam fisicamente ao estoque, a equipe do projeto instalou duas antenas na saída da produção, sendo uma de cada lado da linha, com o propósito de realizar a leitura das *tags* das etiquetas de todos os produtos que entram em estoque, em tempo real e de forma automática. Devido ao ambiente de instalação ser localizado em área produtiva, não há evidência fotográfica.

3.3.4 *Middleware* de interface para efetividade do processo

Para integrar as funcionalidades dos equipamentos, como antenas e *tags*, com as operações da empresa, foi necessário desenvolver um *middleware*. Essa atividade foi essencial para a aplicação assertiva da tecnologia RFID no processo siderúrgico, considerando as diversas especificações dentro dos procedimentos realizados para a automação.

Foram identificadas melhorias à medida que o projeto estava em teste operacional. Diante disso, o desenvolvimento do *software* de interface foi dividido em duas fases. A primeira fase contempla a lógica inicial elaborada pela equipe, na qual o programa realiza a comunicação da operação física do processo com o envio e recebimento direto de dados do sistema de gestão de informações da empresa. Ou seja, o envio computacional da leitura das *tags* por meio das

antenas instaladas nas empilhadeiras, simultaneamente ao recebimento das informações do sistema do respectivo produto.

Entretanto, ao realizar o carregamento com as empilhadeiras, de acordo com a frequência programada para leituras, as antenas faziam a leitura de inúmeras peças nas baias. Isso ocorria porque não havia uma forma de selecionar o envio apenas das *tags* que estavam nas peças transportadas. Portanto, a primeira fase apresenta grande discrepância entre os lotes efetivamente carregados e os lotes lidos pelo sistema.

Dessa forma, foi necessário reavaliar o *middleware* e incorporar automações ao projeto, o que deu início à segunda fase do desenvolvimento. Nesse sentido, a equipe ampliou as conexões realizadas pelo programa, incluindo tecnologias que avaliam características no processo para obter precisão na leitura das peças. Por exemplo, foram utilizados aparelhos que avaliam o peso, a altura e estabelecem comunicação com o operador (por meio de *tablets*, servidores e computação em nuvem).

No que diz respeito à saída da produção, as peças passam individualmente em fila, sem qualquer interferência de leituras no ambiente. Com isso, o *software* desenvolvido na primeira fase pela empresa foi eficaz. Em vista disso, no ano de 2020, a efetividade da leitura apresentou uma média mensal acima de 98%, e as peças não lidas foram identificadas fisicamente no dia seguinte pela equipe de inventário, confirmando 100% do estoque.

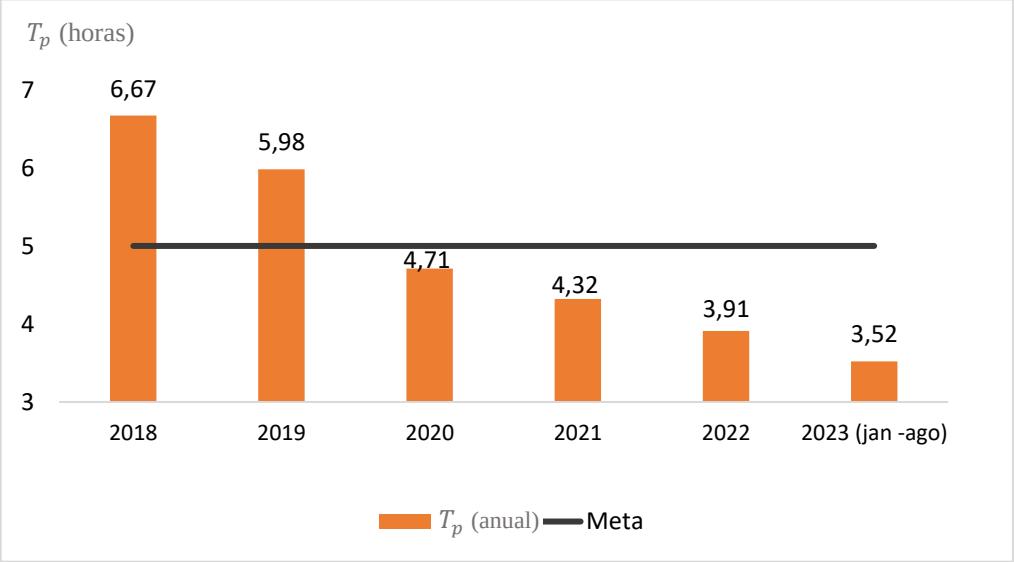
4 RESULTADOS

4.1 RESULTADOS ALCANÇADOS

A análise dos resultados do projeto foi realizada por meio dos dados coletados ao longo dos três cenários. Dessa maneira, para realizar a comparação e discussão dos indicadores são considerados os valores anuais, ou seja, a média dos meses de cada ano.

