

**Implementação de Tecnologia de
Identificação por Radiofrequência
na Empresa *Dinefer, S.A.*
Otimização da Rastreabilidade de Ativos
em Ambiente Industrial**

Hermenegildo Figueiredo Gomes

Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Pedro Miguel de Figueiredo Dinis Oliveira Gaspar
Tutor na Empresa: Engenheiro Francisco Navio

novembro de 2023

Declaração de Integridade

Eu, Hermenegildo Figueiredo Gomes, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M11701 do mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 04/11/2023

Hermenegildo

Agradecimentos

Aqui deixo o meu agradecimento:

Ao Professor Doutor Pedro Dinis Gaspar, pela orientação e incansável disponibilidade em ajudar-me ao longo do estágio curricular realizado, bem como no relatório de estágio elaborado.

Ao meu tutor na empresa “Dinefer – Engenharia e Sistemas Industriais, S.A.”, Engenheiro Francisco Navio, empresa do estágio essa onde fui muito bem recebido e não me esquecerei do período passado no âmbito da experiência profissional.

Ao Engenheiro João Pedro Conceição, administrador da empresa, pela disponibilidade em acolher o estágio curricular a que me propus e por toda a ajuda prestada.

Ao Engenheiro Ferreira Pinto, diretor industrial da empresa, por todo o acompanhamento dos trabalhos e pelas palavras sábias e de motivação para comigo.

Ao Sr. Vítor Pêgo, responsável financeiro e de recursos humanos, por toda a disponibilidade e ajuda prestada.

Aos Engenheiros Luís Moreira, Pedro Pereira, Pedro Oliveira, Matheus Victor, Leonel Duarte, Acácio Silva, João Valente e Nuno Ribeiro, pela ajuda prestada durante o estágio.

À minha família, especialmente aos meus pais e aos meus avós pelo verdadeiro apoio e compreensão durante todo o meu percurso. Um sentido obrigado pelas palavras positivas e pelo carinho. Nada disto seria possível sem eles.

Resumo

Nos últimos anos, a Identificação por Radiofrequência (RFID), que corresponde a uma tecnologia de identificação automática que utiliza ondas eletromagnéticas para transferir dados de uma etiqueta de identificação por radiofrequência fixada a um objeto, tem suscitado um interesse significativo por parte da indústria e do mundo académico, apesar de já existir há muito tempo, muito pelo facto de os componentes desta tecnologia se terem tornado cada vez com dimensões mais pequenas, menos dispendiosos e mais eficazes, o que facilita a sua implementação em muitas aplicações.

Nesta perspetiva, e destacando o setor da produção industrial, os sistemas de rastreabilidade são essenciais para o bom funcionamento de uma organização. No entanto, antes de implementar essa tecnologia, é necessário investigar o mercado existente, ou seja, quais as ferramentas disponíveis para auxiliar na rastreabilidade e registo de informação nos fluxos existentes na empresa, bem como realizar uma análise de custo/benefício sobre os problemas identificados.

No contexto do estágio realizado na empresa “Dinefer, S.A.”, de produção de equipamentos de teste e controlo para a indústria de cablagens, em derivado da capacidade, e intenção, por parte da gestão de topo da empresa, de implementação de um sistema de rastreabilidade suportado por uma tecnologia de identificação e obtenção automática de dados tecnologicamente mais avançada, o foco do estudo do relatório de estágio assenta na proposta de um protótipo base de sistema de rastreabilidade por via da tecnologia de identificação por radiofrequência que permita a qualquer empresa industrial adaptar este tipo de ferramentas e sistemas tecnológicos.

Palavras-chave

Indústria 4.0; Identificação por Radiofrequência (RFID); Rastreabilidade; Otimização; Indústria automóvel.

Abstract

In recent years, Radio Frequency Identification (RFID) has aroused significant interest from industry and academia. This demand lies in the technology's evolution, marked by a reduction in size, cost, and enhanced efficiency, making it increasingly accessible for diverse applications.

This work presents a case study of the implementation of an RFID traceability system in the packaging section of an industrial company that produces test equipment for the automotive wiring industries. The study holds the proposal and execution of a prototype asset tracking system utilizing RFID technology, designed to be adaptable and beneficial for various industrial settings.

The experiments were carried out within the company's shopfloor environment, alongside the existing barcode system, with the primary objective of evaluating and comparing the proposed solution. The test results demonstrate a significant enhancement in production efficiency, with substantial optimization achieved.

The time required for asset identification and tracking was significantly reduced, resulting in an average time of approximately 43.62 seconds. This successful implementation highlights the potential of RFID technology in improving operations, reducing working time, and enhancing traceability within industrial production processes.

Keywords

Industry 4.0; Radio Frequency Identification (RFID); Traceability; Optimization, Automotive Industry.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Nomenclatura	xiii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. O problema em estudo e a sua relevância	2
1.3. Objetivos e contribuição do relatório de estágio	3
1.4. Visão geral e organização do relatório de estágio.....	5
2. Apresentação da Empresa	7
3. Estado da Arte	11
3.1. Introdução	11
3.2. Código de Barras.....	14
3.3. Identificação por Radiofrequência	16
3.3.1. Parâmetros importantes	18
3.3.2. Outros aspetos.....	20
3.4. Análise de Viabilidade e Comparação das Tecnologias	20
3.5. Estudos experimentais.....	22
3.5.1. Rede de soluções com base na Indústria 4.0	22
3.5.2. Aplicação da tecnologia de identificação por radiofrequência em logística de armazém.....	24
3.5.3. Aplicação de identificação por radiofrequência em linha de produção simulada para contexto industrial	26
4. Materiais e Métodos	31
4.1. Materiais	31
4.1.1. Hardware.....	31

4.1.2. Software	39
4.2. Métodos	41
5. Resultados	43
5.1. Introdução	43
5.2. Sistema de identificação por radiofrequência	44
5.3. Nota conclusiva	48
6. Conclusões	49
6.1. Conclusões gerais	49
6.2. Sugestões de trabalhos futuros	50
Referências Bibliográficas	51
Anexos	53

Lista de Figuras

Fig. 1. Logótipo da empresa.	7
Fig. 2. Produtos da Empresa.....	7
Fig. 3. Vista exterior das instalações da empresa.	8
Fig. 4. Organograma geral da empresa (Adaptado de DINEFER, 2023).	8
Fig. 5. Fluxo produtivo simplificado da empresa.	9
Fig. 6. Principais clientes da empresa.	10
Fig. 7. Proposta concetual da rede de soluções com base na Indústria 4.0 e suas tecnologias (Adaptado de Rosa <i>et al.</i> , 2022).	23
Fig. 8. Implementação de RFID em armazém (Adaptado de Popova <i>et al.</i> , 2021).	25
Fig. 9. Demonstração da otimização de uma operação de logística através da integração de RFID (Adaptado de Popova <i>et al.</i> , 2021).	25
Fig. 10. Fábrica de Aprendizagem no caso de estudo (Adaptado de Centea, Singh, & Boer, 2020).	27
Fig. 11. Leitor de RFID <i>Brady FR22</i> (Adaptado de Nordic ID Group, 2023b).	31
Fig. 12. Antena de RFID <i>Brady Rain RFID</i> e correspondentes especificações técnicas (Adaptado de Nordic ID Group, 2023c).	32
Fig. 13. Estrutura de pórtico de leitura RFID com a montagem do leitor e da antena. .	33
Fig. 14. Tipo de etiquetas de RFID usadas para o sistema de rastreabilidade.	34
Fig. 15. Ativos da empresa que foram usados para os testes de RFID.	36
Fig. 16. Ativos com as etiquetas RFID para teste e sua disposição pelas caixas.....	37
Fig. 17. Seção de embalagem e carrinho de transporte usado para os testes.	38
Fig. 18. Interface do <i>software</i> aplicado para o teste do sistema de leitor fixo RFID.	39
Fig. 19. Atuação do <i>software</i> de RFID na identificação de várias etiquetas.	40
Fig. 20. Resultados das experiências de leitura dos ativos de teste por via do protótipo de sistema de RFID com o leitor <i>BRADY FR22</i>	48
Fig. 21. Resultados gerados no <i>software</i> de RFID segundo o procedimento de testes. .	52

Lista de Tabelas

Tabela 1. Diferenças entre as principais tipologias de código de barras (Adaptado de Fortuna & Gaspar, 2022).....	15
Tabela 2. Componentes da tecnologia RFID (Adaptado de Fortuna & Gaspar, 2022)...	17
Tabela 3. Comparação entre a tecnologia RFID e o código de barras (Adaptado de Fortuna & Gaspar, 2022).....	21
Tabela 4. Testes de alcance de leitura ao sistema de RFID (Adaptado de Centea, Singh, & Boer, 2020).....	29
Tabela 5. Procedimentos experimentais às etiquetas de RFID no contexto do ambiente de produção e interferências existentes (Adaptado de Centea, Singh, & Boer, 2020).	30

Nomenclatura

Acrónimos:

<i>AIDC</i>	Identificação Automática e Captura de Dados;
<i>EPC</i>	Código Eletrónico de Produto;
<i>I4.0</i>	Indústria 4.0;
<i>I4.OSN</i>	Rede de Soluções com base na Indústria 4.0;
<i>IoT</i>	<i>Internet of Things</i> ;
<i>RFID</i>	Identificação por Radiofrequência;
<i>RSSI</i>	Indicador de Intensidade do Sinal Recebido;
<i>UBI</i>	Universidade da Beira Interior;
<i>UHF</i>	Frequência Ultra-Elevada.

1. Introdução

Primeiramente, procede-se a uma introdução ao presente trabalho final de mestrado, em formato de relatório de estágio e fundamentado com base numa experiência de estágio curricular levada a cabo em ambiente profissional, no âmbito do ciclo de estudos no curso de 2º Ciclo (Mestrado) em Engenharia e Gestão Industrial, na Universidade da Beira Interior (UBI), e conclusão do mesmo.

Por sua vez, esta seção introdutória encontra-se subdividida em quatro pontos de interesse, nomeadamente um enquadramento geral à temática a ser alvo de estudo e investigação, a identificação do problema a estudar e a sua relevância, os principais objetivos e contribuição do relatório de estágio, e, uma visão geral ao presente trabalho e sua devida organização e estrutura.

1.1. Enquadramento

A indústria automóvel está inserida num dos setores de atividade mais complexo e competitivo em todo o mundo, e a esta estão associados grandes desenvolvimentos tecnológicos em muitos campos científicos, e, em paralelo com essa evolução, uma preocupação cada vez maior em lidar da melhor maneira com a mudança e com os desafios ao longo da cadeia de abastecimento e por parte das empresas e organizações atuais. Devido à sua presença em massa por todo o mundo, esta indústria possui um forte impacto nas atividades económicas, sociais e ambientais dos países nos quais vigora (Chanchaichujit, Balasubramanian & Charmaine, 2020).

Nos últimos anos, o conceito de Indústria 4.0 (I4.0) tem-se tornado cada vez mais popular no mundo empresarial, com este termo a referir-se à Quarta Revolução Industrial, um período de crescente digitalização e automação que está cada vez mais a revolucionar as indústrias transformadoras. Na sua essência, a I4.0 está bastante associada à ligação de sistemas digitais a objetos e equipamentos físicos, originando aquilo a que se atribui a designação de “fábricas inteligentes” (*smart factories*), possibilitando desse modo o aproveitamento dos dados e das tecnologias inovadoras para uma significativa melhoria da eficiência e das operações ao nível das empresas e organizações ao longo das cadeias de abastecimento (Rosa *et al.*, 2022).

Com a ascensão da “*Internet of Things*” (IoT), uma quantidade significativa de dados tem sido gerada, e a capacidade de fazer uso completo das grandes bases de dados é vital para qualquer organização. A par da IoT, surge o conceito de “*Big Data*”, relativamente a essa grande quantidade de dados com que as empresas têm de lidar no contexto da sua atividade (Feng *et al.*, 2020).

No contexto, a automatização desempenha um papel cada vez mais importante nas indústrias transformadoras modernas, a qual fornece um modo cada vez mais viável para uma empresa de produção industrial manter a competitividade de mercado, sendo de destacar que um elemento-chave para a implementação de sistemas automatizados em diversos domínios ao nível da atividade nos chãos de fábrica e armazéns sempre se verificou, de facto, na necessidade de processos de rastreabilidade de produtos e ativos altamente eficientes e capazes de um aumento de produtividade para as empresas, incluindo não só o rastreio físico dos bens no âmbito das fábricas e instalações industriais, mas também o acompanhamento dos seus ciclos de vida e a atualização e gestão dos seus estados (Frankó, Vida & Varga, 2020).

Ainda, diversos avanços tecnológicos têm revelado uma tendência de crescimento acentuado, que se tornou diretamente proporcional à qualidade de vida nas sociedades atuais e numa melhoria de muitas áreas de atividade no contexto empresarial e das indústrias, tornando a digitalização de processos cada vez mais ampla. E, como consequência, o mercado empresarial torna-se cada vez mais competitivo e os clientes cada vez mais exigentes, obrigando as empresas a procurar novas ferramentas e a adotar novas metodologias de trabalho no sentido de melhorar a sua flexibilidade, eficácia e eficiência, garantindo uma melhor resposta às necessidades do mercado (Fortuna & Gaspar, 2022).

1.2. O problema em estudo e a sua relevância

Nas últimas décadas, em consequência de um forte desenvolvimento tecnológico, bem como da necessidade de corresponder às expetativas dos consumidores, tem sido testemunhado um aumento exponencial na quantidade e complexidade associadas aos sistemas elétricos e cablagens dos veículos, influenciando assim a necessidade de corresponder a esses desafios de produtos com maior complexidade e com a integração de novas tecnologias por parte de muitas empresas que atuam no contexto de vários setores ao longo da cadeia de abastecimento relativa à indústria automóvel. Em particular, as empresas cuja atividade se verifica ao nível da conceção e produção de meios e equipamentos de teste e controlo para todos esses sistemas elétricos e cablagens para automóveis incluem-se, por sua vez, no cenário em questão (Rosa *et al.*, 2022).

Avanços recentes em tecnologias da IoT tal como a tecnologia de Identificação por Radiofrequência permitem já sistemas de gestão da produção com rastreabilidade em tempo real, bastante visíveis e eficazes a nível do planeamento, execução e controlo do chão de fábrica em *smart factories*. Contudo, a quantidade de dados a recolher por via de tal tecnologia tem vindo a aumentar bruscamente, resultando em desafios na realização de processos de tomada de decisão analíticos no contexto das indústrias de produção (Feng *et al.*, 2020).

Por sua vez, a determinação de metodologias eficazes para extrair informações valiosas dos dados de produção para o maior auxílio à identificação de problemas e estrangulamentos na produção, por aplicação de tecnologias da I4.0, será um elemento fulcral na tomada de decisões com vista

ao alcance de operações ótimas no contexto. Não obstante, pode suceder que vários dados, no âmbito de todo o conjunto de dados a terem de ser geridos na atividade de uma organização, estejam em falta, incorretos, incompletos ou, ainda, duplicados, consoante o tipo de sistema selecionado para efeitos de rastreabilidade (Suresh & Chakaravarthi, 2022).

Por um lado, verifica-se que sistemas de rastreio como a identificação por radiofrequência, no seu uso a nível industrial, tem associados alguns aspetos que podem influenciar significativamente o seu sucesso de implementação, sendo possível destacar os seguintes pontos: o tratamento dos dados em questão tornar-se muito complexo de gerir, considerando a envolvimento de atividades de logística de produção, transmissão de dados, bem como de operações de bases de dados, nesse processo, o que por sua vez poderá levar a alguma perda de informação quando os dados forem tratados a partir dos devidos sistemas de armazenamento com os dados recolhidos; e, os eventos a considerar no contexto da rastreabilidade serem demasiado diversificados, considerando, por exemplo, um dispositivo de identificação por radiofrequência a identificar vários artigos ou produtos ao mesmo tempo, leituras duplicadas dos mesmos artigos, e objetos metálicos dentro do alcance da leitura a interferir com as ondas de rádio, tornando o sistema mais propício à ocorrência de defeitos na sua ação (Feng *et al.*, 2020).

Não obstante, algumas das tecnologias mais recentes que aplicam a IoT na identificação e recolha automática de dados de produção e para auxílio de decisões de logística e organização no chão de fábrica, das quais a tecnologia referida atrás, estão a revolucionar a gestão ao nível da cadeia de abastecimento e processos produtivos, sobretudo complementando, ou substituindo por inteiro, métodos de rastreabilidade menos avançados, como o da tecnologia de códigos de barras, como principal sistema de localização e controlo de objetos e bens em meio industrial (Fortuna & Gaspar, 2022).

Adicionalmente, sistemas baseados em visão computacional e em sensorização, entre outros, no contexto da I4.0, podem cada vez mais ser implementados para a realização de processos de controlo de qualidade de um modo totalmente automático, com melhorias em termos de eficácia e menor propensão a defeitos nesse controlo (Chanchaichujit, Balasubramanian & Charmaine, 2020).

1.3. Objetivos e contribuição do relatório de estágio

Ao ter-se em consideração a realidade do setor de atividade referido anteriormente, existe uma forte necessidade, em nome da indústria de equipamentos de teste para cablagens e sistemas elétricos, de trazer sistemas inovadores, resilientes e flexíveis para o chão de fábrica para a redução de custos bem como de tempos de execução da produção, sem comprometer a qualidade do produto final. Neste contexto, o paradigma da I4.0 associa a si mesmo diversas ferramentas e tecnologias que permitem uma crescente automação e controlo melhorado de diversos processos que podem ser úteis neste sentido (Rosa *et al.*, 2022).

Com a gestão de ativos a constituir um aspeto crucial de qualquer operação e atividade ao nível da produção, sem uma gestão adequada do equipamento e dos materiais, o processo produtivo a ter em consideração pode ser indesejavelmente interrompido, conduzindo a atrasos e tempos de inatividade dispendiosos (Tan & Sidhu, 2022). Tradicionalmente, a gestão de ativos na indústria transformadora a ser alvo de estudo prático nos trabalhos de estágio na base da elaboração do presente relatório, tem-se verificado ainda, até aos dias de hoje, um processo realizado exclusivamente com o recurso à tecnologia de código de barras, com os trabalhadores, especificamente na seção de embalagem dos produtos e outros artigos da empresa em questão, a procederem à respetiva identificação de cada um desses ativos através do uso de leitores de código de barras e com a leitura dos ativos de 1 em 1, individualmente (visto que não é possível a leitura de múltiplos códigos de barras em simultâneo, cada um impresso e fixo em cada produto, para sua identificação), inclusivamente ocorrendo a situação de os trabalhadores nessa seção terem ocasionalmente a necessidade de inserir os códigos manualmente com recurso a um computador de trabalho (disponível na área) e a um teclado enquanto dispositivo periférico (pelo que essa introdução manual de códigos torna o processo mais demorado e aumenta bastante a probabilidade de ocorrência de erros ou falhas no registo de um ou mais produtos, prontos para expedição, visto que o trabalhador em causa poderá errar na inserção de um ou mais códigos devido ao engano na visualização de todos os valores corretos no código, ou enganar-se involuntariamente na introdução de valores no teclado).

Neste sentido, com o objetivo principal de análise e avaliação de um protótipo de sistema para o rastreio dos ativos e produtos em específico para uma seção de chão de fábrica, no contexto de uma empresa de conceção e produção de equipamentos de teste e controlo de cablagens para a indústria automóvel, correspondente à zona de embalagem dos produtos em caixas (conforme determinadas condições de agrupamento dos artigos, por grupos e em diferentes tipos de caixas, a acondicionar em separado ou a introduzir no interior de outras caixas de maiores dimensões, e ainda considerando exigências específicas do cliente), tendo por base a aplicação da tecnologia de identificação por radiofrequência (a ser desenvolvida no estado da arte) para o novo sistema, sem necessidade do uso do código de barras atualmente em funcionamento, vem, por via de trabalhos feitos diretamente em chão de fábrica, a intenção de demonstrar o sucesso promissor que o sistema para rastreio estudado (no decurso do estágio curricular, em que a experimentação prática efetuada sobre o sistema proposto foi intensiva) pode vir a ter não apenas no caso de aplicação na empresa do estágio (o mais importante) mas também transversalmente a outros casos de indústrias de produção com características de atividade e de funcionamento que se enquadrem na temática de estudo e possam aproveitar os resultados e conclusões retiradas de um modo relevante.

Nessa avaliação, serão considerados alguns elementos e fatores que ditam (com os devidos pesos de influência) o grau em que o novo sistema pode ou não vir a ser vantajoso quando em comparação com o que ainda vigora (menos avançado), dos quais:

- A sua eficácia;
- A facilidade do seu uso;
- A sua viabilidade em termos económicos.

Para finalizar o raciocínio, uma das principais motivações deste trabalho é a tentativa de contribuição para o processo de investigação e desenvolvimento acerca do sistema explorado no estágio que, estando esse já patenteado e sendo produzido e comercializado por uma empresa norte-americana de renome (considerando o *hardware* e *software* essencial da sua estrutura, pelo que algumas partes foram desenvolvidas internamente na empresa, mas que não correspondem ao principal e necessário para o mínimo funcionamento do sistema) nesse setor de produtos em questão, a ser uma opção viável de ser adotada (mesmo por parte de empresas de pequena dimensão, categoria esta em que a empresa acolhedora do estágio não se insere), considerando o facto do equipamento analisado ter sido lançado no mercado há relativamente muito pouco tempo e a informação relativa ao mesmo não ser abundante (verificando-se até que a realização de testes e avaliação da sua capacidade por parte de pessoal especializado da própria empresa é ainda um cenário presente).

Ainda, de referir que, para além do recente impulso para a personalização em massa através da digitalização dos produtos, sistemas de produção e cadeias de abastecimento, assim como o significativo contributo que as tecnologias de identificação automática desempenham nesses sistemas, vem uma necessidade urgente de avaliar as barreiras ao sucesso da adoção de tecnologias mais avançadas e associadas à IoT (Rosa *et al.*, 2022).

Por último, a utilização de tecnologias de localização, identificação e acompanhamento para dar visibilidade aos materiais nos sistemas de produção não é nova. Para um sistema verdadeiramente possível de ser sujeito a processo de rastreabilidade, será possível à operação de produção, por exemplo, simular o impacto da alteração de uma encomenda de um cliente ou de uma interrupção no fornecimento. Esta é uma das razões para a crescente adoção de soluções tecnológicas de identificação por radiofrequência no contexto de diversos setores (Oluyisola, Strandhagen & Buer, 2018), em particular no setor automóvel e indústria de conceção e produção de meios e equipamentos de teste e controlo para sistemas elétricos e cablagens.

1.4. Visão geral e organização do relatório de estágio

O presente documento contribui para o estado da arte no contexto em estudo, ao aumentar a consciencialização de que o movimento da Indústria 4.0 tem de continuar a reorientar-se para alcançar também os cenários de produção e de logística de pequena e média dimensão, que exigem que as soluções de digitalização tenham um menor custo de investimento inicial para integração das tecnologias associadas a esse movimento. E, o mesmo fornece uma visão geral dos esquemas de identificação fiável relacionados com os ativos de produção e os seus métodos subjacentes, a nível da indústria.

Neste trabalho, verifica-se a aplicação de métodos dedutivos, apoiados por uma investigação exploratória, que se centra numa abordagem quantitativa e qualitativa, oferecendo uma perspetiva mista. O objetivo da revisão bibliográfica a evidenciar será de identificar as ferramentas tecnológicas para rastreabilidade, no contexto da I4.0, atualmente disponíveis no mercado, e que melhor se adaptam às necessidades das empresas industriais, bem como identificar os modelos de implementação e a análise de viabilidade deste tipo de projetos, para depois tirar conclusões.

Por sua vez, a elaboração do estado da arte foi realizada com recurso a diversos trabalhos científicos obtidos através da utilização dos seguintes motores de busca: MDPI, IEEE Xplore, Scopus, Science Direct. Adicionalmente, recorreu-se, também, a alguns documentos publicados por entidades diretamente ligadas aos sistemas de rastreabilidade, e páginas institucionais relevantes no contexto.

Relativamente à organização do relatório de estágio, vem o seguinte: no Capítulo 1, é apresentada a introdução e delineada a temática em estudo, bem como o respetivo enquadramento, os principais objetivos e contribuições do trabalho, uma breve explicação da metodologia de investigação usada e a indicação da organização do documento; no Capítulo 2, faz-se uma apresentação da empresa na qual o estágio curricular se desenvolveu; no Capítulo 3, é realizada uma revisão bibliográfica relativamente aos sistemas de rastreabilidade, às tecnologias de suporte existentes para a devida identificação e recolha automática de dados, ou seja, às ferramentas que suportam a rastreabilidade de objetos e/ou produtos, a informação acerca das opções mais utilizadas atualmente a nível industrial, no contexto, e, também, a um modelo concetual de implementação relativo ao problema, pelo que este capítulo apresenta, ainda, uma análise bibliográfica efetuada em termos da viabilidade de investimentos na indústria considerando o tipo de sistema tecnológico em questão; no Capítulo 4, efetua-se uma abordagem descritiva aos materiais e métodos aplicados no âmbito dos trabalhos de investigação em ambiente profissional; no Capítulo 5, procede-se à apresentação dos principais resultados obtidos no decurso do presente trabalho, bem como se efetua uma análise a esses resultados em termos de realce de dados obtidos por último nas experiências práticas e indicação de parâmetros e estatísticas de interesse; e, no Capítulo 6, apresentam-se as conclusões finais do relatório de estágio, incluindo sugestões de trabalhos futuros a desenvolver.

2. Apresentação da Empresa

A empresa selecionada para a realização do estágio curricular em ambiente profissional, com a designação “Dinefer – Engenharia e Sistemas Industriais, S.A.”, fundada no ano de 1988, e sediada em Castelo Branco, Portugal, tem a sua atividade principal na conceção, produção e comercialização de equipamentos e sistemas industriais de teste e controlo, maioritariamente para a indústria de cablagens, mas também para a indústria em geral. Na Fig. 1 é possível visualizar o logótipo da empresa.



Fig. 1. Logótipo da empresa.

Relativamente aos produtos da empresa, a “Dinefer” fornece aos seus clientes não só um conjunto de equipamentos *standard* cuja procura de mercado se verifica mais regular, dos quais mesas de teste e módulos electropneumáticos, como também uma panóplia de equipamentos de teste aos quais é atribuída a classificação e designação de “Produtos Especiais”. Estes últimos são caracterizados por solicitações muito menos regulares ou, eventualmente, únicas, e com um nível elevado de personalização, incluindo produtos como: mesas de teste de alta voltagem, módulos de visão para uso em veículos elétricos, mesas de teste para portas deslizantes de automóveis, equipamentos para teste de qualidade de caixas de junção para baterias de carros elétricos, entre outros. Na Fig. 2 ilustram-se alguns dos produtos da empresa.

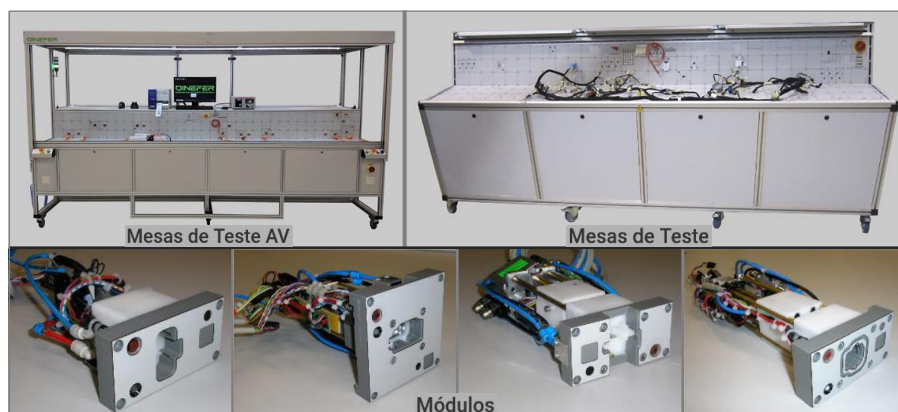


Fig. 2. Produtos da Empresa.

A “Dinefer” corresponde a uma média empresa, empregando um total de cem trabalhadores na sua sede e possuindo um volume de negócios de cerca de dez milhões de euros. Na Fig. 3 ilustra-se uma vista exterior das instalações da empresa, que ocupam uma área de cerca de 3000 m². Atualmente, esta constitui uma corporação multinacional, possuindo três filiais, duas das quais localizadas em países do norte de África, e uma outra no leste da Europa. Ainda, possui um apoio técnico local na Índia e na Roménia. E, na Fig. 4 é ilustrado um organograma que representa a atual estrutura organizacional da “Dinefer”.



Fig. 3. Vista exterior das instalações da empresa.

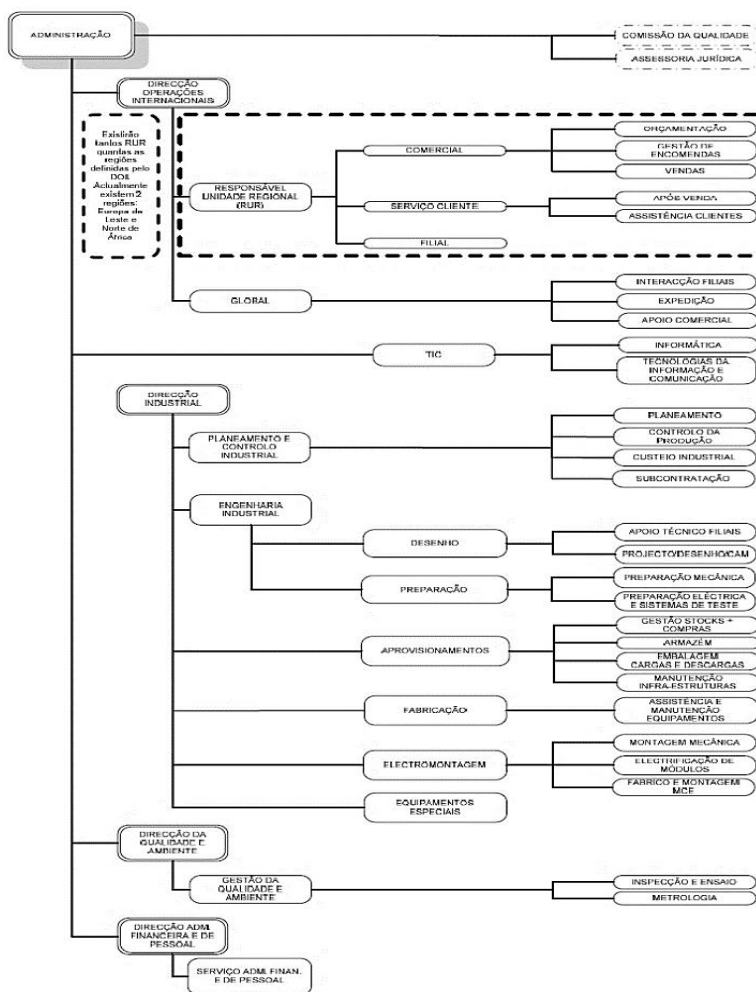


Fig. 4. Organograma geral da empresa (Adaptado de DINEFER, 2023).

Relativamente ao processo produtivo no âmbito da “Dinefer”, consideram-se, de um modo geral, as seguintes fases sequenciais: Comercial, em que se dá a interação inicial com o Cliente e se receciona as solicitações por parte do mesmo, atuando como o ponto de partida para todo o fluxo de trabalho subsequente; Engenharia Industrial, com a abertura de obras com as especificações e requisitos técnicos para o desenvolvimento e fabrico do produto; Desenho/Projeto, com o *design* do produto, seguindo os critérios previamente definidos pela engenharia; CAM, com a geração dos programas necessários conforme os desenhos elaborados; Preparação, com a materialização das informações necessárias para o fabrico do produto; Produção, de peças e componentes, recorrendo a processos de corte, maquinação CNC, fresagem, serralharia, entre outros; Montagem, do conjunto das peças maquinadas e dos componentes de armazém; Eletrificação, com a conjugação do mecânico para o seu devido funcionamento elétrico e pneumático, verificando-se o processo de eletrificação de módulos pneumáticos, entre outros componentes e quase-máquinas; Controlo de Qualidade, e testes de funcionalidades, aos produtos, com a verificação do seu funcionamento de acordo com os requisitos pré-estabelecidos; e, Expedição, com o envio para o Cliente. Para uma visualização gráfica do processo em questão, na Fig. 5 ilustra-se um esquema do fluxo produtivo descrito atrás de um modo simplificado.

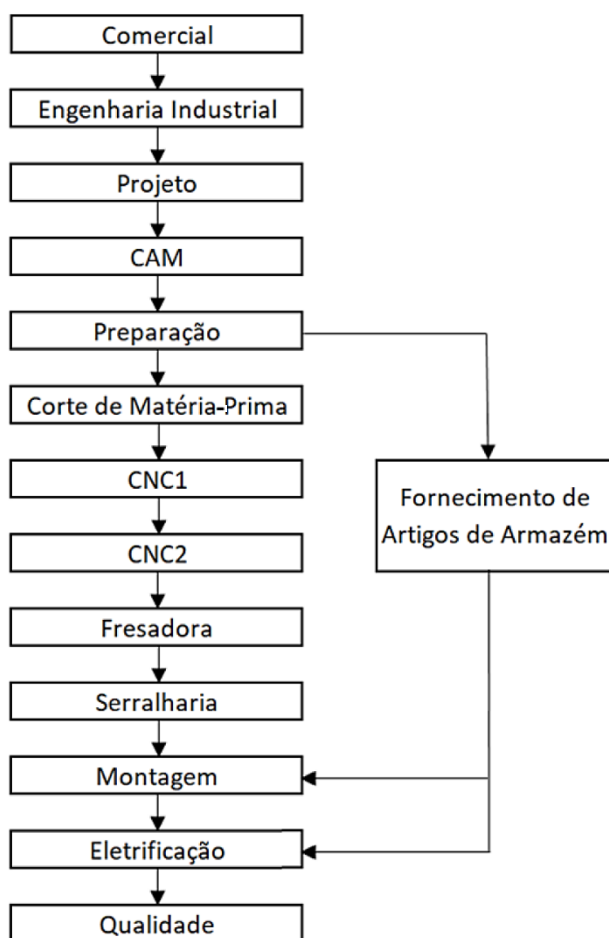


Fig. 5. Fluxo produtivo simplificado da empresa.

As solicitações dos seus clientes, em conjugação com o respeito pelos valores organizacionais ao nível da sua atividade, contribuíram para a melhoria da eficiência e, também, para um crescimento sustentado da empresa, impulsionado através das vendas além-fronteiras, com o início da sua internacionalização, em 1996. Como fornecedora de soluções industriais adaptadas às necessidades de cada cliente, a empresa considera que, a par do preço competitivo, a melhoria da qualidade e a redução do tempo de execução dos seus produtos são fatores determinantes para o aumento da satisfação dos seus clientes, alguns dos quais se revelam na Fig. 6.



Fig. 6. Principais clientes da empresa.

Inclusivamente, a empresa desenvolveu um próprio *software* de gestão para seu uso, designado por “SIGDIN”, que permite aos seus clientes um devido acompanhamento da produção em tempo real. Através da área reservada inerente ao sistema de gestão considerado, possibilita-se o acesso ao seguinte conteúdo: *download* de ficheiros técnicos, histórico de encomendas, bem como ao estado atual de solicitações dos clientes ainda em curso, no decurso da sua produção até ao estado final acabado, e mais.

A “Dinefer”, a par da competência dos recursos humanos, nas áreas de engenharia, que emprega, efetua a subcontratação de serviços de desenvolvimento de *hardware* e *software* à medida das suas necessidades, prestados por uma empresa com a qual mantém uma parceria há já alguns anos. Ainda, é de referir que a mesma possui a certificação pelas Normas ISO para os sistemas de gestão da qualidade e sistemas de gestão ambiental, nomeadamente a “NP EN ISO 9001:2015” e a “NP EN ISO 14001:2015”, verificando-se a existência de um sistema de gestão integrado que envolve ambos os sistemas de gestão referidos, no âmbito da “Dinefer”.

3. Estado da Arte

Este capítulo apresenta uma revisão teórica dos conceitos relacionados com o estudo em análise, a nível da rastreabilidade, fornecendo várias noções e metodologias adotadas pelas organizações. E, são também caracterizadas as principais ferramentas utilizadas no setor industrial que auxiliam na localização de objetos, ativos, ou outros, num contexto de chão de fábrica. É ainda indicado um modelo generalizado para a implementação nas empresas de um sistema de rastreabilidade suportado em tecnologias do tipo em questão, também um caso de estudo de implementação da tecnologia da I4.0 a selecionar em atividade logística de armazém, bem como a aplicação de tal tecnologia no âmbito de uma linha de produção industrial, na seção dos estudos experimentais.

Inclusivamente, existe um subponto relacionado com a análise da viabilidade deste tipo de projeto em questão, analisando os possíveis ganhos com o investimento associado à implementação de um modo não só quantitativo como também qualitativo.

3.1. Introdução

No contexto deste estudo, o conceito de “rastreabilidade” é definido como a capacidade de seguir um ativo desde o seu início até à fase final de um processo de fabrico em chão de fábrica. Esta ação consiste na identificação de um determinado produto de forma a auxiliar na gestão, controlo de qualidade e deteção de possíveis anomalias nos processos inerentes ao seu fluxo produtivo (Tan & Sidhu, 2022).

A definição de rastreabilidade pode assumir duas abordagens diferentes, nomeadamente a nível de (Fortuna & Gaspar, 2022):

- Seguimento (*Tracking*): a capacidade de localizar ou seguir o percurso de um determinado objeto a jusante, ou seja, através de observações subsequentes, e, por conseguinte, definindo-se como a capacidade de seguir um produto desde a fase de matéria-prima até ao ponto de consumo;
- Rastreio (*Tracing*): a capacidade de identificar a origem e as características ou o historial de um determinado objeto a montante, caracterizando-se, portanto, pela capacidade de verificar o estado passado de um produto através das suas referências e registos históricos.

Neste contexto, existem, então, dois tipos distintos de aplicabilidade da rastreabilidade: a nível interno, e a nível da cadeia de abastecimento. O primeiro aplica-se apenas a atividades no domínio

da própria empresa, onde não há necessidade de relacionar informação externa sobre o produto com os outros membros da cadeia de abastecimento. Ao invés, o segundo segue o ciclo de vida do dado artigo, onde existe a necessidade de partilhar informações e recursos entre as várias fases do produto na cadeia de abastecimento (Chanchaichujit, Balasubramanian & Charmaine, 2020).

No âmbito dos sistemas de rastreabilidade industrial, os elementos mais importantes são os sistemas de inventário e de informação, uma vez que este tipo de sistema se estrutura essencialmente com base na combinação destas duas áreas de trabalho. Para qualquer gestor industrial, a informação é potencialmente o mais importante motor de sucesso, na medida em que auxilia a sua tomada de decisão em termos de procura de mercado, produtos em *stock* e monitorização da produção fabril e das respetivas exigências dos clientes. Os sistemas de rastreabilidade dão, neste caso, um contributo essencial, uma vez que facilitam a recolha deste tipo de informação (Frankó, Vida & Varga, 2020).

A rastreabilidade surge da necessidade de responder à procura do mercado com eficiência e de obter maiores lucros para as empresas. Geralmente, tem como objetivo efetuar o controlo de fábrica de um determinado artigo, registar as várias etapas incluídas no seu ciclo de produção, bem como garantir uma melhor qualidade, melhorar a visibilidade na cadeia de abastecimento e, conseqüentemente, aumentar a segurança, uma vez que acarreta uma redução da taxa de desaparecimento, extravio e perda de produtos (Tan & Sidhu, 2022).

São várias as vantagens associadas à utilização de sistemas de rastreabilidade, mas existem também desafios a ultrapassar na implementação deste tipo de aplicações. Um elevado grau de sofisticação de um sistema de rastreabilidade traduz-se numa perda de produtividade, uma vez que pode haver perda de tempo associada a aspetos que não aumentam o valor para a empresa, bem como a tendência para a empresa se adaptar ao próprio sistema. O investimento inicial e a resistência à mudança são fatores que também condicionam a implementação de um sistema de rastreabilidade. Relativamente ao primeiro, atualmente, a grande maioria dos sistemas de rastreabilidade são suportados por tecnologias de Identificação Automática e Captura de Dados (AIDC), o que exige investimento em *hardware* e formação dos colaboradores. Quanto à resistência à mudança, em qualquer situação, mudar as mentalidades dos trabalhadores e, por vezes, da gestão de topo, é um enorme desafio empresarial. Para além dos desafios abordados, pode-se ainda enumerar a complexidade de compatibilização de um sistema deste tipo com outros já existentes na organização (Fortuna & Gaspar, 2022).

Um sistema de rastreabilidade de qualidade requer a utilização de tecnologias de identificação automática. No contexto industrial, estas tecnologias desempenham um papel particularmente importante em termos de rastreabilidade e, ao longo do tempo, têm registado um crescimento tecnológico capaz de tornar as operações de rastreabilidade automáticas, reduzindo assim os custos associados à obtenção de dados (Helo & Rouzafzoon, 2021). Atualmente, existem várias tecnologias de apoio disponíveis e a escolha da tecnologia a adotar deve responder às necessidades

da quantidade de informação necessária para a sua aplicação. E, ainda no que concerne a este tópico, é de mencionar que um dos aspetos cruciais subjacentes aos sistemas de rastreabilidade verifica-se então na gestão e transferência de dados e respetivas estratégias a desenvolver do modo mais apropriado para cada caso (Gartner *et al.*, 2021).

O acrónimo AIDC abrange todas as tecnologias que permitem a identificação de objetos e pessoas através da captura automática de dados, ou seja, a introdução direta de dados num dispositivo controlado por microprocessador, sendo que muitas destas ferramentas não requerem envolvimento humano. Como já foi referido, a alternativa à recolha automática de dados é a recolha manual de dados. Para tal, é normalmente necessário que um trabalhador registre a informação em papel e, depois, a introduza num computador, através de um teclado. Esta situação tem vários inconvenientes, não só com respeito à operação de recolha de dados, mas também com relação à introdução de dados, destacando-se os seguintes problemas (Fortuna & Gaspar, 2022):

- Verifica-se uma taxa média de erro ao escrever num teclado que atinge um erro por cada trezentos caracteres a serem introduzidos no contexto;
- Os métodos manuais são intrinsecamente mais morosos do que os métodos automatizados, no entanto, quando se recorre a práticas manuais, existe um desfasamento temporal entre a realização das atividades e a sua introdução no respetivo *software*, ou seja, a informação não está disponível em tempo real;
- Os custos de mão-de-obra estão associados ao tempo despendido pelos trabalhadores neste tipo de ação.

Contudo, esses inconvenientes tornam-se praticamente nulos quando o funcionamento é apoiado por tais ferramentas de identificação automática referidas. Regra geral, todas as tecnologias de identificação automática agregam três componentes principais (Helo & Rouzafzoon, 2021):

- Codificador de dados – componente responsável pela criação de códigos (um código corresponde a um conjunto de símbolos ou sinais que, normalmente, representam caracteres alfanuméricos), pelo que quando se procede a uma codificação, os caracteres são traduzidos num código, legível pelas respetivas máquinas complementares do sistema de rastreio, tendo esse codificador a forma de uma etiqueta colada nos objetos a identificar;
- Leitor – dispositivo utilizado para ler os dados codificados; e,
- Descodificador de dados – componente que transforma os dados lidos pelo leitor em dados digitais, de modo a que a informação contida no código volte à sua fase inicial, ou seja, que volte a ser apresentada em caracteres alfanuméricos.

As tecnologias de AIDC mais frequentemente usadas ao nível da produção industrial correspondem ao Código de Barras e à Identificação por Radiofrequência (RFID). De facto, as suas aplicações operacionais mais comuns verificam-se: na receção e expedição de mercadorias, no armazenamento de produtos acabados, acompanhamento do processo produtivo, em procedimentos a nível de montagem e controlo de qualidade, entre outras. Em diversas aplicações

destas tecnologias, é necessária a presença de operadores no processo de recolha de dados, normalmente para operar os equipamentos de identificação. Por isso, estas técnicas que requerem intervenção humana são designadas por semiautomáticas ou parcialmente automáticas, ao invés de totalmente automáticas, ou seja, quando não é necessária a participação de qualquer trabalhador ou funcionário no processo (Frankó, Vida & Varga, 2020).

3.2. Código de Barras

A tecnologia de Código de Barras, cuja existência e aplicação em diversos setores de atividade já se verifica há mais de cinco décadas, continua a ser uma tecnologia promissora e com uma elevada utilização de um modo universal. E, a mesma define-se de certa forma como uma etiqueta eletrónica legível que acompanha os respetivos produtos, fornecendo informação sobre a origem, destino, tipo de produto e documentos associados, considerando exemplos como dados de preços, de gestão de devoluções ou de verificação de autenticidade de produtos, entre muitas outras informações relevantes (Fortuna & Gaspar, 2022). De igual modo à tecnologia da I4.0 descrita anteriormente, o código de barras pode ser utilizado em vários processos ao longo da cadeia de abastecimento, apresentando diferentes impactos em cada fase (Frankó, Vida & Varga, 2020).

Por sua vez, os principais componentes de *hardware* de um sistema de códigos de barras correspondem a um leitor de códigos de barras, impressoras e respetivas etiquetas de impressão. Relativamente ao *software*, este está normalmente ligado diretamente à atividade de planeamento dos recursos necessários por parte da empresa ou organização, sendo a sua ação responsável pelo armazenamento e fornecimento de dados para posterior análise dos dados recolhidos, destacando, a título de exemplo, movimentos de objetos, consumos, desperdícios e localizações, entre outros (Fortuna & Gaspar, 2022).

Essencialmente, esta tecnologia consiste na leitura efetuada por leitores óticos, através da emissão de raios “laser” para os respetivos códigos, sendo esses raios absorvidos pelas barras pretas ou refletidos pelos espaços brancos (ao incidirem sobre o dado código de barras), onde a sequência de barras, umas mais estreitas e outras mais largas, representa a informação contida em tal código. Esta pode ser lida, por sua vez, através de um efeito de reflexão, das emissões “laser” para o leitor, que contém uma fotocélula capaz de converter a luz em corrente elétrica, obtendo um sinal analógico que dá origem a um código binário e permitindo, assim, a representação e transmissão de informação (Fortuna & Gaspar, 2022).

Na verdade, existem diferentes esquemas de códigos de barras, pelo que as principais diferenças correspondem ao tipo de caracteres (somente números, ou caracteres alfanuméricos), a quantidade de dados, o comprimento das barras e as representações da informação, em termos de estrutura (que poderá ser linear ou a duas dimensões). Ainda, a escolha do tipo de código a utilizar, no contexto, está diretamente relacionada com a necessidade da sua aplicação (Fortuna & Gaspar,

2022). Na Tabela 1 é possível identificar as principais características das tipologias de código mais utilizadas atualmente.

Tabela 1. Diferenças entre as principais tipologias de código de barras (Adaptado de Fortuna & Gaspar, 2022).