Como pode ser observado na Figura 16, o indicador de tempo médio de permanência dos veículos dentro da planta da empresa (T_p) apresentou uma melhora à medida que o projeto foi sendo implementado, o valor diminui, sendo que os registros mais recentes, em 2023, apresentam o menor valor, de 3,52 horas.

Figura 16 - Tempo médio dos veículos na empresa de 2018 a agosto de 2023 (T_p).



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Observe que, há uma redução de cerca de 52,77% entre o indicador T_p calculado de 2018 a 2023, justificado devido à modificação no processo de expedição de PA no contexto 3, que consiste nas etapas:

1. O operador recebe os dados do embarque, com as informações dos materiais que devem ser transportados.
2. As informações são apresentadas em um *tablet* que indica a baia de estocagem que o material está localizado.

3. Em seguida, o operador dirige-se com a empilhadeira até o material e realiza o carregamento diretamente para o transporte. Visto que as antenas posicionadas na empilhadeira realizam as leituras das etiquetas dos PA e, conjuntamente com a automação do projeto, identificam o início e fim do carregamento, enviando as informações do faturamento diretamente para o sistema de informação e gestão empresarial ERP.

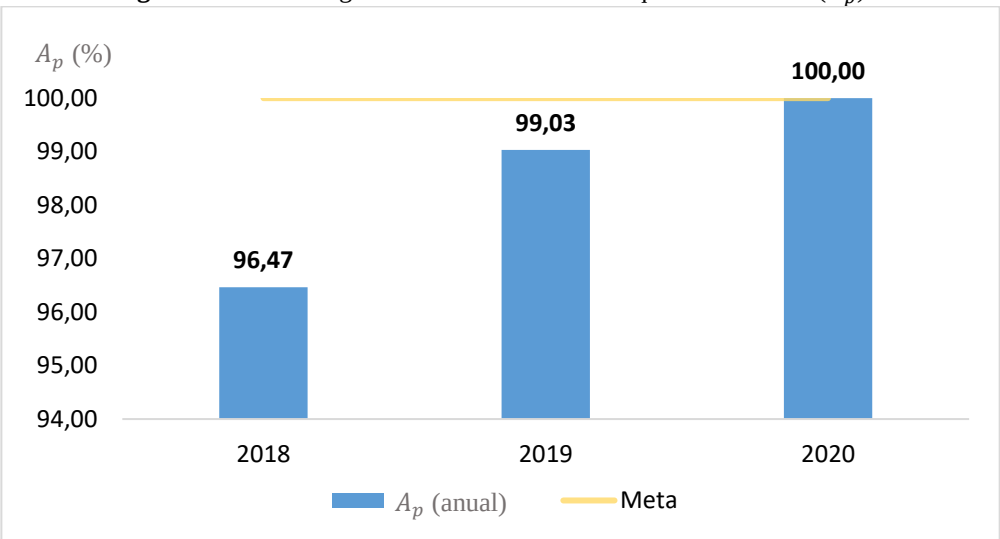
Logo, a redução no tempo de carregamento ocorre devido às principais mudanças implementadas no projeto;

I. Nova organização e padronização das baias;
II. Fornecimento das informações aos operadores logísticos da localização de estocagem dos PA;
III. Leitura das etiquetas e faturamento dos PA durante o carregamento, sem a necessidade de o operador descer da empilhadeira e realizar leitura individual de cada peça.

Consequentemente, com a redução do tempo médio dos veículos dentro da empresa, a partir do ano 2020, adequou-se à lei do motorista nº 13.103/2015 (prazo máximo para carga e descarga do Veículo de Transporte Rodoviário de Cargas e de 5 (cinco) horas.