Número Europeu de Artigo (EAN)	Unidade de Manutenção de Stock (SKU)
Conjunto de normas de codificação que permitem uma gestão eficiente das cadeias de valor globais e multi-setoriais	Comprimento variável, sem normas externas definidas, e com variação de acordo com as necessidades da empresa
Código universal que acompanha o produto ao longo da cadeia de abastecimento	Para uso exclusivo internamente à organização, pelo que pode diferir de empresa para empresa
Constituído por informação que identifica produtores, empresas, origens da produção, entre outros(as)	Reflete informação acerca do produto

A constante evolução tecnológica e a crescente necessidade de empresas e organizações assegurarem que todos os dados estão incluídos no respetivo fluxo de informação, tanto a nível externo (cadeia de abastecimento) como interno (organização), de forma a operarem eficientemente e conseqüentemente ganharem vantagem competitiva no mercado, apresenta barreiras ao nível da utilização de códigos de barras, uma vez que o armazenamento de informação pode tornar-se bastante limitado. Outra barreira à aplicação desta tecnologia está associada ao facto de as etiquetas dos códigos de barras se danificarem, tornando-se ilegíveis. A humidade, o pó e as temperaturas elevadas são geralmente características de um ambiente industrial, que afetam negativamente a legibilidade da etiqueta (Frankó, Vida & Varga, 2020).

Outras desvantagens que podem afetar a rentabilidade da operação incluem o facto de não poder existir qualquer obstáculo entre o leitor e o código de barras, o que pode levar à impossibilidade de efetuar leituras múltiplas, ou seja, a leitura tem de ser feita etiqueta a etiqueta. E, ainda, poder-se-á considerar a desvantagem correspondente à velocidade de leitura muito mais lenta comparativamente à tecnologia RFID (Frankó, Vida, & Varga, 2020).

Ainda, vem que o código de barras já não é uma tecnologia vigente para organizações de alta tecnologia, mas uma ferramenta de fácil utilização que pode dar um auxílio a qualquer empresa que pretenda recorrer à mesma de um modo simples. O custo relativo aos dispositivos de digitalização e a quantidade de *software* necessário diminuíram a um ponto tal em que praticamente qualquer pessoa pode proceder à implementação de um sistema de código de barras se assim o desejar (Suresh & Chakaravarthi, 2022).

Apesar das suas limitações, a tecnologia de código de barras é fácil de aplicar, o que é claramente demonstrado pela sua larga utilização a nível mundial, e já ao longo de muitos anos, bem como

pelos baixos custos de aquisição e integração. Assim, estes fatores podem ser decisivos na tomada de decisões sobre a tecnologia de apoio à identificação e captura de dados automática a implementar (Fortuna & Gaspar, 2022).

3.3. Identificação por Radiofrequência

A Identificação por Radiofrequência (*Radio Frequency IDentification* - RFID) corresponde a uma tecnologia que permite a comunicação, identificação e recolha de dados sem qualquer contacto físico, mas através de ondas de radiofrequência. No contexto em estudo, esta tecnologia pode desempenhar funções importantes com elevada rentabilidade e flexibilidade operacional, o que significa que é capaz de identificar e recolher dados e informações de localização em tempo real sem qualquer intervenção humana (Gladysz & Buczacki, 2018). A mesma pode ser utilizada em vários processos ao longo da cadeia de abastecimento, apresentando impactos diferentes em cada fase, sendo de salientar que algumas das aplicações mais valiosas no contexto dos circuitos de abastecimento são as seguintes (Tan & Sidhu, 2022):

- Na simplificação do acompanhamento do fluxo de produção industrial, bem como da gestão de *stocks*, uma vez que a RFID contribui para uma melhor localização dos produtos, atualizações em tempo real e automatização das operações, aumentando assim a confiança na tomada de decisões relacionadas com os fornecimentos;
- No processo logístico, esta tecnologia pode permitir um aumento de eficiência, devido à agilização da entrega de produtos ou matérias-primas, automatizando as operações de receção e expedição de mercadorias e, deste modo, é possível eliminar operações que não geram valor para a organização, ganhando tempo para que os colaboradores se concentrem em atividades que acrescentem relevância ao negócio;
- Em relação ao cliente final, a RFID pode fornecer visibilidade e informação sobre o produto em qualquer ponto da cadeia de abastecimento de forma automática e assertiva, melhorando assim a fiabilidade do fluxo de informação.

Um sistema de RFID é composto essencialmente por um ou mais leitores e etiquetas. Os primeiros leitores são responsáveis pela leitura das etiquetas dentro do seu raio de leitura, pelo que ambos os componentes referidos são sistemas de envio e receção de informações e, na verdade, podem ser classificados como “transcetores” (Fortuna & Gaspar, 2022). A Tabela 2 apresenta os componentes desta tecnologia, bem como breves descrições relativas aos mesmos.

Tabela 2. Componentes da tecnologia RFID (Adaptado de Fortuna & Gaspar, 2022).

Leitores	Detetam os ativos com as etiquetas RFID; São dispositivos que emitem e recebem sinais (ondas) de radiofrequência.	Antenas	Recebem e enviam os sinais entre o par etiqueta e leitor; A sua amplitude de leitura é diretamente dependente do tipo de etiqueta a usar.
Etiquetas	Identificam os produtos que acompanham.	Impressora de Etiquetas	Permite a impressão da informação, em forma de código, na etiqueta.
Software	Codifica e descodifica os dados (informação) nas etiquetas RFID; Traduz os dados capturados pelo leitor e, subsequentemente, usa-os para fornecer o seu conteúdo aos sistemas de informação que têm diversas funcionalidades, como de planeamento (de matérias-primas, recursos, etc.), controlo de processo produtivo e logística.		

O tipo de leitor em questão, para além da sua função principal de detetar etiquetas RFID e comunicar com as mesmas na sua zona de interrogação, verifica ter uma região, ou diâmetro, onde pode ser estabelecida tal comunicação entre o leitor e a etiqueta. Este é também responsável pela ativação, alimentação (se necessário) e estruturação da sequência de comunicação com a etiqueta para estabelecer a operação de transferência de dados. A etiqueta de RFID constitui o componente mais simples do sistema, a qual pode assumir várias formas e dimensões. De facto, o seu objetivo é identificar o artigo ou objeto em que é colocada, através do seu número de identificação (ID) único. Tem na sua constituição um circuito integrado e uma antena, que estão fisicamente ligados ao seu *chip*. O circuito integrado corresponde ao componente essencial da etiqueta, pois é responsável pela transmissão de informação quando esta é ativada (Suresh & Chakaravathi, 2022). No contexto deste último ponto, é de referir que existe uma classificação das etiquetas de RFID em dois tipos principais distintos (passivas e ativas) que se torna necessária de especificar em seguida.

Efetivamente, verifica-se que as etiquetas de RFID podem ser classificadas de acordo com a sua respetiva potência e capacidade de comunicação. Por um lado, uma etiqueta do tipo passivo não tem energia incorporada, utilizando a respetiva onda de rádio incidente como sinal de retrodifusão modulado (técnica comumente utilizada em sistemas de RFID em que são utilizadas cargas incompatíveis para refletir o sinal de radiofrequência incidente de volta com modulação de amplitude e/ou fase) e precisa de estar ao alcance de uma antena para estar operacional. Por outro lado, uma etiqueta do tipo ativo tem energia incorporada e pode transmitir sinais e proporciona um grau mais elevado de precisão de localização, mas requer fontes de energia e é, por conseguinte, mais dispendiosa de instalar e manter (Neal *et al.*, 2021).

Para a rastreabilidade dos produtos, pode ser em muitos casos somente necessário saber quando um produto ou ativo entrou e saiu de áreas específicas (no contexto dos processos produtivo industriais), algo que pode ser conseguido através de etiquetas de RFID passivas nos produtos e uma antena de leitura nessas áreas que requerem monitorização (Helo & Rouzafzoon, 2021).

Por sua vez, ao utilizar etiquetas de RFID, é importante ter em conta quais as etiquetas a utilizar e em que local dos produtos são colocadas, uma vez que determinados materiais (em particular, metal e líquidos) podem causar interferências. Isto pode ser evitado utilizando as etiquetas mais adequadas para cada caso. É possível, então, considerar a seguinte distinção (quanto ao modo de ativação necessário) entre os dois tipos de etiquetas (Neal *et al.*, 2021):

- Nas etiquetas passivas, a antena energiza e ativa a transmissão de dados;
- Nas etiquetas ativas, a antena apenas ativa a transmissão de dados.

Retomando a abordagem aos dispositivos leitores de RFID, este componente será, então, o mais complexo, devido à responsabilidade da ação do mesmo não só a nível da leitura da informação transmitida pelas etiquetas, mas também pela comunicação com agentes externos, ou seja, pela transmissão dos dados recebidos para os respetivos servidores (Suresh & Chakaravarthi, 2022).

Por sua vez, alguns dos obstáculos à adoção desta tecnologia incluem os seguintes aspetos: o fenómeno de interferência eletromagnética, no sentido em que a identificação automática e a recolha de dados através de RFID, para o seu sucesso, depende também do tipo de objetos em que as etiquetas são inseridas, sendo que objetos com conteúdo metálico, ou líquido, poderão absorver a energia de radiofrequência emitida pelo leitor, provocando menores alcances de transmissão ou mesmo a não identificação do produto; e, a nível de sustentabilidade, a não reciclagem e não reutilização das etiquetas pode ser uma condição a ter em consideração, pelo que se estas últimas estiverem integradas no objeto a identificar, poderá dar-se o caso de não ser possível voltar a utilizá-las, e com a não reutilização de resíduos eletrónicos (nos quais se incluem essas etiquetas) a constituir um risco sério a nível ambiental (Fortuna & Gaspar, 2022).

Ainda, o facto de, no contexto do uso da tecnologia em estudo, serem utilizadas frequências de funcionamento diferentes em várias partes do mundo, pode vir a dificultar significativamente a interconexão e a compatibilidade entre equipamentos (Frankó, Vida & Varga, 2020).

3.3.1. Parâmetros importantes

No contexto, o Indicador de Intensidade do Sinal Recebido (RSSI) constitui uma medida da potência recebida do sinal de retorno de uma etiqueta RFID quando interrogada por um leitor. De facto, o RSSI corresponde a uma propriedade importante, contudo muitas vezes mal compreendida, de um sistema de identificação por radiofrequência (Frankó, Vida & Varga, 2020).

Relativamente a um conjunto de outros parâmetros associados ao processo de leitura e identificação por via de RFID, e estatísticas de desempenho desse sistema de rastreabilidade, igualmente relevantes no contexto, verifica-se a existência de um parâmetro Q que sumariamente especifica a quantidade de etiquetas de RFID a existir no campo de leitura da antena de captação de sinal a considerar no leitor RFID, e, por sua vez, quais dessas etiquetas devem ser de facto

detetadas no processo. No seguimento, um dado número aleatório x na etiqueta RFID, que funcionará como um elemento de código para efeitos de interação entre o dispositivo leitor e as etiquetas ao nível da transmissão dos dados por radiofrequência, pode ser determinado, de um modo simplificado, através da Equação (1) (Tan & Sidhu, 2022):

$$x = 2^{(Q-1)} \quad (1)$$

Neste sentido, o valor de Q é comunicado às etiquetas pelo leitor de RFID, em que por sua vez cada uma dessas etiquetas seleciona de x uma “janela” (*slot*) de comunicação aleatória para a sua devida resposta. Para que o processo de rastreio e inventário seja efetuado da forma mais rápida e eficiente possível, o maior número possível de *slots* de comunicação x deverá ser ocupado pelas etiquetas RFID, contudo, sem que suceda a ocupação múltipla desses mesmos *slots*, o que levaria a colisões, no contexto da transmissão de dados entre os componentes de RFID em interligação no sistema de identificação e captura de dados automática (Tan & Sidhu, 2022).

Por sua vez, se o leitor detetar que o valor atribuído a Q é demasiado grande (em que quase não são ocupadas janelas de comunicação) ou demasiado pequeno (ocorrendo as colisões indesejadas), o mesmo deverá ser ajustado automaticamente e respetivamente carregado para as etiquetas (com um intervalo de valores para Q de 0 a 15 por definição). Uma vez que este tipo de ajuste poderá consumir algum tempo que possivelmente pode ser inconveniente ao nível da atividade de rastreio, o leitor com este parâmetro de configuração deve ser adequadamente configurado e informado com relação ao número aproximado de etiquetas RFID a serem previstas de passar pelo processo de leitura no campo da antena. Deste modo, o ajustamento do valor adequado para o número de janelas de comunicação logo desde o início do processo de rastreabilidade verifica ser o cenário ideal (Tan & Sidhu, 2022).

Quanto a um outro parâmetro correspondente à “Sessão”, vem que as etiquetas com um Código Eletrónico de Produto (EPC) – norma criada para facilitar a identificação única de produtos e objetos a nível mundial, com base na tecnologia de RFID (e destinada a melhorar a eficiência e a visibilidade no contexto da cadeia de produção) – do tipo “*EPCGlobal Class 1 Gen 2*”. No contexto do sistema de leitura por radiofrequência, suportam quatro “sessões” diferentes, considerando que em cada sessão pode ser atribuída uma respetiva “sinalização” (*flag*) a nível de inventário a uma etiqueta RFID no sentido de indicar se essa etiqueta já foi ou não detetada pelo leitor no âmbito de um processo de localização e inventário de bens. Essas sinalizações a nível de inventário possuem propriedades diferentes consoante cada sessão individual, algo que permite o reconhecimento de um respetivo intervalo de tempo de “persistência” (muito longo) associado a cada uma dessas sessões (Tan & Sidhu, 2022).

3.3.2. Outros aspetos

Os dados capturados por identificação por radiofrequência possuem várias características que se enquadram no conceito de “*Big Data*”, cada vez mais prevalente no panorama de informação e dados em grandes quantidades a terem de ser considerados e geridos pelas indústrias na atualidade. Por um lado, o volume dos dados gerados tornar-se-á enorme à medida que as atividades de produção são realizadas no contexto de uma *smart factory* com integração da RFID, atingindo-se comumente as centenas de dados de RFID. Por outro lado, os dados de RFID na sua apresentação através do código EPC constituem muitas vezes uma informação muito abstrata, quando considerando a utilização de um formato do tipo hexadecimal (sistema de numeração com 16 símbolos ou com valores de dígitos possíveis de 0 a 9, e caracteres). Esta apresentação das informações dos dados dos produtos que se destinam a ser posteriormente interpretadas do modo mais ideal possível para a tomada de decisões na produção, torna as informações de resposta no formato referido não ideais à finalidade das necessidades e objetivos por parte da atividade de gestão ao nível industrial. E, adicionalmente, os dados de RFID estão praticamente sempre interligados a outras informações com relação à produção, entre as quais desenhos técnicos, ordens de produção e pedidos de encomenda, que são difíceis de tratar utilizando outro tipo de abordagens não adaptadas à gestão de dados em quantidades massivas (Feng *et al.*, 2020).

3.4. Análise de Viabilidade e Comparação das Tecnologias

Para uma comparação direta de algumas das características de maior impacto no que concerne à tomada de decisão na implementação da metodologia de rastreabilidade da informação no âmbito de uma empresa industrial (como a que constitui o caso de estudo com a realização de estágio em ambiente profissional), são efetuadas as considerações seguintes.

Efetivamente, o custo estimado para a implementação ou conceção de qualquer projeto constitui uma variável importante para qualquer empresa na tomada de decisões. Desse modo, a tecnologia de identificação por radiofrequência implica custos elevados comparativamente com a tecnologia de código de barras. E, num contexto industrial, o preço de aquisição de todo o *hardware* necessário para a implementação de um sistema baseado em RFID pode atingir vários milhares de euros, tornando-se inevitável a realização um balanço económico e análise de custo/benefício no sentido de avaliação da real aplicabilidade da tecnologia (Fortuna & Gaspar, 2022).

Neste sentido, existem indicadores de produção e medidas de desempenho do processo que podem ajudar bastante na tomada de decisões relativas à implementação de projetos que influenciam diretamente a operação a nível da empresa, pelo que é possível destacar a seguinte métrica comum relevante no contexto (Chanchaichujit, Balasubramanian, & Charmaine, 2020): Desempenho da Produção – avalia a velocidade de produção, ou seja, o rácio entre o tempo dedicado apenas à produção e o tempo total trabalhado, que é a soma de todos os tempos de atividade, podendo incluir, para além da duração da produção, os tempos de paragem devido a

manutenção, falhas, registo de informação e movimentos de transporte, entre outros. Inclusivamente, o tempo de trabalho humano e a energia necessária para o processamento manual de dados são vistos como recursos incorretamente utilizados pela empresa industrial a considerar, uma vez que existem técnicas que permitem automatizar total ou parcialmente este tipo de operações, visando a todo o custo identificar e reduzir ao máximo esses desperdícios, não sendo possível a sua eliminação por completo (Fortuna & Gaspar, 2022).

Por sua vez, a RFID, independentemente dos custos monetários envolvidos, corresponde claramente à tecnologia mais atrativa a adotar devido às suas amplas capacidades de rastreabilidade de uma forma totalmente automática. No entanto, de acordo com o exposto anteriormente, é essencial efetuar uma análise mais aprofundada às necessidades específicas de rastreabilidade a existirem de acordo com o caso real de estudo (pois embora o código de barras não ofereça tantas vantagens quando comparado com a RFID, o mesmo pode ser suficiente face às exigências do fim a que se destina) (Frankó, Vida & Varga, 2020). Assim, apresenta-se um breve esquema comparativo das tecnologias de suporte aos sistemas de rastreabilidade em questão, que se inserem no paradigma da I4.0, com base no que foi abordado atrás, na Tabela 3.

Tabela 3. Comparação entre a tecnologia RFID e o código de barras (Adaptado de Fortuna & Gaspar, 2022).

Identificação por Radiofrequência (RFID)	Código de Barras
Definição	
Tecnologia que usa ondas de rádio para identificar objetos e produtos automaticamente.	Tecnologia capaz de recolher dados e identificar produtos através da leitura de códigos de barras.
Aplicações e impactos na cadeia de abastecimento	
Rastreabilidade e visibilidade automáticas dos produtos; Gestão de inventários, com atualizações em tempo real; Administração e controlo de atividades de transporte com ausência de custos operacionais; Aumento do fluxo de informação em cadeias de abastecimento.	Gestão de inventários; Identificação de ativos em processos de logística; Gestão de transportes, permitindo a identificação e o registo de carregamentos mobilizados.
Vantagens	
Maior capacidade de armazenamento de informação, comparando com o código de barras; A informação contida nas etiquetas pode ser variada e é continuamente reutilizável; Capacidade de identificar vários produtos em simultâneo; Maior precisão dos dados recolhidos, assim como a disponibilidade desses dados em tempo real.	Tecnologia com muitos anos de operação, fornecendo maior confiança à decisão a adotar; Custos de implementação mais baixos em comparação com a RFID.
Desvantagens	
Custo de implementação mais elevado; Falta de normalização e de legislação a nível mundial; Requere níveis elevados de segurança por parte do utilizador, visto que este tipo de tecnologia é totalmente programável por via do seu <i>software</i> . Por esta razão, torna-se um possível alvo propenso a ataques informáticos, sujeitando o sistema à invasão de privacidade e a alterações dos dados contidos nas etiquetas.	Carateres de identificação limitados, restringindo a quantidade de informação que pode ser rastreada; As etiquetas tornar-se facilmente ilegíveis (devido à ação de fatores externos); Na maioria das aplicações, a tecnologia requiere um operador a efetuar a leitura, a “picar”, sobre os ativos, tornando o código de barras uma ferramenta não totalmente automatizada.

3.5. Estudos experimentais

Seguidamente, evidenciam-se três estudos experimentais que, tendo em conta os diversos conceitos e assuntos científicos apresentados e analisados em termos de revisão do seu conteúdo ao longo da seção, apresentam uma abordagem relevante de ser detalhada em função do propósito e objetivos subjacentes ao trabalho. Mais concretamente, verifica-se a apresentação de uma rede de soluções baseada num conjunto de tecnologias e ferramentas associadas à filosofia da I4.0 (incluindo a integração de RFID num sistema de AIDC destinado à aplicação no âmbito de um processo produtivo de conceção e produção de equipamentos de teste de cablagens para automóveis), num primeiro caso de estudo, a aplicação da RFID em logística num armazém industrial, num segundo caso, e a integração da mesma tecnologia ao longo de uma linha de produção de peças e componentes de engenharia, num último caso.

3.5.1. Rede de soluções com base na Indústria 4.0

Com efeito, procede-se, então, a uma abordagem bastante sucinta a uma “Rede de Soluções com base na Indústria 4.0” (I4.0SN), considerando a existência um conjunto de fases sequenciais, que, seguindo um caso de estudo teórico e de cariz concetual, foi proposta com intuito de dar resposta a um desafio, em contexto industrial e a nível do chão de fábrica de uma empresa de produção de equipamentos de teste para a indústria de cablagens (tipo de empresa esta que se enquadra significativamente na realidade industrial em estudo) (Rosa *et al.*, 2022).

Neste sentido, foi previamente efetuado, de modo a dar a surgir uma solução credível e capaz de poder ser implementada em contexto real, o levantamento de um conjunto de informações inerentes a essa empresa com bastante relevância para o estudo, das quais (Rosa *et al.*, 2022):

- A existência de um processo produtivo caracterizado por tempos de preparação (*setup times*) elevados e por um número elevado de atividades com dependência da tomada de decisão do trabalhador;
- A presença de tal empresa num mercado altamente procurado em termos de personalização, em que a constante inovação tecnológica e a busca por vantagem competitiva se tornam questões fulcrais de serem desenvolvidas;
- Um cenário em que quase todos os produtos estão associados a uma ordem específica, e em que raramente se verifica uma segunda ordem para um produto com as mesmas exatas características;
- A existência de ordens de produção que não ultrapassam as 5 unidades por produto, e ordens associadas a uma única unidade são comuns; um cenário no qual a matéria-prima usada para a produção passa por diversas fases de maquinação, em que se usam várias máquinas industriais distintas; e, a verificação de que cada produto resulta da montagem de múltiplas peças específicas, estas que, por sua vez, devem ser claramente inseridas num dado projeto definido, ao nível da sua produção, visto cada projeto ter um conjunto único de peças (Rosa *et al.*, 2022).

No contexto, verificou-se um esforço de Rosa *et al.* (2022) em direcionar à garantia da compatibilidade da solução para com uma gama ampla de realidades industriais, a fim de criar e estruturar um tipo de sistema de produção, com a integração de um conjunto de tecnologias da I4.0 suficientemente flexível para satisfazer os requisitos específicos de cada cliente, e conseguir uma redução em diversos tempos de atividade ao nível do processo produtivo em várias fases sem comprometer o fluxo do respetivo sistema produtivo a considerar (numa abordagem direcionada para a personalização em massa). A rede de soluções I4.0SN consiste, então, num conjunto de seis estágios principais (verificando-se a possibilidade de integração de uma etapa adicional com importância em determinado tipo de casos), ligados entre si pela respetiva rede da organização, numa abordagem baseada na IoT (Rosa *et al.*, 2022), como se pode observar na Fig. 7.