Quanto o resultado do percentual de acuracidade do estoque (A_p), pode ser observado na Figura 17, o valor referente a 2018 de 98,01% e em 2020 de 100%. O aumento do percentual é justificado devido a implementação da leitura das *tags* das etiquetas dos PA na saída da produção em 2019. Logo, a partir de 2020 o indicador calculado apresentou o percentual de 100% de acuracidade, em que todos os PA são identificados fisicamente e cadastrados no sistema computacional.

Figura 17 - Porcentagem de acuracidade do estoque 2018 a 2020 (A_p).



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A gerência retirou o acompanhamento do A_p como indicador do Sistema de Gestão da empresa, devido à estabilidade do percentual, que se mantém em 100% até o cenário 3.

É importante ressaltar que, devido ao aumento da produtividade no carregamento e no inventário, além da acuracidade do estoque, o retorno referente ao valor inicial investido no projeto foi obtido a partir de 2021. Dessa maneira, os ganhos financeiros com a tecnologia RFID sobressaem os custos, tanto inicial quanto os de manutenção.

4.2 LIÇÕES APRENDIDAS

Como analisado anteriormente, o projeto cumpriu com o objetivo proposto de melhoria nos indicadores T_p e A_p. Entretanto, a empresa encontrou desafios para o funcionamento da tecnologia RFID, com isso, foram identificadas lições aprendidas no contexto 3, que são principalmente ligadas ao domínio tecnológico e aos custos. As principais lições aprendidas são:

1. Falta de domínio da tecnologia

O sistema RFID possui diversas tecnologias integradas e automatizadas, conforme apresentadas na seção 3.3. Logo, para a efetividade no projeto, foi necessário a realização de diversos testes e aplicações operacionais das tecnologias no contexto 2, para compreender a solução e aplicá-la ao cenário da empresa. Com isso, houve o envolvimento de todas as equipes das áreas participantes, como a empresa provedora da tecnologia, equipe de tecnologia e informação, de sistemas, os operadores logísticos, equipe de manutenção e as lideranças.

Dessa maneira, foi fundamental o aprendizado durante a implantação por meio das experiências, as identificações de erros e as correções realizadas ao longo dos anos para que no contexto 3 a organização pudesse obter um cenário com maior maturidade, e consequentemente, assertividade nos processos.

2. Interferência metálica na leitura RFID

Como apresentado na literatura, o metal gera interferência no sinal de radiofrequência. Como a aplicação do projeto é em produtos metálicos, logo, a interferência ocasiona erros frequentes na leitura dos PA movimentados e embarcados. Com a experiência adquirida no processo foram mapeadas alternativas que mitigam essa interferência, como por exemplo, o posicionamento adequado das etiquetas para a *tag* ficar fora do material.

3. Alto custo de implantação, manutenção e acompanhamento a longo prazo

O projeto contempla diversos equipamentos tecnológicos que possuem custos elevados para a aquisição e para a implantação. Além disso, para a utilização efetiva é necessário ter acompanhamento diário devido aos erros, manutenção dos equipamentos, situações adversas e identificação de melhorias no processo. Logo, são necessários investimentos anuais para assegurar a utilização efetiva da tecnologia no processo de expedição e carregamento.

4. Integração dos sistemas e equipes

O projeto envolve os processos de estoque, armazenamento e carregamento, logo, há sistemas de gestão de informações integrados que são associados ao *software* da tecnologia. Para que as informações sejam atualizadas em tempo real e de forma efetiva é necessário um trabalho em conjunto com as equipes de tecnologia da informação e a equipe da operação. Entretanto, as equipes possuem como ponto de contato apenas meios virtuais, enquanto no projeto é imprescindível comunicação rápida e eficiente para a resolução dos problemas, pois os processos interferem diretamente no faturamento da empresa.

5 CONCLUSÕES

O trabalho aborda conceitos relacionados à gestão de estoque, como estoque de produtos acabados, conferência de estoque, endereçamento de estoque, rastreabilidade de materiais e tecnologia RFID. O texto explora as vantagens e desvantagens da utilização da tecnologia RFID, além de apresentar dois estudos de caso de organizações que implementaram com sucesso essa tecnologia. Também são discutidos conceitos de indicadores logísticos como parte fundamental da gestão eficiente de estoques.

No estudo de caso com a aplicação prática da tecnologia RFID na siderurgia XYZ, são detalhados o contexto logístico da empresa, uma análise aprofundada do processo e dos indicadores relevantes. A implementação do projeto é descrita, incluindo o uso de *tags* RFID nas etiquetas dos produtos acabados para identificação de materiais, *tags* nas baias de estocagem para rastreamento de posicionamento e carregamento, antenas para leitura das *tags* e o desenvolvimento de *software* para integração com os sistemas computacionais da empresa. Também foram discutidos os benefícios alcançados e os desafios superados durante o processo de implementação e uso da tecnologia RFID na empresa objeto do estudo.

Com base no estudo desenvolvido, é possível concluir que as rastreabilidades dos produtos, juntamente com a conferência e o endereçamento do estoque, contribuem com vantagens para a organização, proporcionando ganhos de produtividade e precisão no controle de estoque. Implementar um projeto com esse enfoque representa um avanço tecnológico na indústria, atualizando seus processos e conquistando uma vantagem competitiva.

A decisão da empresa, objeto do estudo de caso, ao implementar um projeto utilizando a tecnologia RFID nas etiquetas de produtos acabados, introduziu na organização características de automação e comunicação entre os equipamentos tecnológicos, sistema de gestão de informações e pessoas. Entretanto, é essencial que as organizações que recebem o produto acabado com a tecnologia RFID também a utilizem e implementem em seus processos a leitura da *tag*, com o objetivo de gerar maior valor para a solução por meio do gerenciamento de informações na cadeia e contribuindo para a transição da empresa para a Indústria 4.0.

Apesar da tecnologia RFID ser amplamente difundida em diversas áreas para rastreabilidade de produtos nas organizações, desenvolver o projeto no setor siderúrgico representou um desafio para a empresa, já que não havia evidências de aplicação em outras siderúrgicas desse setor. Isso pode ser atribuído à característica desfavorável da tecnologia de reflexão dos sinais em materiais metálicos, comum em ambientes industriais siderúrgicos conhecidos por suas condições adversas, como altas temperaturas, presença de metais e poeira

metálica. Esses fatores podem afetar o desempenho dos dispositivos RFID, conforme abordado na teoria e observado na prática no estudo de caso. Portanto, destaca-se o esforço realizado pela empresa para viabilizar o projeto por meio de investimentos em recursos humanos, materiais (seleção de produtos robustos o suficiente para suportar essas condições) e financeiros. Embora a literatura mencione o alto custo de investimento para a implementação do sistema RFID, o estudo de caso também apontou um alto custo na manutenção do seu uso.

Outro desafio foi a integração da tecnologia RFID com os sistemas existentes de gestão de estoque e produção da siderurgia. A integração eficiente das informações é fundamental para garantir a transmissão e a coleta de dados sem falhas. Portanto, desenvolver um sistema de *software* junto aos equipamentos de automação para incorporar o RFID demanda esforços contínuos em manutenção e acompanhamento.

É crucial que a empresa escolha a tecnologia com base nos objetivos de negócio e em estudos especializados que validem a eficácia da solução escolhida. Entre as tecnologias consideradas no trabalho, o Código de Barras e o QR Code não atendem ao propósito do projeto, principalmente por necessitarem de linha de visão para a leitura do código e não permitirem múltiplas leituras simultâneas, ao contrário da tecnologia RFID.

Quanto às dificuldades encontradas durante a pesquisa, é importante ressaltar a limitação de material bibliográfico sobre a tecnologia RFID no contexto siderúrgico. A escassez de estudos pode ser atribuída à novidade da aplicação de RFID nesse setor ou à falta de divulgação e documentação das experiências das siderúrgicas que implementaram essa tecnologia, possivelmente devido à vantagem competitiva.

REFERÊNCIAS

BALLOU, Ronald. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos:** planejamento, organização e logística empresarial. Bookman, 2001.

BANZATO, Eduardo. **Tecnologia da informação aplicada à logística**. São Paulo: IMAM, 2017.

BOWERSOX, Donald; CLOSS, David. **Logística empresarial:** o processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2009.