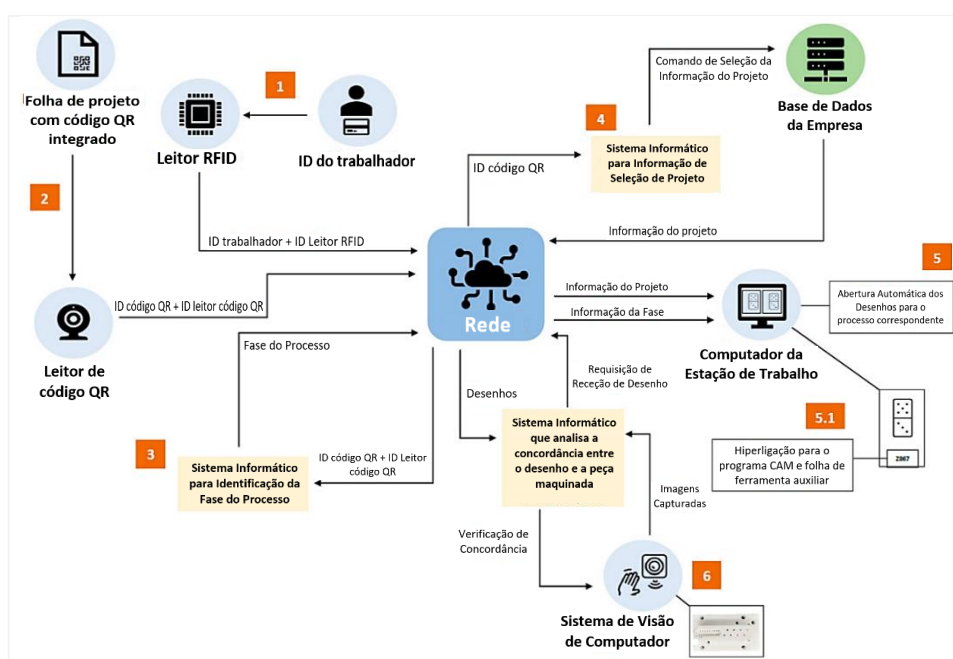


Fig. 7. Proposta conceitual da rede de soluções com base na Indústria 4.0 e suas tecnologias (Adaptado de Rosa *et al.*, 2022).

Por sua vez, através de uma adequada integração da tecnologia RFID com uma outra ferramenta igualmente pertencente ao domínio da I4.0, o Código QR (*Quick Response Code*) – um tipo de código de barras bidimensional que pode ser lido facilmente por um dispositivo digital e que armazena informações sob o formato de uma série de píxeis numa grelha quadrada (frequentemente utilizado para localizar informações sobre produtos numa cadeia de abastecimento) –, o sistema fornece automaticamente os códigos que são necessários naquele posto de trabalho em específico, e naquele momento em concreto, evitando uma sobrecarga de informação. Os códigos são, então, exibidos automaticamente num ecrã de computador nessa estação de trabalho específica, e o processo de maquinação de cada peça é efetivamente executado, de acordo com as dadas informações agora contidas nos mesmos. E, finalmente, as

peças são submetidas a uma técnica de controlo de qualidade automatizada com base num sistema CVS, que compara as características de cada peça individual com os seus respetivos desenhos, conseguindo-se a capacidade de identificar qualquer eventual defeito ou falha, e de relatar o sucedido em conformidade. E, por conseguinte, com este fluxo de tarefas a ocorrer em todos as estações de trabalho do processo de maquinação (Rosa *et al.*, 2022).

3.5.2. Aplicação da tecnologia de identificação por radiofrequência em logística de armazém

O caso de estudo de implementação da tecnologia RFID no âmbito de um armazém logístico, segundo Popova *et al.* (2021), constitui, também, um caso relevante de ser apresentado neste contexto do estado da arte. Efetivamente, quando é necessário um controlo rápido e preciso, o rastreio e a contabilização de numerosos movimentos de vários objectos, a tecnologia em questão, na verdade em todas as fases da circulação de mercadorias, permite otimizar os processos empresariais, considerando a título de exemplo o controlo eletrónico do acesso e da circulação de ativos e fluxos de materiais nas instalações da empresa, bem como a gestão de armazéns (especialmente os de grandes dimensões), entre outros casos.

Nos complexos de armazéns, torna-se possível facilitar o processo de preparação, processamento e envio de encomendas, bem como aumentar a precisão do controlo de inventário. Com efeito, o principal objetivo da implementação da tecnologia de RFID num armazém é a redução de custos através da recolha automática de dados. A tecnologia em questão permite a leitura dos dados da etiqueta para além da linha de visão e através de obstáculos, e as suas vantagens em relação à tecnologia de código de barras, no contexto do estudo, são as seguintes (Popova *et al.*, 2021):

- Capacidade de leitura das etiquetas sem participação humana, o que reduz o número de erros causados pelo fator humano;
- Possibilidade de adição e alteração de dados na memória da etiqueta, o que evita a perda do passaporte eletrónico do objeto;
- Permite a realização de operações de grupo, reduzindo assim o tempo de processamento;
- Fornece informações sobre eventos comerciais em tempo real, o que permite aplicar os princípios inerentes à filosofia “*Just-in-Time*” (sistema de produção que tem como objetivo a eliminação total de desperdícios de forma a alcançar a melhor qualidade possível, ao menor custo possível e com o menor consumo possível de recursos).

Na Fig. 8 verifica-se o esquema de implementação da tecnologia RFID em um armazém industrial, assim como uma abordagem simples às vantagens da sua introdução no processo logístico face ao código de barras, tendo por base a informação contida no estudo de Popova *et al.* (2021).



Fig. 8. Implementação de RFID em armazém (Adaptado de Popova *et al.*, 2021).

Segundo os autores do estudo, com a integração da tecnologia RFID é possível reduzir o tempo despendido em operações internas ao armazém, como a aceitação e o registo de documentação necessária no contexto (Popova *et al.*, 2021). Por sua vez, a Fig. 9 revela as poupanças de tempo em questão.



Fig. 9. Demonstração da otimização de uma operação de logística através da integração de RFID (Adaptado de Popova *et al.*, 2021).

Além disso, a introdução da tecnologia RFID permite reduzir o tempo de processamento e expedição de um saco ou caixa. Assim, com a introdução da tecnologia RFID na cadeia de abastecimento, a eficiência do processamento das caixas, em comparação com a utilização do código de barras durante a aceitação das mercadorias, aumentou em 5,68% (Popova *et al.*, 2021).

É de notar que, contrariamente às vantagens de aplicação da RFID apresentadas atrás, podem surgir os seguintes problemas na aplicação da tecnologia RFID nos armazéns e em contexto industrial de produção (Popova *et al.*, 2021):

- O elevado custo das etiquetas RFID;
- Ameaças informáticas que podem interromper as operações do armazém;
- Potencial pirataria informática, quando qualquer pessoa que tenha recebido um produto com uma etiqueta pode ter acesso à base de dados;

- Exigências excessivas por parte dos potenciais utilizadores.

Assim, pode concluir-se que a difusão e introdução da tecnologia RFID na logística dos armazéns permitirá restabelecer a ordem nos armazéns e efetuar o controlo do inventário em tempo real, desde que a infraestrutura do armazém esteja adaptada às novas tecnologias, não menosprezando as dificuldades que podem surgir em resultado de fatores como os preços e as exigências excessivas dos potenciais utilizadores (Popova *et al.*, 2021).

3.5.3. Aplicação de identificação por radiofrequência em linha de produção simulada para contexto industrial

Relativamente a um terceiro caso de estudo experimental, vem o caso de implementação e teste de tecnologias de RFID no contexto de um ambiente de produção industrial adequadamente simulado no âmbito de uma fábrica de aprendizagem (esta enquanto unidade educacional inserida numa faculdade de engenharia de uma instituição universitária no Canadá), com a finalidade de demonstrar os potenciais da digitalização de processos produtivos, numa perspetiva de I4.0 e de otimização da atividade de empresas e organizações na engenharia e na indústria.

No contexto, foram concebidos e fabricados quatro produtos diferentes nessa fábrica de aprendizagem, nomeadamente: um atuador linear pneumático, uma placa de *Internet of Things* (corresponde essencialmente a componentes básicos de *hardware* e *software* nos quais as aplicações de IoT podem ser executadas e funcionar), uma chave de fendas eletrónica, e uma válvula solenoide (válvula de comando eletromecânico normalmente utilizada para controlar o fluxo de um líquido ou gás). Com efeito, a implementação de um sistema de RFID no âmbito de uma linha de produção destinada a um ou mais dos produtos considerados, no sentido de melhoria do processo de rastreabilidade, foi alvo de investigação e análise no caso de estudo em questão (Centea, Singh, & Boer, 2020).

Por sua vez, os componentes que constituem a válvula solenoide correspondem aos seguintes: o corpo da válvula com portas de entrada e saída, uma bobina solenoide com alojamento, um êmbolo e uma mola. Neste contexto de caracterização do produto considerado, o corpo da válvula foi fabricado utilizando um processo de sinterização a laser de pó metálico (realizado por manufatura aditiva) e depois acabado utilizando uma máquina-ferramenta de comando numérico computadorizado (CNC). Já o êmbolo é produzido com recurso a manufatura aditiva numa impressora 3D de metal ou, em alternativa, cortado utilizando uma máquina de CNC. Ainda, o alojamento da bobina solenoide é fabricado por via de uma impressora 3D de plástico ou com o recurso a um processo de moldagem por injeção (Centea, Singh, & Boer, 2020).

Efetivamente, esta flexibilidade da fábrica de aprendizagem em questão para demonstrar a produção de um produto utilizando múltiplas tecnologias de fabricação pode demonstrar a realidade de processos de fabrico flexíveis de um modo adequado (Centea, Singh, & Boer, 2020).

Na Fig. 10 tem-se uma imagem do interior da fábrica de aprendizagem em evidência (pelo que a mesma se torna relevante de apresentar pelo facto do ambiente interno que se visualiza na fábrica em questão se assemelhar em grande medida ao ambiente industrial interno da empresa na qual o estágio foi desenvolvido, particularmente ao longo de diversas seções no chão de fábrica).



Fig. 10. Fábrica de Aprendizagem no caso de estudo (Adaptado de Centea, Singh, & Boer, 2020).

Prosseguindo com o conteúdo de interesse com relação à aplicação de RFID e digitalização do processo produtivo no caso de estudo, vem que cada estação de produção acima referida, ao longo da linha de fabrico, tem acesso às tecnologias de RFID e de código QR ou, em alternativa, código de barras. Assim, cada componente produzido pode ser associado a uma etiqueta de RFID, ou a um código QR ou código de barras (ou a ambos), e, por sua vez, a informação relacionada com a conclusão dos processos associados à respetiva estação de trabalho em questão pode ser desenvolvida de duas formas, nomeadamente (Centea, Singh, & Boer, 2020):

- Através do devido processo de rastreio (*tracking*) do sistema, mantendo a etiqueta de RFID do produto inalterada e guardando os dados relacionados com o processo no respetivo “Sistema de Execução da Produção” (*Manufacturing Execution System*); ou,
- Através da alteração dos dados armazenados na etiqueta quando os componentes fabricados saem dessa estação de produção.

Efetivamente, ambas as abordagens indicadas fornecem adequadamente informações sobre a fase do processo produtivo que foi concluída para os respetivos componentes em causa. Pelo que,

verificando-se o sistema instalado na fábrica de aprendizagem capaz de implementar ambos os métodos considerados, a abordagem relevante de se analisar (e a que na realidade foi aplicada no estudo experimental) corresponde à do sistema de rastreabilidade (Centea, Singh, & Boer, 2020).

No seguimento do fluxo de produção em estudo, os componentes da válvula solenoide precisam de ser montados. Nesse sentido, uma respetiva ordem de programação da produção (processo vital que implica a criação de um devido calendário que defina uma ordem específica das atividades de produção) criada através do referido Sistema de Execução da Produção é, então, enviada para um sistema de programação específico (*Kanban* eletrónico, tipo de sistema de transmissão de informações que garante que cada posto de trabalho produza apenas o que é necessário para o posto seguinte ao longo do fluxo produtivo) que inclui uma estação de armazenamento físico e efetua a gestão do inventário de componentes no contexto. Considerando a utilização de um tipo de caixas (*kits* de *Kanban* eletrónico) destinado ao transporte de componentes individuais que necessitam de ser fabricados, montados, testados ou preparados para embalagem, verificam-se então os seguintes aspetos (Centea, Singh, & Boer, 2020):

- Cada caixa desse tipo inclui uma etiqueta de RFID aplicada fisicamente. Cada componente fabricado colocado no *kit* é identificado através de códigos de barras ou códigos QR impressos em etiquetas anexadas a cada peça ou impressos diretamente nas peças físicas;
- Cada conjunto (caixa) é deslocado de uma estação de produção para outra, e quando um conjunto chega a uma determinada estação, é registado – um processo que consiste numa leitura do código de RFID da dada caixa através de um leitor de RFID e armazenamento da informação sobre a sua chegada na respetiva base de dados do sistema de execução da produção considerado;
- Depois de todos os componentes físicos incluídos na dada caixa terem sido processados na respetiva estação de trabalho, são colocados de novo na caixa e, por sua vez, esta última é então verificada (é efetuado o seu *check-out*), segundo um processo que envolve a atualização da base de dados do Sistema de Execução da Produção relacionada com essa caixa;
- Quando todos os processos de produção relacionados com os componentes armazenados num desses conjuntos estiverem concluídos, a caixa pode ser reutilizada para outro conjunto de componentes e a etiqueta de RFID é reescrita.

Por sua vez, a respetiva infraestrutura integrada de Tecnologia da Informação/Tecnologia Operacional (IT/OT) construída na Fábrica de Aprendizagem permite ultrapassar alguns dos desafios na adoção e implementação da tecnologia de RFID (entre os quais se verificam os principais desafios identificados anteriormente ao longo da revisão bibliográfica), nomeadamente no que diz respeito: aos riscos de interferência com outras bandas de rádio; à seleção de etiquetas e às limitações de tamanho da memória; à integração de tecnologias de RFID numa plataforma de automação industrial; à utilização de microsserviços em prol da implementação das tecnologias de RFID (Centea, Singh, & Boer, 2020).

No seguimento do último parágrafo, ao implementar tecnologias de RFID de funcionamento na gama de frequências ultra-elevadas (UHF) em áreas específicas, é necessário considerar os riscos de interferências com outras tecnologias ao nível das bandas de radiofrequência em ambiente industrial em particular (pelo que noutro tipo de contexto podem ser ainda consideradas as bandas de radiofrequência a poder interferir no âmbito de outras áreas de atividade). Por sua vez, as aplicações que utilizam bandas de frequência passíveis de uma clara interferência (neste contexto de funcionamento em equivalentes gamas de frequência) podem ser interrompidas ou impedidas de funcionar corretamente por qualquer leitor de identificação por radiofrequência e funcionamento na banda de frequências ultra-elevadas (UHF-RFID) de facto correspondente a um tipo de leitor RFID forte (Centea, Singh, & Boer, 2020).

A fábrica de aprendizagem utiliza dispositivos que utilizam uma tecnologia de radiofrequência sem fios juntamente com 12 leitores UHF-RFID. Por sua vez, cada um dos leitores da fábrica em consideração teve de ser configurado para a potência e as frequências que facilitam a integração bem sucedida com outras tecnologias. Para uma conceção otimizada, cada leitor foi configurado para uma única banda de frequência para funcionar com uma separação mínima de 2,0 MHz entre quaisquer dispositivos. Adicionalmente, a potência de funcionamento também foi otimizada para operações de leitura e escrita para evitar mais interferências. As etiquetas foram processadas em 300 milissegundos e os dados estavam disponíveis para processamento imediato das informações da etiqueta (Centea, Singh, & Boer, 2020). De facto, a fábrica de aprendizagem tem a capacidade de utilizar diferentes tipos de etiquetas de RFID e os correspondentes leitores para diferentes operações e aplicações, com os parâmetros de funcionamento a variar consoante os diferentes tipos de dispositivos de RFID a aplicar (Centea, Singh, & Boer, 2020).

Neste sentido, a Tabela 4 mostra os resultados dos testes de alcance de leitura para esses tipos de RFID e tecnologia de etiqueta, e, a Tabela 5 mostra alguns testes efetuados às etiquetas de RFID no contexto do ambiente industrial de produção e dos vários tipos de interferências a existir.

Tabela 4. Testes de alcance de leitura ao sistema de RFID
(Adaptado de Centea, Singh, & Boer, 2020).

N.º de Etiqueta	Nome da Etiqueta	Amplitude de Leitura (cm)
Etiqueta 1	Avery Dennison AD-550m5	150
Etiqueta 2	AD-171m5	35
Etiqueta 3	AD-321r6	76
Etiqueta 4	Abracon Metal Tag	20
Etiqueta 5	V780-A-JIME-Z3BLI-10	116
Etiqueta 6	Avery Dennison AD-383u7	90

Tabela 5. Procedimentos experimentais às etiquetas de RFID no contexto do ambiente de produção e interferências existentes (Adaptado de Centea, Singh, & Boer, 2020).

N.º de Etiqueta	Alcance de leitura com interferência de metal (cm)	Alcance de leitura com interferência de água (cm)	Alcance de leitura com interferência de cartão (cm)	Alcance - interferência de cartão e plástico (cm)
Etiqueta 1	62	43	130	109
Etiqueta 2	N/A	N/A	25	27
Etiqueta 3	N/A	33	65	61
Etiqueta 4	N/A	N/A	N/A	N/A
Etiqueta 5	67	46	110	111
Etiqueta 6	61	41	90	84

Legenda: N/A – Não aplicável

Uma seleção adequada de uma etiqueta de RFID exige um bom conhecimento da norma da etiqueta, da estrutura da memória e das informações que podem ser escritas e lidas. Os processos de fabrico que utilizaram as tecnologias de RFID utilizaram leitores UHF-RFID juntamente com etiquetas consideradas de “2ª Geração”, com a maior parte destas etiquetas do tipo passivo, podendo ser escritas em qualquer ponto da cadeia de abastecimento. Todos os bancos de memória, com exceção da memória do utilizador, são utilizados na edição das etiquetas durante o processo produtivo. Por sua vez, o código EPC associado a estas etiquetas RFID fornece a função primária de etiquetagem dos produtos, enquanto as respetivas normas de RFID permitem traduções entre códigos de RFID e códigos QR/códigos de barras, facilitando assim a capacidade de transferir dados de localização para peças após a conclusão de um processo. De facto, esta flexibilidade de utilização de códigos de RFID facilita o seguimento de uma peça durante a produção, sendo possível para vários tipos de sistemas industriais (Centea, Singh, & Boer, 2020).

Ainda, vem que cada posto de fabrico integrado na fábrica tem uma respetiva plataforma de controlo incluindo um controlador lógico programável e *hardware* associado (módulos de entrada/saída, módulos de comunicação, e um módulo de interface homem-máquina). Ainda, a plataforma de controlo lógico programável é utilizada para monitorizar e controlar as operações que ocorrem na estação de produção em causa, a fim de comunicar com os leitores de RFID e para o acesso a um *software* cliente específico, capaz de transferir tal informação para um sistema de servidor centralizado a utilizar uma base de dados para rastrear a sequência do processo produtivo, assegurando esta abordagem uma fácil rastreabilidade dos componentes fabricados e abrindo caminho à integração da I4.0 nos sistemas de produção (Centea, Singh, & Boer, 2020).

4. Materiais e Métodos

Em seguida, procede-se a uma descrição técnica do conjunto de *software*, *hardware* e equipamentos a utilizar no âmbito das tarefas do trabalho de estágio no âmbito do mestrado, bem como a uma descrição das técnicas, metodologias de análise e procedimentos a aplicar no decorrer da experiência profissional em questão.

4.1. Materiais

Relativamente ao conjunto de meios materiais aplicados no âmbito do trabalho, verificou-se o recurso tanto a elementos de *hardware* como de *software* respetivos, a evidenciar em seguida.

4.1.1. Hardware

Quanto ao *hardware* e equipamentos físicos utilizados, verificou-se o recurso a: computadores fixos, e portáteis, da empresa, com o devido acesso a todo o conjunto de *software*. Foi também disponibilizado um leque de equipamentos físicos, alguns dos quais projetados e produzidos internamente na empresa, com relação à tecnologia de identificação por radiofrequência e sua operacionalização no âmbito dos trabalhos em ambiente profissional. Estes meios materiais são evidenciados ao longo dos pontos que se seguem.

Por um lado, o equipamento “BRADY FR22” constitui o dispositivo central de uma nova abordagem para sistemas fixos de leitura por RFID com um desenho modular, permitindo diferentes casos de utilização para diferentes segmentos, dependendo dos módulos ou acessórios que lhe estão ligados (Nordic ID Group, 2023b). Na Fig. 11 ilustra-se a estrutura do referido leitor de RFID. No Anexo 2 apresenta-se o desenho deste leitor “BRADY FR22” com indicação das dimensões, bem como um conjunto de especificações técnicas relativas ao mesmo.



Fig. 9. Leitor de RFID *Brady FR22* (Adaptado de Nordic ID Group, 2023b).

Este dispositivo tem um computador incorporado com o sistema operativo “Linux” e ligação a um visor de interface multimédia de alta-definição, o que permite a instalação e operação de aplicações de terceiros e torna o sistema muito mais escalável e controlável do que os leitores RFID convencionais. O sistema em questão fornece fundamentalmente: computação de bordo rápida e fiável com suporte para aplicações personalizadas incorporadas; opções de comunicação amplas que permitem flexibilidade na conceção do sistema e sem necessidade de *hardware* de conectividade externa; um novo motor de RFID de funcionamento na banda de frequências do tipo UHF e baseado na mais recente tecnologia correspondente à “BRADY NUR3-1W”; o desenvolvimento de aplicações *web* incorporadas com interface de utilizador, eliminando assim a necessidade de computador portátil externo; ligação a dispositivos externos, sensores, gatilhos, entre outros componentes, bem como um conjunto completo de interfaces de programação de aplicações disponíveis para controlar o leitor de RFID em questão (Nordic ID Group, 2023b).

O equipamento “BRADY FR22” precisa de antenas RFID externas para funcionar (no sentido de ampliar a sua capacidade e campo de deteção dos sinais de radiofrequência, por forma a que o processo de leitura dos ativos e etiquetas de RFID se realize adequadamente), pelo que, apesar de poder funcionar com qualquer antena do tipo UHF-RFID padrão, é sugerida a utilização de antenas do tipo “BRADY RAIN RFID” (Nordic ID Group, 2023b). A Fig. 12 apresenta a estrutura dessas antenas, bem como um conjunto de especificações técnicas relativas a esse tipo de equipamento em específico.

No Anexo 3 é apresentado o desenho da antena de RFID e são representados os padrões de orientação dos sinais de radiofrequência na transmissão da antena, permitindo de certa forma compreender quais os ângulos e posições ao nível da região abrangida pela leitura do sistema serão mais propícias a identificar os dados de RFID de modo mais eficaz.



Fig. 10. Antena de RFID *Brady Rain RFID* e correspondentes especificações técnicas (Adaptado de Nordic ID Group, 2023c).

De destacar, ainda, a possibilidade de acesso e utilização, por parte da atuação do sistema de *hardware* para a leitura RFID em análise, de um número bastante significativo de etiquetas RFID do tipo passivo (criadas para a finalidade de poderem ser lidas por dispositivos aptos para o processo de leitura por radiofrequência) (Nordic ID Group, 2023b). No contexto, uma tabela com informações relativas aos vários tipos de sistemas de RFID de acordo com regras de leitura e gamas de frequência no seu funcionamento é apresentada no Anexo 4.

Prosseguindo com a descrição dos materiais físicos utilizados para o sistema de identificação por radiofrequência proposto para protótipo, no sentido de avaliar o correto funcionamento e a capacidade do novo sistema para rastreabilidade em estudo, a estruturar para aplicação na seção de Embalagem da empresa, procedeu-se à criação, a nível interno nas instalações da fábrica e com o recurso a diversos processos de corte, de conformação metalúrgica, e outros (no âmbito da produção no chão de fábrica), de uma estrutura de pórtico constituída em aço. Esta destina-se a sustentar o leitor RFID e a antena RFID, acoplados um ao outro e, por sua vez, com a antena acoplada a um suporte apropriado. Este será o componente que estará diretamente fixo ao pórtico, assumindo, assim, um sistema em que é possível a passagem de produtos e ativos com as etiquetas RFID por baixo dessa estrutura. Esta passagem, previsivelmente será realizada com o recurso a carrinhos de transporte, para a colocação desses produtos em caixas e simulando um mero procedimento de logística no contexto da atividade industrial.

Na Fig. 13 é possível visualizar a estrutura completa do sistema de leitura RFID em pórtico.



Fig. 13. Estrutura de pórtico de leitura RFID com a montagem do leitor e da antena.

No contexto, é de destacar que, no decurso dos testes de simulação do sistema RFID, efetuou-se a mudança da posição de fixação e orientação do leitor e da antena, avaliando as possíveis diferenças significativas na capacidade e eficácia de leitura de todas as etiquetas RFID. Foram considerados os casos de o dispositivo de leitura estar posicionado no perfil horizontal superior, nos perfis diagonais na parte de cima do pórtico, nos lados verticais do pórtico (posicionado mais ao centro, alinhado à parte superior ou mais próximo da base), e considerando ainda diversos ângulos de orientação no sentido igual ou oposto ao do lado do pórtico em que se considerará os ativos a passar sob o campo de leitura do sistema em primeiro lugar.

Ainda, tendo sucedido a abertura de uma obra interna para a criação da estrutura do pórtico em aço, ilustra-se a folha de obra que foi impressa no seguimento desse processo no Anexo 5. Também, a folha de desenho em 2D da estrutura principal de pórtico para o sistema de RFID é apresentada no Anexo 6. E, tendo-se verificado necessária, ainda, a utilização de dois espaçadores para criar a distância de afastamento necessária entre a estrutura do referido suporte e a antena RFID ligados um ao outro (deixando o espaço suficiente entre os dois componentes para a presença do leitor RFID no meio desses, apertado à antena, com recurso a porcas e parafusos para a ligação entre todos esses componentes), optou-se por incluir também a apresentação da folha de desenho em 2D desses espaçadores no Anexo 7.

Continuando com a descrição do *hardware* utilizado, verificou-se, obviamente, o recurso a um conjunto de etiquetas RFID, no caso estudado, correspondentes a etiquetas do tipo UHF-RFID. Tal como o próprio nome indica, as etiquetas em questão têm a sua atuação ao nível de ondas de radiofrequência na gama das ultra-frequências. Na Fig. 14 encontra-se ilustrada a estrutura do tipo de etiquetas referido, incluindo ainda uma imagem do rolo de etiquetas disponível para uso no âmbito dos trabalhos do estágio.



Fig. 14. Tipo de etiquetas de RFID usadas para o sistema de rastreabilidade.

De facto, as etiquetas RFID utilizadas são consideradas já de qualidade superior, comparativamente a outros tipos de etiquetas igualmente existentes no mercado, sendo expectável que a velocidade de leitura e eficácia de comunicação por RFID a conseguir, com recurso às mesmas, sejam bastante positivas, e ainda assim permitindo uma relação de custo/eficácia adequada (muito face ao propósito e escala de dimensão do seu uso a considerar

para todo o sistema de RFID a ser planeado para a aplicação no contexto interno de produção industrial da empresa).

Não obstante, o modelo de etiquetas utilizado não é também o melhor absoluto existente atualmente. É de destacar um outro tipo de etiquetas de RFID possível de ser experimentado durante o estágio na empresa, além de ser significativamente mais caro ao nível do custo unitário de cada etiqueta, apresenta propriedades importantes que não se verificam no tipo “UHF-RFID B-423” que foi alvo de estudo. Estas propriedades acabam por ser mais vantajosas em certos aspetos (relativamente a serem especialmente adaptadas para aplicação em metal e poderem ser lidas eficazmente em superfícies deste tipo, não sendo afetadas por fenómenos de interferência eletromagnética, ponto este a ser realçado à frente).

Paralelamente ao conteúdo principal explorado e investigado nos trabalhos práticos no chão de fábrica, considera-se que (caso o sistema de RFID seja identificado como uma mais-valia) o sistema de rastreabilidade poderá fazer uso pontual dessas outras etiquetas mais caras (cuja quantidade adquirida foi também reduzida, com o empenho maior na compra do tipo de etiquetas principal pela empresa) em determinados casos concretos (ajudando no processo e evitando cenários de problema no funcionamento do novo sistema por tecnologia de identificação RFID).

Ainda, de referir que outro tipo de etiquetas foi, ainda, experimentado, logo de início nos trabalhos práticos, modelo esse que, face aos outros, será realmente o menos vantajoso e que não será apropriado, nas demais características (velocidade, alcance, interferência eletromagnética), o qual foi (tal como o referido atrás) comprado pela empresa, em poucas unidades, para motivo único de testagem e realização de experiências em prol da implementação do sistema final.

Em seguida, revela-se o conjunto de produtos (ativos) da “Dinefer” a que se recorreu para proceder aos testes e experiências no âmbito do sistema de leitura RFID, ao aplicar etiquetas de RFID em todos esses produtos, na Fig. 15. As etiquetas foram coladas maioritariamente e em exclusivo sobre superfícies dos ativos constituídas por materiais não metálicos (inserindo-as nas superfícies em material de plástico PVC). Ainda, a colagem de etiquetas RFID em pequenos sacos de plástico com um ativo no interior de cada um foi realizada no caso de dois dos elementos de teste. E, à exceção dos casos mencionados, uma última etiqueta foi aplicada diretamente sobre a superfície metálica (em alumínio) do respetivo produto, no total da amostra de ativos para teste, correspondendo todos os casos, assim, a um total de 15 peças de amostra. Relativamente à condição imposta com respeito à parte metálica nos produtos de teste, a mesma pode ser explicada por uma preocupação relevante no que concerne ao desenvolvimento das experiências de um modo planeado e com vista à obtenção dos resultados o mais úteis possíveis. Assim, tendo em consideração o fenómeno de interferência eletromagnética (mencionado no estado da arte), parte-se da hipótese, no início dos testes definitivos, que esse fenómeno afetaria a leitura adequada de todas as etiquetas da amostra. No contexto, é de referir que a etapa de colocação das

etiquetas de identificação (codificadas e associadas a uma série de dados relevantes da produção, e identificando unicamente cada ativo) ficará à responsabilidade do departamento de Qualidade.

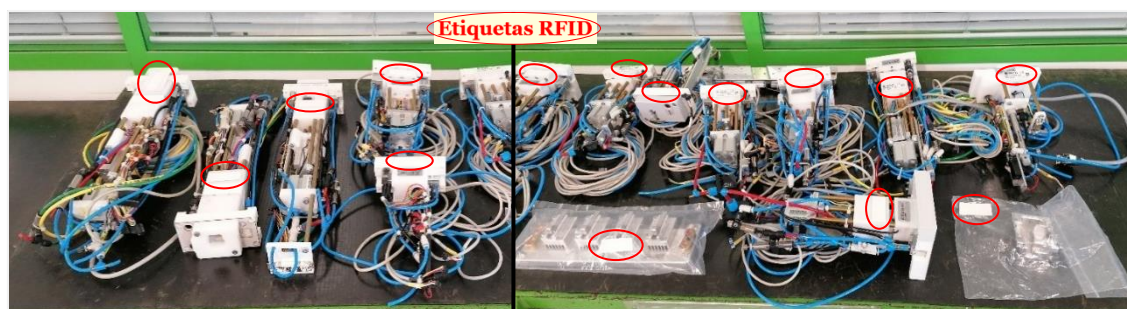


Fig. 15. Ativos da empresa que foram usados para os testes de RFID.

No raciocínio anterior, das 15 peças em estudo, uma dessas peças foi, então, propositadamente identificada com uma etiqueta RFID colada em superfície metálica para averiguar a real influência desse fator. Através das experiências a realizar na fase final, houve também a intenção de avaliar a possível interferência adicional das superfícies metálicas dos produtos (sobretudo aqueles cuja constituição era mais densa em metal, de alumínio ou de latão) na boa leitura e identificação de outras etiquetas (noutros ativos da amostra) que ficariam “tapadas” pelo metal (em algumas das peças ainda com alguma espessura), a sobrepor-se entre si e a antena.

Adicionalmente, tomou-se como hipóteses iniciais às simulações de leitura por radiofrequência, outros possíveis elementos e fontes passíveis de afetar a identificação e recolha eficaz e correta das informações (dos códigos EPC) nas etiquetas de RFID de teste.

Para finalizar, apenas referir que, numa perspetiva menos relacionada com o problema em estudo (mas com relação à empresa), os produtos da “Dinefer” que foram usados para os testes correspondiam, na sua maioria, a módulos electropneumáticos. Este que é ainda o tipo de produtos da empresa que constitui o seu negócio principal, com o maior volume de vendas.

Os dois ativos que ficaram dentro de sacos de plástico correspondem a artigos em que a inserção das etiquetas de RFID para a sua identificação não era possível de ser feita numa superfície não metálica. Estes dois ativos correspondem a objetos constituídos em alumínio em toda a sua superfície. Por pressuposto, assume-se que, para o tipo de processo de rastreabilidade a ser explorado, as etiquetas de RFID (tal como o que se verifica para os códigos de barras impressos, fixos também aos itens em si) devem ser colocadas diretamente nos objetos ou produtos que identificarão de forma única, sendo essa a forma adequada de atuação. Não obstante, o facto de se ter procedido à colagem dessas etiquetas do modo indicado em primeiro (nos sacos), deu lugar a uma característica que acabou por ser também útil para efeitos de resultados de teste com relevância para a avaliação do funcionamento da leitura RFID. Na verdade, muitos produtos em estado de espera (para aprovação de qualidade, e posterior identificação pelo operador de embalagem e organização pelas caixas de encomenda a seguir para expedição e envio ao cliente)

no âmbito da seção de Embalagem estão, efetivamente, dentro de sacos, e, portanto, a verificação de se o novo sistema consegue ler sempre bem as etiquetas nos sacos de plástico, para a identificação desses dois ativos de teste (efetuando simulações de passagem pelo campo de leitura do sistema por um número significativo de rondas) torna-se assim algo fulcral.

No Anexo 8 é possível visualizar o total dos 15 ativos de teste, devidamente etiquetados, numa só imagem, a maiores dimensões.

Seguidamente, a Fig. 16 apresenta uma representação dos vários ativos de teste colocados dentro de caixas de cartão para embalagem da “Dinefer”, com diferentes tamanhos, e com umas a ficarem no interior de outras de uma forma específica, considerando a fase principal do procedimento de experiências que foram realizadas.



Fig. 16. Ativos com as etiquetas RFID para teste e sua disposição pelas caixas.

Com este procedimento, teve-se em vista a simulação de um cenário comum de organização de módulos e outros produtos da empresa, de acordo com pedidos de encomenda por parte dos clientes. Este procedimento é realizado na seção de embalagem e com um empenho cuidado por parte dos operadores de embalagem no sentido de evitar ao máximo a ocorrência de falhas na contabilização dos ativos e, em paralelo a isto, no agrupamento dos produtos pelas ordens de encomenda e caixas, para expedição.

Por sua vez, apresenta-se na Fig. 17 uma vista da seção de Embalagem da “Dinefer”, na qual se efetuou o processo experimental e de teste cujos dados finais recolhidos serão evidenciados nos resultados. Nesta figura é também indicado o carrinho de transporte de caixas de produtos utilizado posteriormente para a simulação de rondas de passagem dos ativos com etiquetas RFID sob o campo de leitura do sistema de pórtico. Inclui adicionalmente uma imagem do total de 7

caixas usadas para as experiências (ao distribuir os produtos pelas mesmas, sobrepondo algumas das caixas de menor dimensão a outras com maior tamanho).

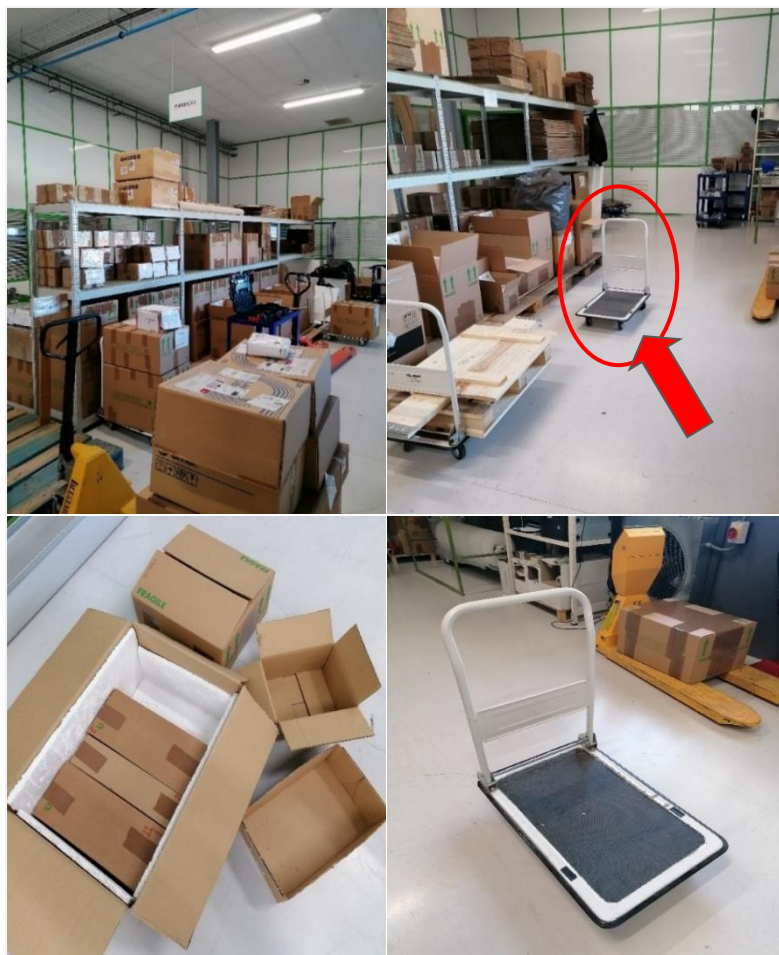


Fig. 17. Seção de embalagem e carrinho de transporte usado para os testes.

Ainda quanto ao *hardware*, vem a consideração de uma impressora (SATO CL4NX Plus) para a impressão das etiquetas de RFID, necessária para a devida identificação de cada etiqueta de acordo com o código que lhe é atribuído e ao nível da informação que deve transmitir quando for lida pelo sistema de rastreabilidade em estudo. Este tipo de impressora já é detido pela empresa desde o início dos trabalhos de estágio realizados. No Anexo 9 é possível visualizar essa impressora industrial de etiquetas de RFID.

Por último neste ponto, é de mencionar que outros dispositivos destinados ao processo de leitura por RFID também presentes e disponíveis para utilização na empresa, igualmente em fase de teste e de investigação e desenvolvimento, foram também explorados durante o estágio, nomeadamente: um leitor de RFID-UHF fixo “Nordic ID Sampo S3”, potente no seu funcionamento, versátil ao providenciar diversas gamas de frequência essenciais num único dispositivo, e também adequado para múltiplos casos de utilização em ambiente industrial

(Nordic ID Group, 2023a); o leitor de RFID portátil (de mão) “Nordic ID HH8x”; e, o dispositivo “Nordic ID Stix”, um leitor de RFID-UHF do tamanho de uma *pen drive* e com funcionamento através de ligação por cabo de tipo USB (adaptado para inserção em qualquer computador).

Estes dispositivos destinam-se a serem integrados no processo de rastreabilidade no âmbito de outras áreas do fluxo de produção. No Anexo 10 é possível visualizar esses equipamentos adicionais de leitura de RFID.

4.1.2. Software

Relativamente a todo o *software* aplicado no contexto da experimentação do sistema RFID em estudo, é realizada uma breve exposição de cada um desses componentes em seguida. Verificou-se, para tal, o recurso a um conjunto de ferramentas fornecidas pela empresa “Nordic ID”, pertencente ao grupo empresarial “BRADY”, no sentido de configurar, criar e testar diversas funcionalidades no contexto do sistema de RFID em estudo.

É de destacar que uma versão “Demo” do *software* “Nordic ID RFID”, acessível sem restrições na própria plataforma virtual da empresa, é de facto usada para realizar testes de leitura e, se tal for pretendido, a recodificação (escrita) de etiquetas RFID, entre outras propriedades possíveis. Na Fig. 18 é possível visualizar a janela inicial na interface do referido *software*, verificando-se que o dispositivo em estudo, o leitor “BRADY FR22”, é ligado com sucesso ao computador de trabalho fornecido pela empresa e que permite o devido o acesso à rede sem fios principal da empresa. Esta plataforma digital fornece estatísticas sobre o desempenho da leitura e capacidades de registo para uma avaliação mais completa, estando ainda disponível em múltiplos sistemas operativos. No Anexo 11 é apresentado o *software* para configurações que, em conjugação com o *software* “Demo”, foi aplicado para o desenvolvimento dos trabalhos práticos em contexto de estágio.

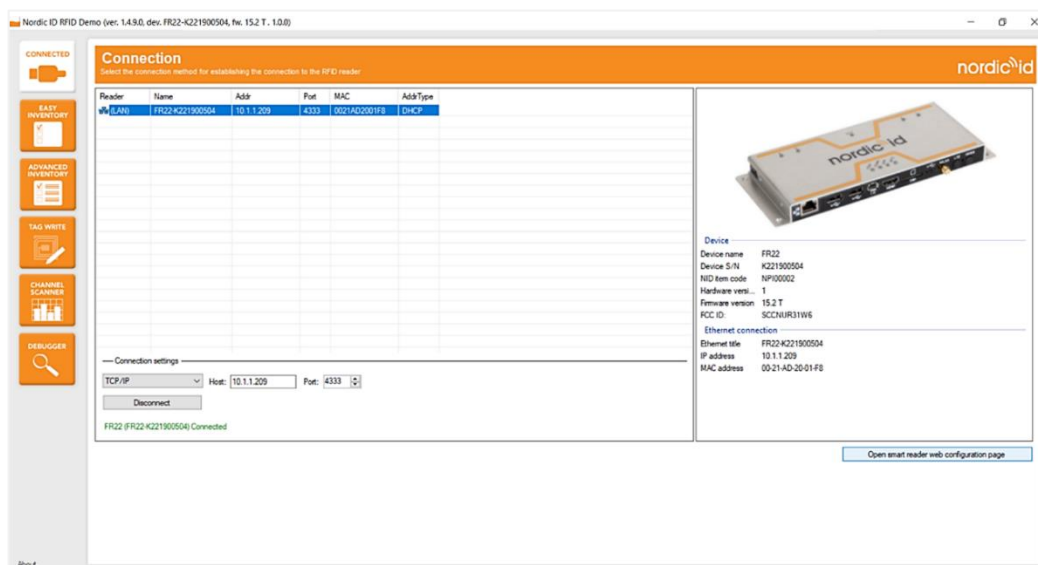


Fig. 18. Interface do *software* aplicado para o teste do sistema de leitor fixo RFID.

No Anexo 12 é ilustrada uma interface de utilizador na *web*, que pode ser inclusivamente acedida a partir do *software* de configurações referido atrás, dedicada, também, à configuração e desenvolvimento de *software* e programação relativamente ao leitor RFID. Efetivamente, toda a componente de *software* disponível no momento de realização do estágio, e a funcionar nas devidas condições no que concerne à correta identificação de ativos industriais por via da tecnologia RFID, foi suficiente e indispensável para o cumprimento dos objetivos propostos, na avaliação do novo protótipo. Para tal, torna-se importante realçar que, a par com a metodologia empenhada no *software* para o processamento dos dados de leitura RFID, foi feita a atribuição do respetivo conjunto de dados “Número de Obra (Obra) + Posição na Obra (PosO)”, o qual identifica cada ativo de uma forma única na “Dinefer”, a cada uma das etiquetas RFID de teste (associada então ao respetivo produto), ao nível do seu código (considerando uma leitura do tipo passivo desse código, cuja informação e dados da produção associados destinam-se a ser processados depois através dos servidores e bases de dados a ter em conta).

Para finalizar, ilustra-se na Fig. 19 um exemplo da execução do *software* de RFID para a identificação de algumas etiquetas, considerando a opção de inventário simples para a determinação dos dados de RFID. Infelizmente, não se verificou possível a visualização dos códigos das etiquetas RFID, na sua identificação única, num formato de código capaz de apresentar explicitamente o número e posição na obra associado a cada. Tal situação constituiu um inconveniente para a melhor perceção e compreensão do significado de cada um dos resultados gerados no âmbito da lista de etiquetas captadas a surgir na interface do *software*. De facto, o formato de código possível de se ter (considerando a versão de teste do *software*) foi o formato hexadecimal. Posto isto, optou-se por indicar também alguns dos códigos de número e posição de obra em formato de texto normal associados a essas etiquetas nesta Fig. 19. Não obstante, é de realçar que tal cenário negativo não ocorrerá, obviamente, no sistema de rastreabilidade em estudo no seu estado final, com o *software* interno desenvolvido totalmente estruturado, e caso se constate efetivamente a sua mais-valia de implementação para a empresa.

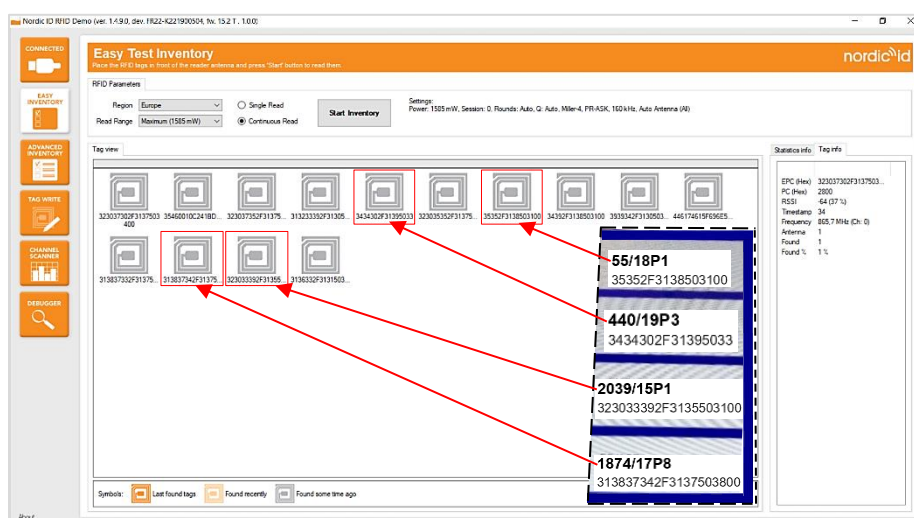


Fig. 19. Atuação do *software* de RFID na identificação de várias etiquetas.

No Anexo 13 é evidenciada a ferramenta de recodificação de etiquetas RFID disponível para utilização no âmbito do *software* principal considerado.

4.2. Métodos

Antes de proceder a qualquer descrição de métodos e ações implementadas com o intuito de alcançar os objetivos pretendidos, é necessário detalhar o que é alvo de prática pela empresa previamente à mudança em avaliação, no contexto da sua atividade de rastreabilidade ao nível do chão de fábrica, estudando quais os pontos a focar e quais os que devem ser melhorados. Com efeito, efetuou-se um ponto de situação quanto ao estado atual da tecnologia utilizada para a rastreabilidade dos fluxos de produção, em geral a toda atividade industrial da “Dinefer” e em específico para uma seção em que a temática em estudo se torna particularmente relevante. Verifica-se que a empresa se encontra num estado de transição no que concerne a métodos operativos de registo de informação. Esta transição surge, em grande parte, devido à empresa, com a estabilidade financeira atual, pretender desenvolver um avanço tecnológico no contexto.