CHIAVENATO, Idalberto. **Administração de Materiais:** uma abordagem introdutória. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

CHOW, Harry et al. Design of a RFID case-based resource management system for warehouse operations. **Expert systems with applications**, v. 30, n. 4, p. 561-576, 2006.

COLMAN, Cristina Beatriz. **Utilização do aplicativo QR CODE no ensino de ciências**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro de Estudos Interdisciplinares em Novas Tecnologias da Educação, 2019. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/197080. Acesso em: 29 out. 2023.

DENUWARA, Navodya; MAIJALA, Juha; HAKOVIRTA, Marko. Sustainability benefits of RFID technology in the apparel industry. **Sustainability**, v. 11, n. 22, p. 6477, 2019.

DIAS, Eduardo Marques. **Código de barras**. Universidade Católica de Brasília. Departamento de Matemática. Brasília, 2009.

DOMINGOS, Bianca Siqueira Martins et al. Análise comparativa do sistema de coletas programadas Milk Run em uma indústria de máquinas e equipamentos. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO – ENEGEP**, 32., 2012, Bento Gonçalves, Anais. ABEPRO, 2012.

DUARTE, Jorge. **Métodos e técnicas de pesquisa em comunicação**. Atlas, 2005.

FARAHZADI, Amirhossein et al. Middleware technologies for cloud of things: a survey. **Digital Communications and Networks**, v. 4, n. 3, p. 176-188, 2018.

FEINBIER, Loïc; SCHITTKO, Lars; GALLAIS, Guillaume. The benefits of RFID for slab- and coil-logistics. **Retrieved November**, v. 16, p. 2009, 2008.

FRANCISCHINI, Paulino; GURGEL, Floriano. A**dministração de Materiais e do Patrimônio.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

FREITAS, Ariane Cristina de.; SILVA, Renata Regina; BRANCÃO, Alessandro Lameiro. Estudo de caso da implementação do RFID no controle de estoque e expedição em uma

indústria na cidade de Jaú. **X FATECLOG Logística 4.0 & A Sociedade do Conhecimento Fatec Guarulhos** –2019 Disponível em: <https://fateclog.com.br/anais/2019/ESTUDO.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2022.

FREITAS, Matheus Menna Barreto Cardoso; FRAGA, Manoela Adriana; SOUZA, Gilson PL. Logística 4.0: conceitos e aplicabilidade: uma pesquisa-ação em uma empresa de tecnologia para o mercado automobilístico. **Caderno PAIC**, v. 17, n. 1, p. 237-261, 2016.

FURTADO, Gustavo Adolfo Pudenci. **Critérios de seleção de fornecedores para relacionamentos de parceria:** um estudo em empresas de grande porte. São Paulo, 2005.

FUSCO, José Paulo Alves. **Tópicos emergentes em engenharia de produção**. Arte & Ciência, 2002.

GUNASEKARAN, Angappa; KOBU, Bulent. Performance measures and metrics in logistics and supply chain management: a review of recent literature (1995–2004) for research and applications. **International journal of production research**, v. 45, n. 12, p. 2819-2840, 2007.

INTEROPERABILITY, I. Guest editorial semantic technologies in automation systems. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 13, n. 6, p. 3335, 2017.

JACINTO, Juliano et al. **Logística**: o endereçamento como ferramenta fundamental na armazenagem e estocagem. Faculdade de Tecnologia de Santa Catarina. Brusque, 2011.

KACH, Andrew; BORZABAD, Alireza Fereydouni. Use of RFID Technology to Overcome Inefficiencies in the Supply Chain: An Analysis of Renault's Operations in Iran. **International Journal of Management**, v. 28, n. 4, p. 365-378, 2011.

KHARIF, Olga. RFID's second wave. **Business Week**, 2005. Disponível em: http:llwww.businessweek.com. Acesso em: 09 out. 2022.

KUMMER, Mauro José. **Gestão de estoques.** Curitiba: Instituto Federal do Paraná, 2012.

LEONG, Kin Seong et al. EPC network architecture. In: **Auto-ID labs research workshop**. Zurich, Switzerland, 2004.

LUSTOSA, Leonardo; MESQUITA, Marco; OLIVEIRA, Rodrigo. **Planejamento e controle da produção**. Elsevier Brasil, 2008.