Atualmente, já com a aquisição do novo sistema de *hardware*, evidenciado e descrito anteriormente, por parte da “Dinefer” (desde o começo da realização dos trabalhos de estágio), verifica-se que todo o registo de informação é efetuado, de momento, através da tecnologia de código de barras (a qual também foi caracterizada no capítulo do estado da arte). É de referir, ainda, que a respetiva componente de *software*, a estar interligada ao sistema em questão, será desenvolvida em definitivo por uma equipa especializada de engenheiros informáticos e implementada no sistema de rastreabilidade da empresa num futuro muito próximo.

Por sua vez, os dados referidos revelam um claro comprometimento da gestão de topo quanto à prossecução de alterações necessárias para uma melhoria do desempenho da rastreabilidade e da respetiva comunicação interna. A este comprometimento encontra-se naturalmente um investimento financeiro inicial associado (tanto com os componentes de *hardware* já adquiridos, como com os custos monetários adicionais a terem de ser ainda suportados). Inclusivamente, durante as várias reuniões realizadas com os responsáveis da gestão de topo, bem como em conversação com os mesmos ao nível do chão de fábrica e ao longo do acompanhamento físico da produção, foram identificadas diversas oportunidades de melhoria quanto a permitir uma melhor resposta de atuação em diversas lacunas existentes, no contexto da atividade de rastreabilidade, numa total concordância de opinião entre responsáveis da empresa e estagiário.

Neste sentido, foi desenvolvida uma metodologia caracterizada pela realização de um conjunto de estudos experimentais a nível da identificação, por via de uma tecnologia de comunicação de dados sem fios, de ativos, ou produtos, em ambiente industrial. Esta metodologia envolveu o conjunto propriamente dito de métodos seguidos nos trabalhos de estágio curricular. Para o caso em estudo, é respeitante a uma seção em específico no âmbito do processo produtivo da empresa considerada.

Por sua vez, tais estudos são baseados na cronometragem dos tempos de rastreabilidade conseguidos através do recurso a esta nova tecnologia, teoricamente capacitada com mais vantagens quando comparada com o tipo de tecnologia atualmente a funcionar (tecnologia de código de barras) para os procedimentos de rastreabilidade a serem analisados. Espera-se, portanto, que os tempos de identificação desses ativos sejam mais reduzidos. Pretende-se a otimização de tempos de ciclo e redução de “tempos mortos” de produção, no sentido de melhorar o fluxo de trabalho para a fase do processo produtivo subsequente à que será analisada, para o caso, a fase posterior ao processo de embalagem dos produtos da “Dinefer” já devidamente aprovados pela Qualidade e em conformidade com todos os requisitos de teste exigidos. Adicionalmente, concerne o importante auxílio em situações de necessidade de rápida deteção e remoção de determinados ativos já inseridos em embalagens prontas para expedição (isto para correção de falhas efetuadas na alocação dos produtos pelas embalagens, tendo em conta as ordens de encomenda, obras internas, entre outros elementos, ou eventualmente para a retirada do dado produto para o seu uso numa outra seção de produção por razões específicas, a um nível interno de atividade). Pretende-se que os tempos sejam, de facto, bastante melhorados por via da aplicação do sistema de comunicação de dados inovador, no contexto da realidade atual da empresa estudada, estando isto na base do conteúdo evidenciado na revisão bibliográfica.

Então, deverá ser efetuado o levantamento das necessidades subjacentes ao problema em estudo, bem como uma devida listagem destas. Esta etapa constitui-se como ponto de partida para todo o conjunto de métodos a empenhar nos trabalhos de investigação e desenvolvimento em prol do alcance dos resultados pretendidos. Verificar-se-á, por sua vez, a demonstração de um protótipo de sistema RFID, na seção de Embalagem da “Dinefer”, a par com a proposta de implementação de um pórtico com integração desta tecnologia de RFID, para fins de rastreabilidade e otimização do processo em questão. É necessário ter em consideração que a sua aplicação incidirá em cada produto da empresa (em cada módulo electropneumático, maioritariamente), com as etiquetas de RFID a serem adicionadas diretamente nesses produtos (e não nas embalagens, ou caixas). De notar que a fase produtiva a focar no âmbito da proposta de implementação em estudo verifica-se antes da Expedição (esta que sucede depois) integrando-se assim um propósito de aplicação de uma ferramenta da Indústria 4.0, para melhoria do processo de rastreabilidade de ativos da “Dinefer”, com extrema relevância e com elevado potencial de otimização tecnológica neste contexto.

A este ponto da descrição e análise à implementação (considerando todo o material à disposição e métodos a aplicar), seguir-se-á, então, a exposição dos primeiros testes piloto realizados (no contexto da parte prática do estágio). Estes vão no sentido de regularizar todo o método de funcionamento do sistema em estudo, verificando se todas as necessidades estão a ser satisfeitas, e, se possível, atingindo todos os objetivos propostos, bem como analisando se toda a informação está a ser devidamente rastreada (pontos estes cruciais para o bom desempenho da implementação), e obviamente comparando o cenário anterior com o cenário futuro a ser projetado, tudo isto no decurso do próximo capítulo.

5. Resultados

Em seguida, procede-se à apresentação dos resultados obtidos no decurso das simulações de teste de identificação por radiofrequência realizadas para o protótipo de sistema fixo de leitura RFID, cujo desempenho e mais-valia, no contexto da atividade de rastreabilidade da empresa, se pretende averiguar.

5.1. Introdução

No seguimento do tópico anterior, vem, por motivos óbvios, a decisão de implementar toda a metodologia e operação de experiências (simulações) de teste e de registo em paralelo utilizando os dois processos. Ou seja, utilizando o método corrente, através da tecnologia de código de barras, e utilizando, então, o novo modelo de sistema de leitura dos ativos, ou produtos, assente na respetiva estrutura de pórtico de RFID destinado a permitir a passagem de carrinhos de transporte com as caixas com os artigos a conterem as etiquetas para a sua identificação e para os fins de rastreio pretendidos, para o caso, ao nível da seção de Embalagem da “Dinefer”.

No Anexo 14 é possível visualizar o posto de trabalho com o computador em que será possível a inserção manual dos códigos, considerando o esquema por códigos de barras, quando seja necessário. Esta condição tem em conta ainda a possibilidade de situações em que as etiquetas de código de barras adicionadas em produtos dentro de sacos não consigam ser lidas pelo operador de embalagem (com o mesmo a usar um leitor de código de barras) devido ao facto de terem sido coladas em partes que, já com esses produtos embalados em saco, acabam por ficar obstruídas por fios ou outros elementos. Deste modo, só com a reabertura dos sacos seria possível afastar esses obstáculos e deixar livre o campo de visão para o código (cenário que não é apropriado).

Assim, considerando o sistema de código de barras, e uma amostra de teste com 14 ativos (e não o total de 15 que é suposto, motivo o qual para isso pode ser entendido na seção que se segue), foi cronometrado o tempo despendido com a leitura e identificação desse total de ativos. A estes foram adicionadas etiquetas de códigos de barras para o efeito, previamente aos testes principais no protótipo de sistema RFID. Com a cronometragem desse tempo por um total de 20 repetições, estimou-se um valor médio de tempo de leitura do código de barras do total dos ativos de aproximadamente 45,2 segundos, com um desvio padrão associado de 4,866 segundos. Isto, não considerando a necessidade de inserção manual de qualquer um dos códigos dos ativos da amostra (algo que levaria a um tempo despendido ainda maior).

No contexto, ilustra-se um dos muitos exemplos de configuração de uma folha (pedido) de encomenda e caixas da “Dinefer” com os produtos prontos para expedição, dispostas em estantes na seção de embalagem, no Anexo 15.

5.2. Sistema de identificação por radiofrequência

Os resultados dos testes de leitura conseguidos através do protótipo de sistema RFID, considerando a amostra de teste do total de 15 ativos da “Dinefer” com as etiquetas RFID (para sua identificação única) apresentam-se sob a forma de vários gráficos de barras na Fig. 20.

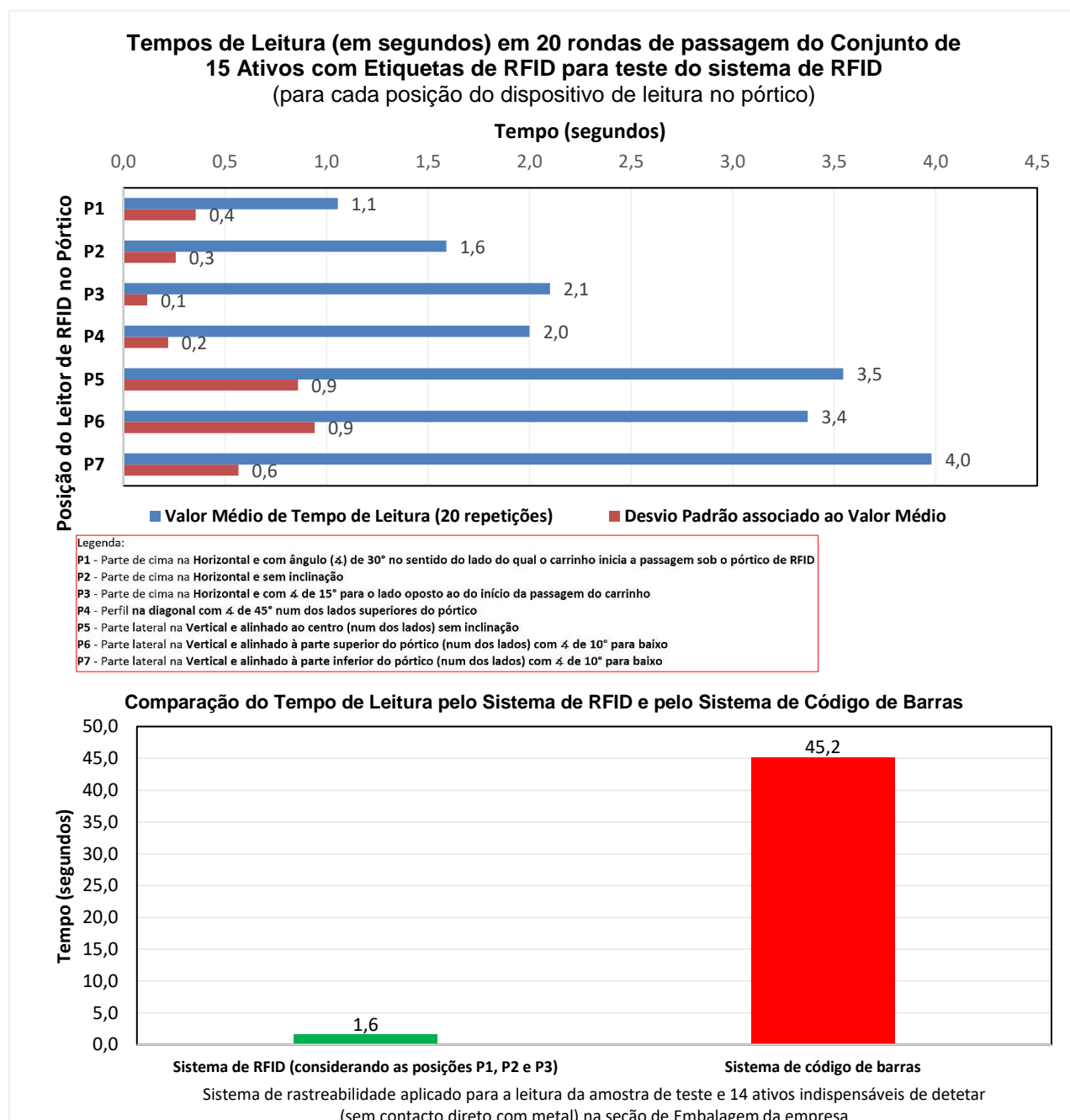


Fig. 20. Resultados das experiências de leitura dos ativos de teste por via do protótipo de sistema de RFID com o leitor *BRADY FR22*.

Pelo facto de se terem determinado os valores de tempo total de leitura através do sistema RFID, na verdade, com uma precisão de valor na ordem das milésimas de segundo (no estado original dos dados obtidos para cada repetição de passagem dos ativos pelo campo de leitura do sistema, por baixo do pórtico, e respetiva posição do leitor e antena RFID no pórtico), com recurso a uma das funcionalidades do *software* de RFID utilizado (que contabiliza o tempo despendido na leitura de um dado número de etiquetas RFID), ilustra-se no Anexo 16 uma tabela com todos os valores de resultado expostos atrás sem os arredondamentos às décimas de segundo.

Prosseguindo então com a indicação por escrito de dados obtidos relevantes de serem destacados no contexto de estudo, considerando os resultados apresentados atrás, e remetendo ainda para os dados da tabela no Anexo 16 (que por sua vez se organizaram nos gráficos na Fig. 20), vem que:

- Existiram algumas deteções falhadas, ao nível da não leitura (identificação) de todas as etiquetas da amostra inseridas em superfície não-metálica dos respetivos produtos que identificam (ou seja, na deteção de pelo menos 14 das 15 etiquetas de RFID no total) transversalmente a todas as 20 rondas de teste de passagem do conjunto experimental sob o campo de atuação do sistema, isto no caso das posições do leitor de RFID nas partes laterais do pórtico e efetivamente com o leitor não alinhado verticalmente ao centro da estrutura desse pórtico (correspondentes essas posições do leitor às duas últimas presentes em linha na dada tabela no Anexo 16), pelo que estas falhas de deteção em questão sucederam em pelo menos 4 rondas de passagem intercaladas com rondas não falhadas (neste contexto de leitura inequívoca de todas as etiquetas não admissíveis de falha de identificação por interferência direta do elemento à qual estão coladas, nem metal, ou outro material em tal circunstância);
- Os valores máximo e mínimo de tempo de leitura resultantes, com esses valores a representar efetivamente rondas de teste em que a condição de leitura dos 14 ativos imprescindíveis de serem detetados foi satisfeita, foram de 4,9 e 0,7 segundos, respetivamente, em aproximado.

Por sua vez, resulta ainda que em nenhuma das rondas de passagem do conjunto de ativos (respetivamente dentro das caixas e sobre o carrinho de transporte) pelo sistema de leitura RFID se conseguiu, efetivamente, rastrear e identificar o total dos 15 ativos nesse conjunto. Não obstante, este facto não compromete, de todo, a possibilidade de se retirarem conclusões claras de benefício viável e totalmente aplicável em termos práticos do protótipo de sistema RFID (envolvendo tanto o leitor e antena RFID como também o próprio tipo de etiquetas em integração) no decurso do procedimento de simulação das operações de rastreio feitas na seção de atividade envolvida que foi executado. Isto é, o ativo que não foi identificado por nenhuma vez, tendo sido sempre o mesmo (e a mesma etiqueta RFID e respetivo código) ao longo de todas as repetições de teste, funcionou como um elemento diferenciado de todos os outros na amostra e cuja falha forçosa na sua deteção constituiu-se como um cenário predeterminado, tendo em jogo o fenómeno de interferência eletromagnética, e intenção de averiguação da sua real influência no processo de rastreio em estudo.

Prosseguindo com uma abordagem ao conteúdo da tabela de resultados obtidos com a aplicação do novo sistema, vem que o procedimento de testes realizado teve em consideração um total de 20 rondas de passagem do carrinho com as caixas de teste (e produtos com as etiquetas de RFID no interior) para cada respetiva posição de fixação, e ângulo de inclinação, do leitor e antena de RFID, no pórtico, que se considerou, principalmente para efeitos de comparação entre as várias alternativas de orientação do sistema de leitura com respeito à sua eficácia e velocidade na leitura.

É de referir, ainda quanto às opções de posição e inclinação do equipamento de leitura RFID, que a configuração considerada por último na tabela, correspondente a uma posição vertical e muito próxima da base (do chão) num dos perfis laterais do pórtico, foi definida com o ângulo de 10° para baixo (orientação esta que, antes de se compreender a justificação do seu uso, pode parecer desnecessária) de um modo propositado. Visa averiguar em maior detalhe a capacidade de alcance de leitura RFID do sistema mesmo em posicionamentos no pórtico em que os ativos com as etiquetas não atravessem diretamente à frente da área total abrangida pela estrutura da antena RFID (neste caso, na área abrangida pelas dimensões da antena ao longo de um plano horizontal).

Alguns, ou a grande maioria, dos ativos a identificar podem ainda passar um pouco ao lado dessa área, mas ainda assim pelo interior do pórtico (e com a amplitude de deteção por parte do sistema em estudo a poder superar as expectativas, ou, ao invés, a não corresponder à sua função de identificação automática de todos os produtos a circularem pelo interior desse pórtico).

Ainda, vem, segundo a tabela de dados no Anexo 16, que o sistema de RFID em estudo conseguiu identificar 14 ativos da amostra experimental em todas as repetições de teste realizadas para as orientações do conjunto “leitor RFID + antena RFID”: na horizontal e parte de cima do pórtico (3 variantes), na diagonal em 45° em qualquer um dos lados de cima, e, também, lateralmente e quando alinhado ao centro do pórtico, sem a consideração de inclinação para cima ou para baixo (para as 5 primeiras configurações do sistema de rastreio consideradas nessa tabela).

Considere-se que o tempo de leitura dos ativos de teste por via do sistema de código de barras (t_0) é aproximadamente de 45 segundos. E, verifique-se a consideração dos tempos médios de leitura obtidos para as 3 posições do leitor e antena RFID na horizontal e parte de cima do pórtico. Nestes, os tempos de rastreio e identificação de todas as etiquetas RFID que deveriam ser lidas de modo eficaz (à exceção da etiqueta colada na superfície metálica, por razões justificadas, na influência da interferência eletromagnética para esse tipo de etiquetas em uso nos testes) foram os mais baixos, comparativamente às outras alternativas (em que nas 2 últimas não se conseguiu ler todas as etiquetas em todas as rondas realizadas não foi conseguida), com os valores $t_1 = 1,06$, $t_2 = 1,59$ e $t_3 = 2,10$ para a média dos dados de leitura para a posição na horizontal e inclinada para o lado do início da trajetória do carrinho sob o pórtico e campo de deteção da antena, horizontal sem qualquer inclinação e horizontal com ângulo de inclinação no sentido contrário ao do início da passagem do carrinho, respetivamente, obtidos através dos seguintes cálculos (a apresentar em linha de sequência com a ordem que estão indicados atrás):

$$t_1 = \frac{0,8 + 0,9 + 1,7 + 1,7 + 0,9 + 0,9 + 0,8 + 0,9 + 0,7 + 1,8 + 1,5 + 1,5 + 0,8 + 0,8 + 0,9 + 0,9 + 0,9 + 0,9 + 0,9 + 0,9}{20}$$

$$t_2 = \frac{1,8 + 1,7 + 1,9 + 1,8 + 1,8 + 1,9 + 1,9 + 1,9 + 1,4 + 1,4 + 1,4 + 1,6 + 0,9 + 1,5 + 1,6 + 1,6 + 1,5 + 1,4 + 1,3 + 1,5}{20}$$

$$t_3 = \frac{1,9 + 2,1 + 2,1 + 2,3 + 2,2 + 2,0 + 2,1 + 2,1 + 2,3 + 2,0 + 2,1 + 2,2 + 1,9 + 2,1 + 2,2 + 1,9 + 2,1 + 2,1 + 2,1 + 2,2}{20}$$

Por sua vez, vem a consideração do tempo médio de leitura da amostra de ativos da “Dinefer” pelo sistema RFID (t_F) como a média dos 3 valores considerados atrás (com $k = 3$), do seguinte modo:

$$\text{Tempo de Leitura por RFID } (t_F) = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{k} = \frac{1,06 + 1,59 + 2,10}{3} = 1,58 \text{ segundos}$$

E, finalmente, vem que a melhoria no tempo de rastreo dos ativos com as etiquetas de RFID corresponde a:

$$\text{Otimização de Tempo de Leitura (14 ativos)} = t_0 - t_F = 45,2 - 1,58 = 43,62 \text{ segundos}$$

No contexto, as superfícies metálicas refletem a onda emitida pelo leitor de RFID e causam interferências que as etiquetas normais de RFID não conseguem suportar. Para ultrapassar este obstáculo, etiquetas especiais de RFID que utilizam uma camada adicional de material que separa a antena de RFID do objeto metálico em que a etiqueta é aplicada podem ser incorporadas, tipo de etiquetas esse que poderá colmatar as situações de produtos com superfícies apenas em metal no cenário de implementação futura do sistema.

Na Fig. 21 ilustram-se, então, os diversos resultados e parâmetros relevantes no contexto do processo de RFID, segundo o protótipo em estudo.

Tais resultados foram gerados pelo *software* de RFID que foi executado, e apresentados na interface do mesmo no computador da empresa usado. E, no caso, tinham já passadas 56 rondas de simulação de passagem do conjunto de ativos sob a região de leitura da antena no pórtico (isto na perspectiva do total de 140 rondas de teste realizadas para o total das sete posições diferentes de acoplamento do sistema de leitura no pórtico), remetendo assim para uma das rondas a considerar o conjunto do leitor e antena de RFID posicionado na direção horizontal e na parte de cima da estrutura (mais especificamente, numa das últimas repetições de passagem do carrinho por baixo com o dispositivo de leitura centralmente alinhado no perfil superior de aço e sem qualquer ângulo de inclinação em torno de um eixo horizontal (sem qualquer orientação diagonal portanto)).

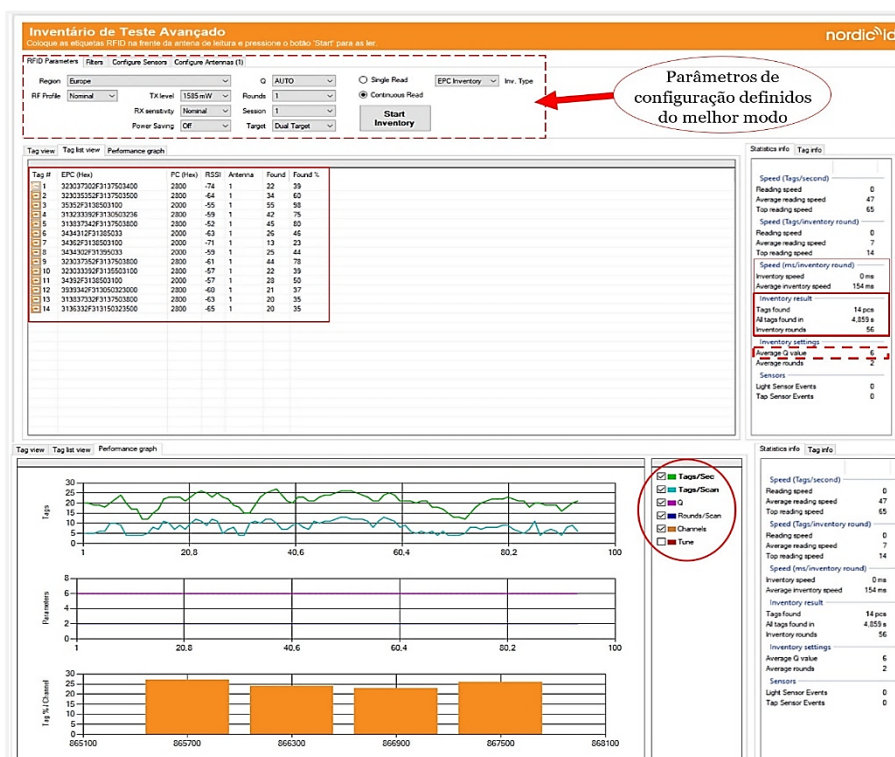


Fig. 21. Resultados gerados no software de RFID segundo o procedimento de testes.

Efetivamente, os dados de interesse obtidos verificaram-se expostos por 3 separadores distintos – janela com a lista de etiquetas detetadas (*Tag list view*), gráfico de desempenho (*Performance graph*) e vista simples das etiquetas lidas (*Tag view*) – no âmbito da opção de funcionalidade do software correspondente ao Inventário de Teste Avançado (*Advanced Test Inventory*), opção essa do programa de leitura RFID que fornecia a maior quantidade de definições de entrada possíveis, por forma a configurar o dispositivo com as instruções mais adequadas, e as melhores propriedades na deteção das etiquetas RFID (a passar sob a região de leitura do sistema).

5.3. Nota conclusiva

De modo a sumarizar os principais resultados obtidos, verificou-se que, tendo em conta o tempo médio de leitura da amostra de teste de ativos da “Dinefer” através do sistema de RFID conseguido face ao tempo de leitura por código de barras (no sistema menos evoluído), foi alcançada uma percentagem de otimização do tempo despendido na atividade de rastreabilidade estudada de aproximadamente 3,627%. Ainda, é de referir que os únicos posicionamentos do conjunto “leitor e antena de RFID” no pátio que não demonstraram uma total fiabilidade na identificação dos 14 produtos etiquetados sem a interferência direta do material de alumínio considerada foram os dois últimos posicionamentos, com o dispositivo de leitura nas partes laterais dos pátios e sem o alinhamento ao centro ao nível da altura da estrutura e do espaço de passagem do carrinho com as caixas de produtos (a seguir para expedição), e ainda assim constatando-se que nessas duas posições em questão apenas uma minoria do total de 20 rondas de passagem de teste para cada resultou de facto em deteções falhadas (mostrando a boa capacidade do sistema ainda assim).

6. Conclusões

Por último, apresentam-se as conclusões finais do trabalho, considerando, em primeiro lugar, um conjunto de conclusões de âmbito geral, e, em segundo lugar, as sugestões de trabalhos futuros a desenvolver no seguimento dos trabalhos desenvolvidos na empresa.

6.1. Conclusões gerais

Partindo do cenário inicial de identificação dos produtos no conjunto de teste com recurso à leitura por códigos de barras, verifica-se que, ao aplicar o novo sistema de RFID, é conseguida, então, uma otimização (redução) de tempo de leitura dos ativos bastante significativa, mesmo que à escala de dezenas de segundos (em aproximadamente 43,4 segundos, no caso), considerando apenas o reduzido lote de produtos usados para o procedimento. Isto porque, com o extrapolamento dos resultados de otimização do processo de rastreio obtidos para o conjunto de 14 ativos com etiquetas RFID (exceto o 15^o que não foi lido por razões pré-determinadas) para um cenário hipotético de produção e embalagem de produtos por encomendas para expedição a uma quantidade significativamente maior por cada dia útil de trabalho e com o sistema de rastreio inteiramente desempenhado pelo protótipo RFID em pórtico, vem que o tempo de otimização do rastreio e identificação, ao longo dos meses de produção, pode tornar-se bastante positivo.

No decurso da análise e avaliação ao protótipo de sistema de leitura RFID em estudo, o qual constituiu o propósito principal e objetivos de comprovação da sua proposta de implementação acertada e capaz de um aumento dos lucros da empresa (no contexto da atuação sobre o sistema de rastreabilidade interno) a médio e longo prazo, verifica-se que o mesmo constitui, de facto, uma mais-valia para a “Dinefer”, e com um futuro promissor de otimização do fluxo de produção e redução dos custos com os tempos de produção sem valor agregado para o cliente.

Ainda, a interface do *software* de processamento dos dados de RFID aplicado, como se pôde constatar, revela-se uma ferramenta importante para a geração de todo um conjunto de informações bastante úteis de serem analisadas e para a monitorização do próprio desempenho do sistema de rastreabilidade em estudo.

Concluída a fase de implementação, após o projeto idealizado estar em pleno funcionamento, e sem falhas, chegará o momento de oficializar o novo método de operação junto aos operadores que integram o fluxo de produção da empresa, especificamente na seção de Embalagem, não obstante tendo em consideração também a seção de Controlo de Qualidade cuja intervenção no bom funcionamento do novo sistema RFID será bastante crítica. Essa etapa inclui, forçosamente,

uma consciencialização dos respetivos trabalhadores, a nível do chão de fábrica, sobre o quanto a mudança será vantajosa para a empresa, bem como a importância do projeto, para que não haja resistência por parte dos mesmos à mudança.

No entanto, os colaboradores terão de ter, sempre que necessário, uma equipa de apoio para resolver os problemas que possam surgir, para que não haja interrupções no trabalho ou anomalias nos registos de informação. Pressupõe-se que, na fase inicial, este tipo de evento tenha uma maior taxa de erro, uma vez que as prováveis falhas na manipulação dos novos equipamentos são mais expectáveis. Contudo, tal cenário não colocará em risco, de todo, a viabilidade do novo sistema de identificação e captura automática de dados a ser essencial para o futuro tecnológico da empresa, permitindo à mesma a prossecução de uma vantagem competitiva de mercado.

Por último, a procura da excelência nunca deve ser descurada em qualquer projeto, e, neste sentido, a melhoria contínua terá de estar presente na implementação, recolhendo proactivamente o *feedback* dos operadores em questão e analisando se as diversas opiniões podem acrescentar valor ao novo sistema. Será necessário garantir que não existirão falhas no sistema a implementar, proporcionando assim uma maior segurança e facilidade no caso de serem geradas interrupções para possíveis configurações adicionais um pouco mais complexas do novo sistema.

6.2. Sugestões de trabalhos futuros

No futuro, e com o objetivo de concluir o projeto de inovação tecnológica no contexto em estudo antes do final de 2023 (isto a par com as intenções demonstradas pela gestão de topo da empresa e em que sugestões e trabalhos de desenvolvimento em prol desses avanços serão bem vindos), a próxima etapa corresponderá, então, à instalação do novo sistema de rastreabilidade por definitivo. Durante o período em causa, pretende-se colocar em pleno funcionamento todo o sistema de *software* e receber os componentes de *hardware* que sejam ainda necessários para o funcionamento na totalidade nos novos procedimentos, onde se pretende que cada respetivo operador da seção de embalagem, assim como ao nível de aplicação prática em mais fases da produção das quais a importante seção de Controlo de Qualidade, disponha de um sistema de leitura RFID. Em particular, no caso analisado, de um sistema de pórtico de passagem dos ativos com etiquetas RFID-UHF fixadas sob a área de leitura da antena, para transmitir toda a informação necessária sobre o estado das Ordens de Fabrico em tempo real e permitir o acesso à informação dos seus dados (dentro da interface do *software* e das bases de dados a estruturar e a associar ao sistema informático de gestão da própria empresa) a partir de qualquer equipamento ou *hardware* respetivo no domínio industrial. Adicionalmente, serão adquiridas mais etiquetas RFID, sendo de referir que as impressoras de etiquetas RFID necessárias já foram adquiridas e estão em plena detenção e disponibilidade para utilização por parte da “Dinefer”.

Referências Bibliográficas

- Centea, D., Singh, I., & Boer, J. (2020). RFID in Manufacturing: An Implementation Case in the SEPT Learning Factory. *Procedia Manufacturing*, 51, 543-548. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.076>
- Chanchaichujit, J., Balasubramanian, S., & Charmaine, N. S. (2020). A systematic literature review on the benefit-drivers of RFID implementation in supply chains and its impact on organizational competitive advantage. *Cogent Business & Management*, 7(1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2020.1818408>
- DINEFER – Engenharia e Sistemas Industriais. (2023). Castelo Branco, Portugal. <https://dinefer.com/>
- Feng, J., Li, F., Xu, C., & Zhong, R. Y. (2020). Data-Driven Analysis for RFID-Enabled Smart Factory: A Case Study. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern, Syst.*, 50(1), 81-88. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2018.2882838>
- Fortuna, G., & Gaspar, P. D. (2022). Implementation of Industrial Traceability Systems: A Case Study of a Luxury Metal Pieces Manufacturing Company. *Processes*, 10(2444). <https://doi.org/10.3390/pr10112444>
- Frankó, A., Vida, G., & Varga, P. (2020). Reliable Identification Schemes for Asset and Production Tracking in Industry 4.0. *Sensors*, 20(13). <https://doi.org/10.3390/s20133709>
- Gartner, P., Benfer, M., Kuhnle, A., & Lanza, G. (2021). Potentials of Traceability Systems - a Cross-Industry Perspective. *Procedia CIRP*, 104, 987-992. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.166>
- Gladysz, B. (2016). Typology of RFID systems. In *Innovations in Production Management and Engineering* (pp. 948-957). Opole: OW PTZP. <https://www.researchgate.net/publication/306909425 TYPOLOGY OF RFID SYST EMS>
- Gladysz, B., & Buczacki, A. (2018). Wireless Technologies for Lean Manufacturing – A Literature Review. *Management and Production Engineering Review*, 9(4), 20-34. <https://doi.org/10.24425/119543>

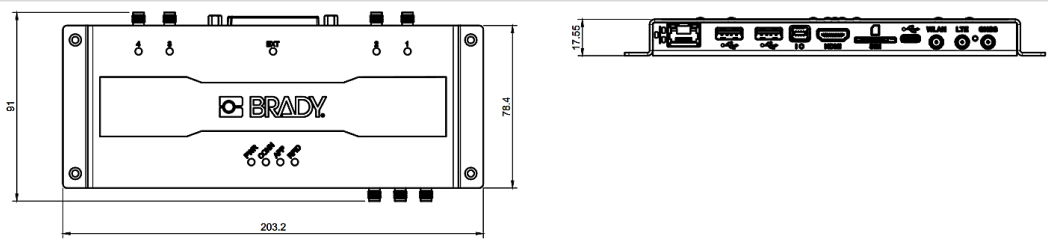
- Helo, P., & Rouzafzoon, J. (2021). Logistics Information Systems. In R. Vickerman, *International Encyclopedia of Transportation* (pp. 76-84). Vaasa, Finland: Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10223-4>
- Neal, A. D., Sharpe, R. G., van Lopik, K., Tribe, J., Goodall, P., Lugo, H., Segura-Velandia, D., Conway, P., Jackson, L. M., Jackson, T. W., & West, A. A. (2021). The potential of industry 4.0 Cyber Physical System to improve quality assurance: An automotive case study for wash monitoring of returnable transit items. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 461-475. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.07.002>
- Nordic ID Group. (2023a). Nordic ID Sampo S3 User Guide. Salo, Finland. <https://www.nordicid.com/nordicid-user-guide-sampos3/>
- Nordic ID Group. (2023b). Nordic ID FR22 User Guide. Salo, Finland. <https://www.nordicid.com/nordic-id-fr22-user-guide-1v1-1/>
- Nordic ID Group. (2023c). Nordic ID FR22 Datasheet. Salo, Finland. https://brady.widen.net/s/lmzlbvrxpm/nordic_id_fr22_product_family_infosheet_eu_rope_english
- Oluyisola, O. E., Strandhagen, J. W., & Buer, S.-V. (2018). RFID technology in the manufacture of customized drainage and piping systems: a case study. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 364-369. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.320>
- Popova, I., Abdullina, E., Danilov, I., Marusin, A., Marusin, A., Ruchkina, I., & Shemyakin, A. (2021). Application of the RFID technology in logistics. *Transportation Research Procedia*, 57, 452-462. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.072>
- Rosa, E. S., Godina, R., Rodrigues, E. M., & Matias, J. C. (2022). An Industry 4.0 Conceptual Model Proposal for Cable Harness Testing Equipment Industry. *Procedia Computer Science*, 200, 1392-1401. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.340>
- Suresh, S., & Chakaravarthi, G. (2022). RFID technology and its diverse applications: A brief exposition with a proposed Machine Learning approach. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 195(111197). <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111197>
- Tan, W. C., & Sidhu, M. S. (2022). Review of RFID and IoT integration in supply chain management. *Operations Research Perspectives*. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100229>

Anexos

Anexo 1. Variáveis consideradas na tomada de decisão quanto à tecnologia adotada no trabalho.

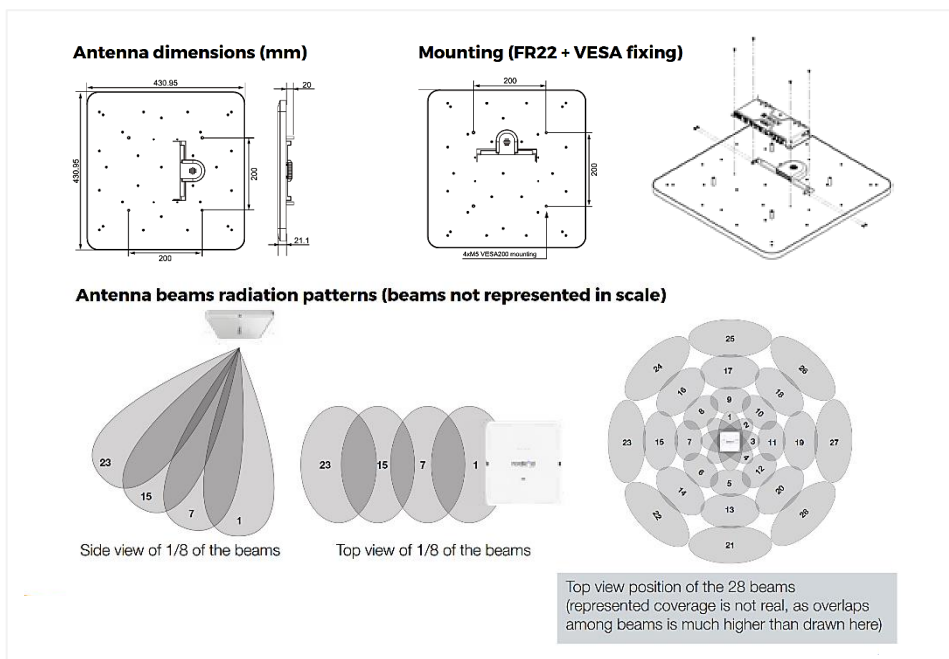
Variáveis de Decisão	Descrição
Tipologia de codificação	<p>A empresa está em plena transição e fase de implementação para um sistema de rastreabilidade interno que torne todo o processo de identificação e acompanhamento dos ativos industriais significativamente mais automatizado.</p> <p>Para o <i>software</i> a integrar no sistema em estudo, todos os itens movidos em cada fase e fluxo na produção, desde consumíveis, a matérias-primas, componentes, produtos finais, entre outros(as), devem ter necessariamente um código associado. Posto isto, os diversos produtos e ativos a considerar na “Dinefer” terão de ser associados a códigos EPC que identificarão de forma única todos esses itens, ao nível das etiquetas de RFID a serem adicionadas aos mesmos (1 etiqueta em cada ativo).</p>
Globalização	<p>A tecnologia RFID, apesar do seu tempo de operação no setor industrial ainda bastante curto, comparando com o Código de Barras, tem definitivamente capacidades de identificação e recolha de dados na cadeia de produção mais alargadas e eficazes, sendo que a opção de apostar na introdução da nova tecnologia (para substituição da anterior) é assumida como um risco perfeitamente calculado e que, com a formação da equipa especializada indicada para todo o desenvolvimento desse processo, não conduzirá a quaisquer cenários indesejados e problemas na atividade da empresa e aumentará a eficácia do sistema de rastreabilidade, a nível interno.</p>
Relação Custo/Benefício	<p>Entre as alternativas de sistema de identificação e recolha de dados dos ativos da “Dinefer” apresentadas, por via de RFID ou por códigos de barras, a primeira, apesar do seu custo de implementação significativamente maior (considerando desde a aquisição de todo o <i>hardware</i> necessário, leitor de RFID, antena de RFID, etiquetas de RFID e respetiva impressora, etc., ao desenvolvimento de toda a componente de <i>software</i> necessária ao devido funcionamento do sistema), constitui uma solução viável, com a parcela do benefício a prevalecer sobre o fator do custo, e estratégica para o futuro da empresa no sentido de evolução tecnológica.</p>
Associação ao <i>software</i> de gestão interno	<p>No que concerne a possíveis restrições à capacidade de interligação do novo sistema de rastreabilidade ao <i>software</i> de gestão interno da “Dinefer” (o qual terá necessariamente de interagir com o sistema de RFID a ser configurado), verifica-se que o <i>software</i> da empresa está já preparado para esse processo e não impõe quaisquer limitações à associação entre os programas informáticos, notando o mesmo cenário para o sistema RFID.</p>

Anexo 2. Desenho e especificações técnicas do leitor RFID *BRADY FR22* (Adaptado de Nordic ID Group, 2023c).



UHF RFID IDENTIFICATION	
ISO Compliance Standards	ISO 18000-63 (EPC Class 1Gen2v2)
Frequency	ETSI 865.6-867.6 MHz or FCC/IC 902-928 MHz
RF Radiated Power	+32dBm (+30dBm in FCC region)
Maximum Receive Sensitivity	-87dBm
Reading Speed	Up to 1000 tags per second
External Antenna Port	4 ports RP-SMA female
Connector	Brady extension port
PLATFORM	
Central Processing Unit (CPU)	Quad-core A7 1.1GHz
Operating System	Linux
Internal Memory Capacity	1GB RAM, 8GB Flash
USER INTERFACE	
SIM	Mini-sim
Device Indicators	4 LEDs indicating the enabled antennas, Connection LED, Application LED, Power LED, RF LED, Extension port LED
CONNECTIVITY	
Connectivity Options	GPIO Industrial mini IO port, USB-C, Wireless 802.11 b/g, USB Host, Ethernet, Bluetooth, Wireless 802.11 a/b/g/n, GSM/EDGE, LTE-FDD B1/B3/B5/B7/B8/B20, LTE-TDD B38/B40/B41, WCDMA B1/B5/B8
Global Navigation	GPS, BeiDou, Glonass
HDMI	Video 1280 x 720 and 640 x 480 resolution
POWER	
Power Supply	PoE 802.3at
Operating Power	Max 25.5W with max RFID tx level and all radios enabled. Max 18W with max RFID tx level and all radios disabled. 4W in idle state
SIZE AND WEIGHT	
Dimensions	203.2 mm (W) x 17.55 mm (H) x 91.00 mm (D)
Weight (kg)	0.306 kg
ENVIRONMENT	
Ingress Protection Rating	IP20
Operating Temperature	-20°C - 55°C
Storage Temperature	-40°C - 85°C
Mounting Type	4 Screws (not included)
SOFTWARE INTERFACE	
Data Management	Nordic ID RADEA
Firmware Updates	Via Web management UI and the RESTful service
Management Interface	Web Management UI and SSH for developers
IP Address Configuration	IPv4 DHCP, Static IP
API Support	NUR API for RFID and RESTful service to access reader configuration
Software Development	Application can be written with modern programming languages. Compatible with existing Nordic ID fixed readers. Ready-to-use Nordic ID NUR API that provides full control over the reader


Anexo 3. Especificações técnicas da antena RFID e padrões de orientação dos sinais de radiofrequência na transmissão da antena (Adaptado de Nordic ID Group, 2023c).



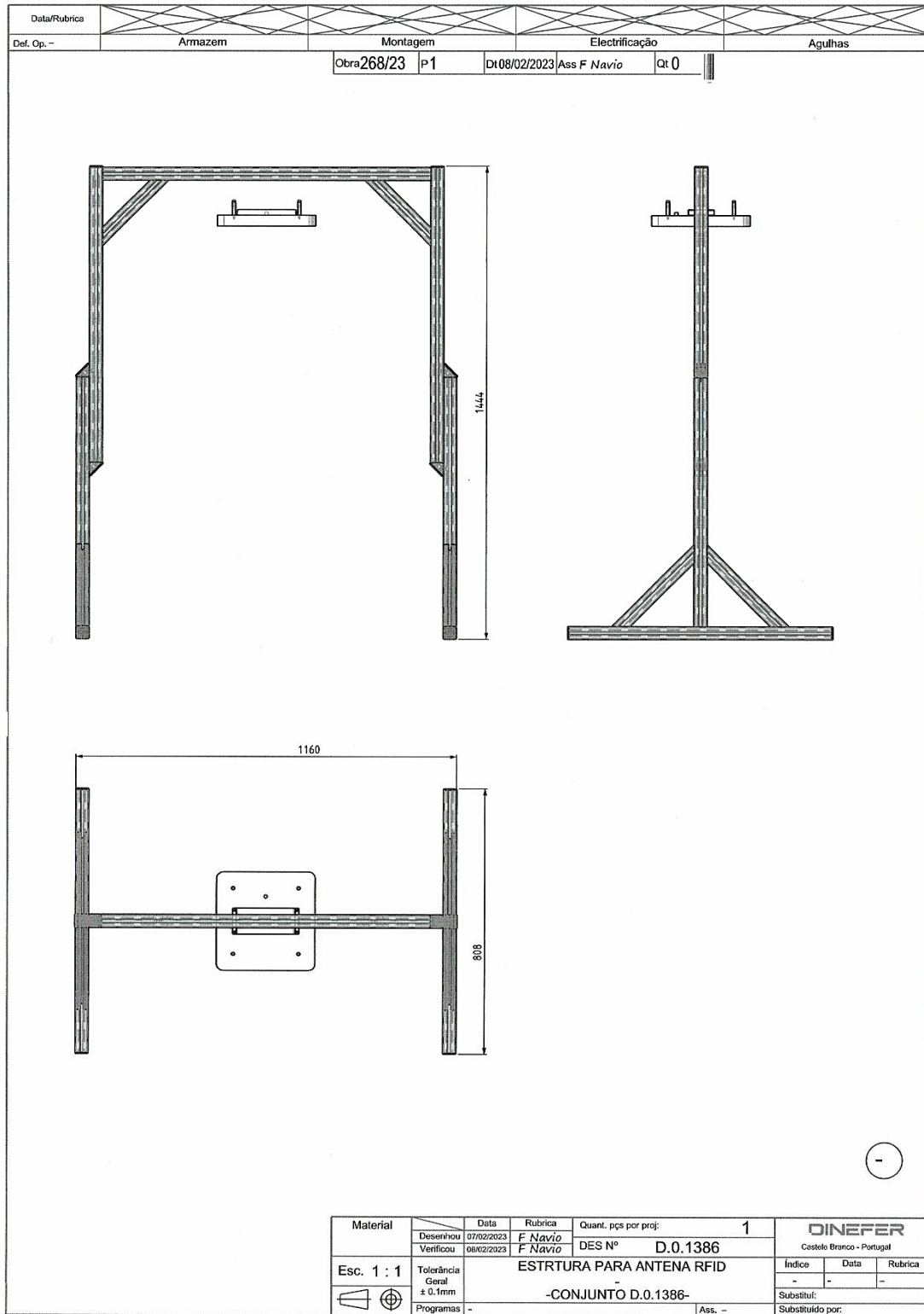
Anexo 4. Tipos de sistemas RFID de acordo com regras de leitura e gamas de frequência no contexto do seu funcionamento (Adaptado de Gladysz, 2016).