MACHADO, Oswaldo Henrique de Oliveira; IGNÁCIO, Paulo Sérgio de Arruda. **Controle do tempo de permanecia dos veículos no centro de distribuição após a aplicação da lei do motorista**. Faculdade de Engenharia Civil, 2020. Disponível em: https://lalt.fecfau.unicamp.br/index.php/trabalhos/controle-do-tempo-de-permanecia-dos-veiculos-no-centro-de-distribuicao-apos-a-aplicacao-da-lei-do-motorista/. Acesso 11 de nov. de 2023.

MARTINS, Petrônio Garcia; CAMPOS, Paulo Renato. **Administração de materiais e recursos patrimoniais**. Saraiva Educação SA, 2017.

MENDES, Giselly Santos. **Condomínios logísticos e fatores competitivos da logística atual**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2021. Disponível em: https://plataforma.bvirtual.com.br. Acesso em: 29 out. 2023.

MOURA, Cássia. de. **Gestão de Estoques**. 1ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2004.

MOURA, Reinaldo. **Armazenagem e distribuição física**. Instituto IMAM, 1997.

NASSAR, Victor; VIEIRA, Milton Luiz Horn. A aplicação de RFID na logística: um estudo de caso do Sistema de Infraestrutura e Monitoramento de Cargas do Estado de Santa Catarina. **Gestão & Produção**, v. 21, p. 520-531, 2014.

NETO, Fernando Gorni. **Gestão de suprimentos e logística**. Freitas Bastos, 2022.

ODA, Orlando. **Como funciona o RFID**. Disponível em: https://www.afixgraf.com.br/blog/como-funciona-rfid/. Acesso em: 02 dez. 2022.

PIRATELLI, Claudio. **A Engenharia de Produção no Brasil.** COBENGE, 2005. Disponível em: http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/14/artigos/SP-15-25046352818-1117717074687.pdf. Acesso em: 25 de set. 2022.

REI, Antonio Jorge Laranjeira**. RFID Versus Código de Barras da Produção à Grande Distribuição**. Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, 2010.

SANTANA, SANDRA. **RFID-Identificação por Radiofreqüência**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia)–Curso de Gestão de Negócios, Faculdade de Tecnologia da Baixada Santista: Santos, 2005.

SANTINI, Arthur Gambin. **RFID**: conceitos, aplicabilidades e impactos. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

SHANKAR, Udaya. et al. How the internet of things impacts supply chains. **Inbound logistics**, 2015.

SILVA, Anderson Francisco da. **Uso de etiquetas RFID para controle de estoques em** Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2019. Trabalho apresentado no X Congresso de Logística das Faculdades de Tecnologia do Centro Paula Souza - FatecLog Guarulhos, 2019

ŠKILJO, Maja et al. Analysis of passive RFID applicability in a retail store: What can we expect?. **Sensors**, v. 20, n. 7, p. 2038, 2020.

SLACK, Nigel et. al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

STAMBAUGH, Clyde; CARPENTER, Floyd. RFID: Wireless innovations in inventory monitoring and accounting. **Strategic Finance**, v. 91, n. 6, p. 35-41, 2009.

STOCK, James. Development and implementation of reverse logistics programs. In: **Annual Conference Proceedings, Council Of Logistics Management,** 1998.

TABOADA, Carlos. **Gestão de tecnologia e inovação na logística**. IESDE BRASIL SA, 2009.

TORRES MONTOYA, Alexander. **Control de inventario con tecnología RFID para el laboratorio de ingeniería electrónica de la UTB**. 2008. Disponível em: https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0044524.pdf.. Acesso em 11 de nov. de 2023.

USTUNDAG, Alp; TANYAS, Mehmet. The impacts of radio frequency identification (RFID) technology on supply chain costs. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 45, n. 1, p. 29-38, 2009.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia, **Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2002.

WAMBA, Samuel Fosso; CHATFIELD, Akemi Takeoka. A contingency model for creating value from RFID supply chain network projects in logistics and manufacturing environments. **European Journal of Information Systems**, v. 18, p. 615-636, 2009.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso-:** Planejamento e métodos. Bookman editora, 2015.

ANEXO 1 – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 07 de dezembro de 2023.

Amanda Rodrigues Stefanon	201949028
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
ARStefanon	01931489602
ASSINATURA	CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.