System' types		Description		Main frequencies & standards	Typical applications	Reading range
According to a reading rule	active	tags transmit independently on reader, with own battery		433 MHz, 2.45 GHz, 5.0 GHz, 5.8 GHz see below for standards	– RTLS – long distances – sensors	up to 1000 m
	passive	tags transmit signal when interrogated by reader	without battery	LF, HF, UHF see below for standards	– logistics – access control – registering working time	0.1–10 m
	battery assisted passive BAP		with own battery to power e.g. sensors		– logistics – long distances	over 30 m
According to frequencies	Low Frequency LF	passive, BAP, LF does not allow to read/write of many tags at the same times		125-134 kHz – ISO 11784 – ISO 11785 – ISO 14223 – ISO/IEC 18000-2 – ISO/IEC TR 18047-2 – Unique	– access control – tickets – working time registration – animals' identification	up to 0.5 m
	High Frequency HF	passive, BAP read/write of many tags simultaneously		13.56 MHz – ISO/IEC 14443 – ISO/IEC 15693 – ISO/IEC 18000-3 – ISO/IEC TR 18047-3 – NFC Forum – Mifare (Ultralight, Ultralight C, Classic 1K/4K, Plus, DESFire) – I-Code (ILT, SLIX)	– access control – tickets – registering working time – libraries – automatics	up to 0.6 m
	Ultra-High Frequency UHF	active, possible communication of tags (meshing)		433 MHz – DASH7 – ISO/IEC 18000-7	– RTLS – sensors – military	up to 1000 m outdoor
		passive, BAP, longest read range of all passive frequencies, reading many tags simultaneously		860-960 MHz – ISO/IEC 18000-6 – ISO/IEC TR 18047-6 – EPC Gen2v2	– supply chain – warehousing – work in process – inventory – pRTLS accuracy up to 1 m	up to 15 m, BAP over 30 m
		active, possibility of Wi-Fi compatibility		2.4 GHz, 2.45 GHz – IEEE 802.11b/c/d/e/f/g/h/i/j – ISO/IEC 8802-11 – ISO/IEC 18000-4 – ISO/IEC TR 18047-4 – ISO/IEC 24730-2, -5 – ISO/IEC 24769 – ISO/IEC 24770	– RTLS accuracy up to 1 m – assets & personnel tracking & identification in hospitals and mines – sensors	up to 200 m
	Ultra-Wide Band UWB	active, multi bands		multiple bands simultaneously (3.1-10.6 GHz) – ISO/IEC 24730-6 – ISO/IEC 24769-6 – ISO/IEC 24770-6 – IEEE 802.15.4	– RTLS accuracy up to 15 cm – sensors	up to 300 m
Super High Frequency SHF	active, smaller and more effective than 433 MHz and 2.45 GHz, longer battery lifecycle		5.0 GHz, 5.8 GHz – IEEE 802.11a/p – ISO/IEC 8802-11 – ISO/IEC 18000-5 (withdrawn) – ISO/IEC TR 18047-5 (withdrawn)	– RTLS – sensors	up to 200 m	

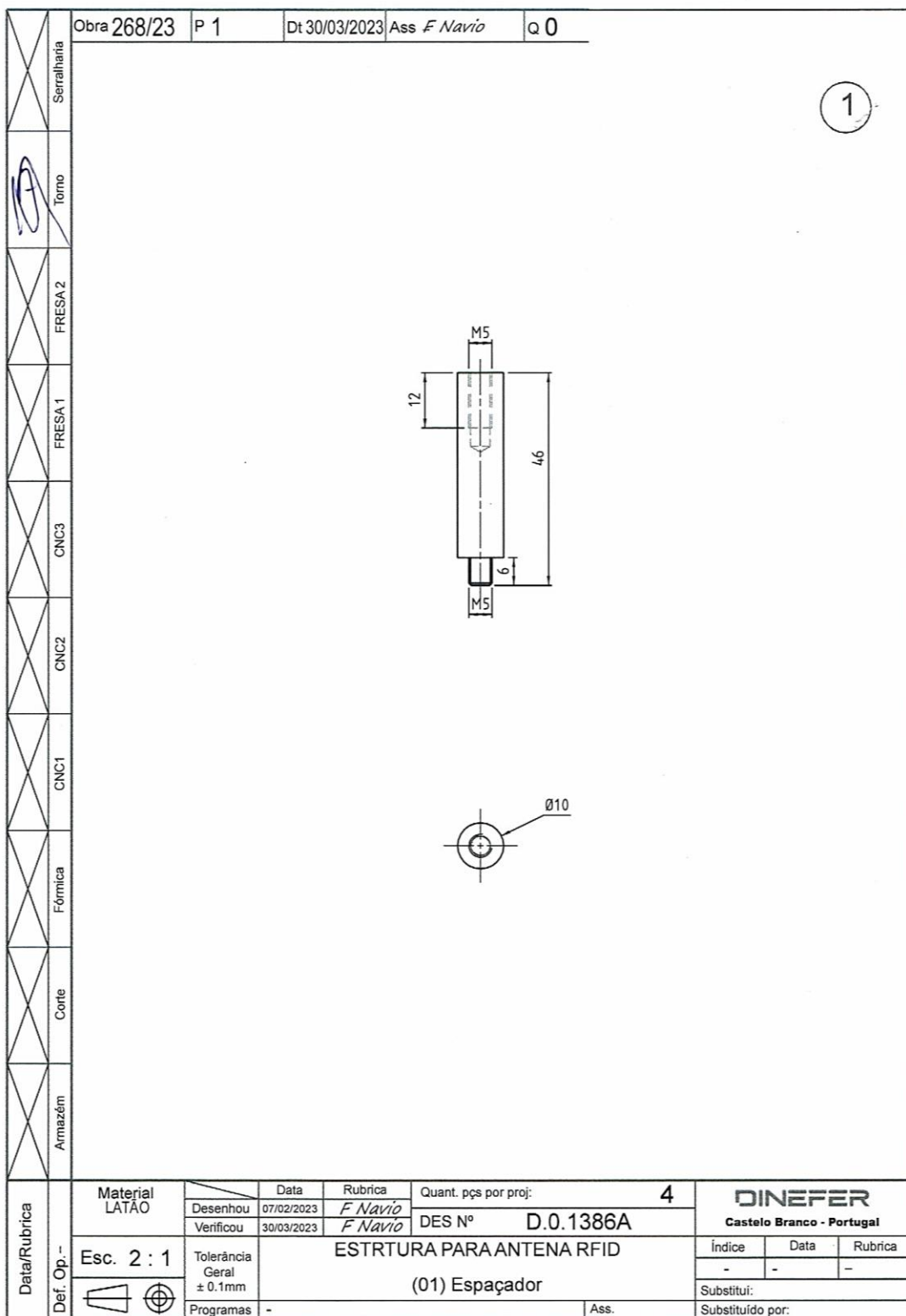
Anexo 5. Folha de obra para o pórtico para o sistema RFID (Adaptado de DINEFER, 2023).

DINEFER		PRODUÇÃO - FOLHA DE OBRA																																																																																																																																						
OBRA Nº: 268/23		POS 1	DESIGNAÇÃO: Portico p/ sistema RFID BRADY																																																																																																																																					
ID: Diversos Outros		PROJECTO: Portico Brady																																																																																																																																						
VIAS: 0	COR:	QTD: 1	CLIENTE: Dinefer																																																																																																																																					
DATA PREVISÍVEL DE ENTREGA(SEM) : 12.65			REF. CLIENTE: Diversos Outros																																																																																																																																					
DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA:			ZONA:																																																																																																																																					
DESENHO(S) Nº: D.0.1386 ;																																																																																																																																								
OBSERVAÇÕES DA OBRA: Enc. 179/23																																																																																																																																								
PRECONIZAÇÕES:			DETECÇÕES:																																																																																																																																					
CARACTERÍSTICAS			DETECÇÕES																																																																																																																																					
<table border="1"> <tr><td>C1</td><td>PRESENÇA</td><td></td></tr> <tr><td>C2</td><td>ALINHAMENTO TERMINAIS</td><td></td></tr> <tr><td>C3</td><td>DESENGANAR TERMINAIS</td><td></td></tr> <tr><td>C4</td><td>ORIENTAÇÃO TERMINAIS</td><td></td></tr> <tr><td>C5</td><td>AFINAÇÃO EMBUTIDO</td><td></td></tr> <tr><td>C6</td><td>FECHO TRAVÃO CONT.</td><td></td></tr> <tr><td>C7</td><td>GARANTIA TAMPA FECHADA</td><td></td></tr> <tr><td>C8</td><td>ABERTURA DE SHUNTS</td><td></td></tr> <tr><td>C9</td><td>PEÇAS CARACTERÍSTICA ESPECIAS</td><td></td></tr> </table>			C1	PRESENÇA		C2	ALINHAMENTO TERMINAIS		C3	DESENGANAR TERMINAIS		C4	ORIENTAÇÃO TERMINAIS		C5	AFINAÇÃO EMBUTIDO		C6	FECHO TRAVÃO CONT.		C7	GARANTIA TAMPA FECHADA		C8	ABERTURA DE SHUNTS		C9	PEÇAS CARACTERÍSTICA ESPECIAS		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>M</th> <th>L</th> <th>P</th> <th></th> <th>M</th> <th>L</th> <th>P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>D1</td><td>TRAVÃO ABERTO</td><td></td><td></td><td></td><td>D13</td><td>ALAVANCA FECHADA</td><td></td></tr> <tr><td>D2</td><td>TRAVÃO FECHADO</td><td></td><td></td><td></td><td>D14</td><td>BRAÇADEIRA</td><td></td></tr> <tr><td>D3</td><td>VEDANTE</td><td></td><td></td><td></td><td>D15</td><td>PARAFUSO</td><td></td></tr> <tr><td>D4</td><td>ARAME</td><td></td><td></td><td></td><td>D16</td><td>ESTANQ. PRESSÃO</td><td></td></tr> <tr><td>D5</td><td>XUXA</td><td></td><td></td><td></td><td>D17</td><td>ESTANQ. VÁCUO</td><td></td></tr> <tr><td>D6</td><td>TAMPA</td><td></td><td></td><td></td><td>D18</td><td>BORRACHA</td><td></td></tr> <tr><td>D7</td><td>GAVETA ABERTA</td><td></td><td></td><td></td><td>D19</td><td>COMP. CORRECTO</td><td></td></tr> <tr><td>D8</td><td>GAVETA FECHADA</td><td></td><td></td><td></td><td>D20</td><td>MANGA RETRACTIL</td><td></td></tr> <tr><td>D9</td><td>CÓR</td><td></td><td></td><td></td><td>D21</td><td>ANILHA</td><td></td></tr> <tr><td>D10</td><td>CONTRASTE</td><td></td><td></td><td></td><td>D22</td><td>PORCA</td><td></td></tr> <tr><td>D11</td><td>PATILHA</td><td></td><td></td><td></td><td>D23</td><td>OUTROS</td><td></td></tr> <tr><td>D12</td><td>ALAVANCA ABERTA</td><td></td><td></td><td></td><td>D24</td><td>FIO MORTO</td><td></td></tr> </tbody> </table>				M	L	P		M	L	P	D1	TRAVÃO ABERTO				D13	ALAVANCA FECHADA		D2	TRAVÃO FECHADO				D14	BRAÇADEIRA		D3	VEDANTE				D15	PARAFUSO		D4	ARAME				D16	ESTANQ. PRESSÃO		D5	XUXA				D17	ESTANQ. VÁCUO		D6	TAMPA				D18	BORRACHA		D7	GAVETA ABERTA				D19	COMP. CORRECTO		D8	GAVETA FECHADA				D20	MANGA RETRACTIL		D9	CÓR				D21	ANILHA		D10	CONTRASTE				D22	PORCA		D11	PATILHA				D23	OUTROS		D12	ALAVANCA ABERTA				D24	FIO MORTO	
C1	PRESENÇA																																																																																																																																							
C2	ALINHAMENTO TERMINAIS																																																																																																																																							
C3	DESENGANAR TERMINAIS																																																																																																																																							
C4	ORIENTAÇÃO TERMINAIS																																																																																																																																							
C5	AFINAÇÃO EMBUTIDO																																																																																																																																							
C6	FECHO TRAVÃO CONT.																																																																																																																																							
C7	GARANTIA TAMPA FECHADA																																																																																																																																							
C8	ABERTURA DE SHUNTS																																																																																																																																							
C9	PEÇAS CARACTERÍSTICA ESPECIAS																																																																																																																																							
	M	L	P		M	L	P																																																																																																																																	
D1	TRAVÃO ABERTO				D13	ALAVANCA FECHADA																																																																																																																																		
D2	TRAVÃO FECHADO				D14	BRAÇADEIRA																																																																																																																																		
D3	VEDANTE				D15	PARAFUSO																																																																																																																																		
D4	ARAME				D16	ESTANQ. PRESSÃO																																																																																																																																		
D5	XUXA				D17	ESTANQ. VÁCUO																																																																																																																																		
D6	TAMPA				D18	BORRACHA																																																																																																																																		
D7	GAVETA ABERTA				D19	COMP. CORRECTO																																																																																																																																		
D8	GAVETA FECHADA				D20	MANGA RETRACTIL																																																																																																																																		
D9	CÓR				D21	ANILHA																																																																																																																																		
D10	CONTRASTE				D22	PORCA																																																																																																																																		
D11	PATILHA				D23	OUTROS																																																																																																																																		
D12	ALAVANCA ABERTA				D24	FIO MORTO																																																																																																																																		
<table border="1"> <tr><td>L. ELÉCTRICA</td><td></td></tr> <tr><td>EXPULSÃO</td><td></td></tr> <tr><td>FÓRMICA</td><td>Fórmica Cinzenta 0 8</td></tr> <tr><td>DIMENSÕES</td><td></td></tr> <tr><td>MOLAS</td><td></td></tr> </table>			L. ELÉCTRICA		EXPULSÃO		FÓRMICA	Fórmica Cinzenta 0 8	DIMENSÕES		MOLAS		<table border="1"> <tr><td>M: Nº de Micros de deteção:</td><td></td></tr> <tr><td>L: Tipo de ligação (Série, Paralelo, Independente, Misto):</td><td></td></tr> <tr><td>P: Nº de Pontos.</td><td></td></tr> </table>			M: Nº de Micros de deteção:		L: Tipo de ligação (Série, Paralelo, Independente, Misto):		P: Nº de Pontos.																																																																																																																				
L. ELÉCTRICA																																																																																																																																								
EXPULSÃO																																																																																																																																								
FÓRMICA	Fórmica Cinzenta 0 8																																																																																																																																							
DIMENSÕES																																																																																																																																								
MOLAS																																																																																																																																								
M: Nº de Micros de deteção:																																																																																																																																								
L: Tipo de ligação (Série, Paralelo, Independente, Misto):																																																																																																																																								
P: Nº de Pontos.																																																																																																																																								
<p>Preconizações do fabricante <input type="checkbox"/></p>																																																																																																																																								
ESPECIFICAÇÕES PARTICULARES																																																																																																																																								
OBSERVAÇÕES:																																																																																																																																								
<p>1) Necessário projectar pórtico p/ sistema RFID BRADY</p> <ul style="list-style-type: none"> - pórtico: perfil alumínio, a formar um "U" com rodas - para integra antena Brady ref⁸ ... <p>(necessário que a antena se possa deslocar/fixar em várias posições do pórtico)</p> <ul style="list-style-type: none"> - considerar a maior caixa Dinefer de embalagem de módulos 																																																																																																																																								
LOCALIZAÇÃO DO COMPONENTE:																																																																																																																																								
RÚBRICA:			DATA: 30/03/2023 16:20:03																																																																																																																																					

Anexo 6. Desenho técnico para a estrutura principal de pórtico para a antena de RFID (Adaptado de DINEFER, 2023).



Anexo 7. Desenho em 2D para os espaçadores na estrutura para a antena de RFID (Adaptado de DINEFER, 2023).



Anexo 8. Conjunto dos 15 ativos utilizados para os testes do sistema de RFID.



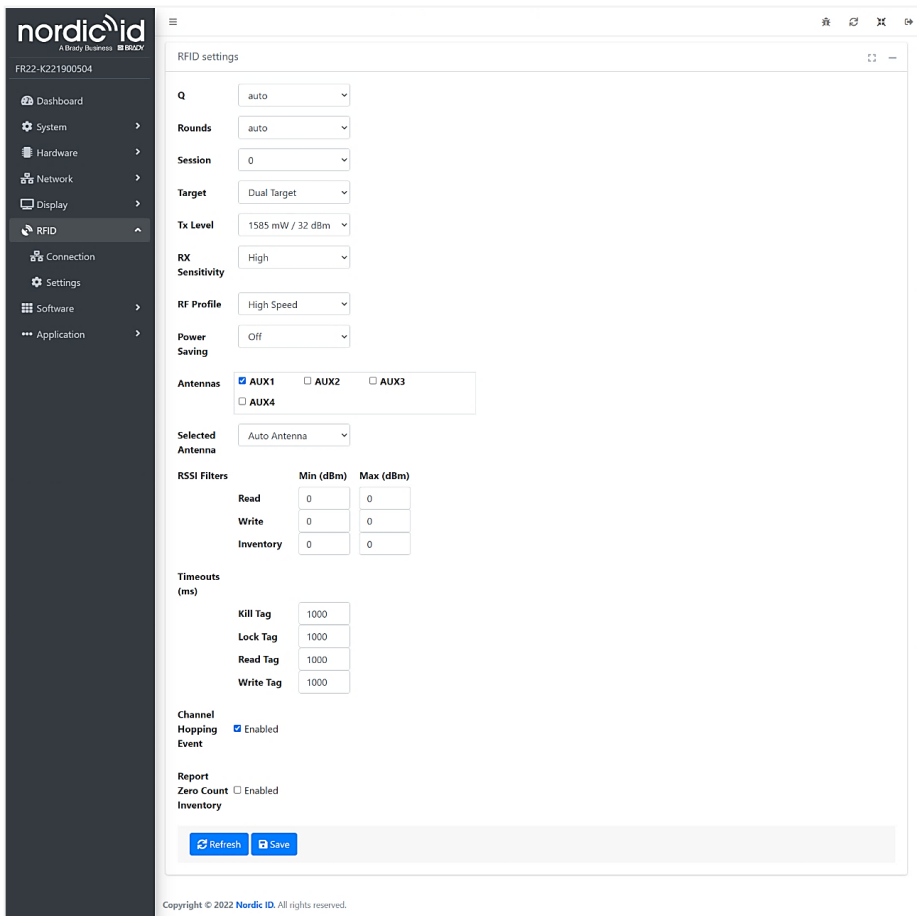
Anexo 9. Impressora de etiquetas de RFID.



Anexo 10. Dispositivos adicionais de leitura de RFID para aplicação na empresa.



Anexo 11. Interface do software *Nordic ID RFID Configurator* para o leitor de RFID.



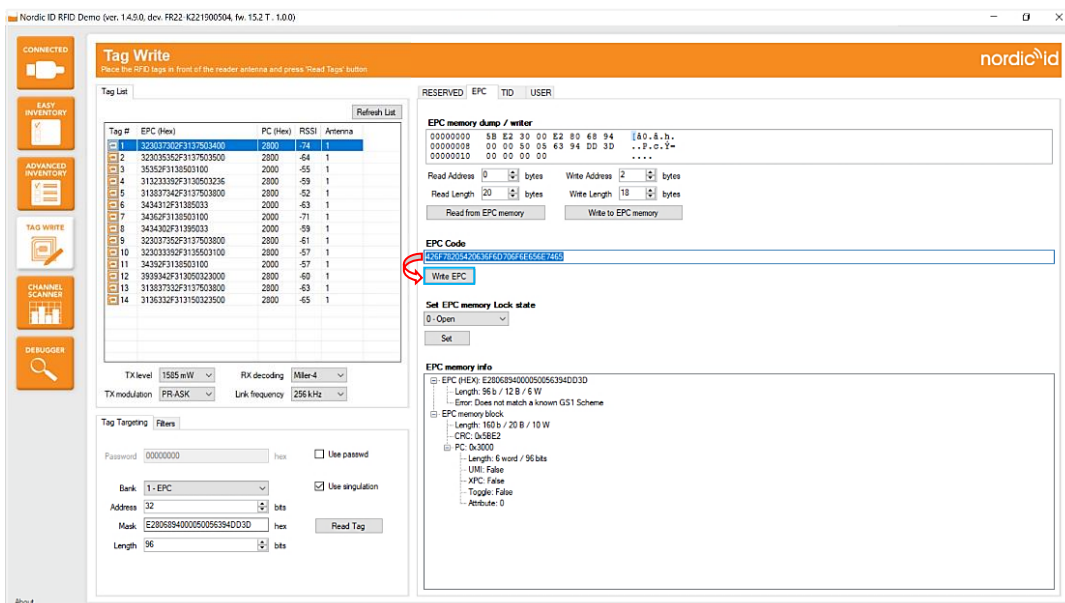
Anexo 12. Interface de utilizador *web* para a gestão e configurações do leitor de RFID.

The screenshot displays the 'Nordic ID RFID Configurator' web interface. The main window title is 'Nordic ID RFID Configurator (ver. 1.8.5.0, dev. FR22 - K221900504, fw. 15.2 T)'. The interface is divided into several sections:

- Navigation Panel (Left):** Contains icons for 'CONNECTED', 'NETWORK SETTINGS', 'DEVICE SETTINGS', 'RF LINK & INVENTORY', 'ANTENNA SETTINGS', 'FIRMWARE', and 'CONFIGURE DEVICE'.
- Connection Section (Top):** Titled 'Connection', it prompts the user to 'Select the connection method for establishing the connection to the RFID reader'. Below this is a table listing available readers.
- Table:** A table with columns 'Reader', 'Name', 'Addr', 'Port', 'MAC', and 'AddrType'. It shows one entry:

Reader	Name	Addr	Port	MAC	AddrType
(LAN)	FR22-K221900504	10.1.1.209	4333	00:21:AD:20:01:F8	DHCP
- Device Information (Right):** Displays details for the selected device:
 - Device name: FR22
 - Device S/N: K221900504
 - NID item code: NFI00002
 - Hardware ver.: 1
 - Firmware version: 15.2 T
 - FCC ID: SCCNUR31W6
- Ethernet connection (Right):** Shows network details:
 - Ethernet title: FR22-K221900504
 - IP address: 10.1.1.209
 - MAC address: 00-21-AD-20-01-F8
- Connection settings (Bottom):** Includes a dropdown menu set to 'TCP/IP', input fields for 'Host' (10.1.1.209) and 'Port' (4333), and a 'Disconnect' button.
- Status (Bottom):** A message indicates 'FR22 (FR22-K221900504) Connected'.
- Footer (Bottom Right):** A button labeled 'Open smart reader web configuration page'.

Anexo 13. Realização de processo de recodificação de uma etiqueta de RFID no âmbito da versão Demo do software Nordic ID RFID.



Anexo 14. Posto de trabalho na seção de embalagem da empresa.



Anexo 15. Exemplo de uma folha de encomenda e disposição das caixas prontas para expedição.



Anexo 16. Resultados da cronometragem dos tempos de leitura dos ativos de teste por via do protótipo de sistema RFID.

Tempos de Leitura (em segundos)																				
do Conjunto de Ativos com as Etiquetas de RFID para Teste através do Sistema RFID (total de 15 ativos com etiquetas RFID)																				
Posição e Inclinação do Leitor de RFID no Pórtico	Rondas de Passagem do Carrinho com as Caixas de Produtos debaixo do Pórtico																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Parte de cima na Horizontal e com ângulo (α) de 30° no sentido do lado do qual o carrinho inicia a passagem sob o sistema	0,813	0,860	1,641	1,625	0,875	0,875	0,797	0,813	0,687	1,765	1,422	1,453	0,781	0,735	0,859	0,828	0,906	0,860	0,844	0,813
Parte de cima na Horizontal e sem inclinação	1,781	1,687	1,875	1,719	1,765	1,906	1,859	1,860	1,407	1,344	1,359	1,531	0,844	1,468	1,610	1,547	1,500	1,375	1,219	1,453
Parte de cima na Horizontal e com α de 15° para o lado oposto ao do início da passagem do carrinho	1,937	2,078	2,109	2,219	2,172	1,984	2,016	2,031	2,266	2,000	2,078	2,187	1,906	2,078	2,141	1,969	2,078	2,016	2,078	2,109
Perfil superior na diagonal com α de 45° num dos lados do pórtico	1,969	1,912	1,547	1,734	1,687	1,765	1,734	2,250	2,203	2,125	2,000	2,218	1,688	2,203	2,094	2,000	2,078	2,250	1,766	2,078
Parte lateral na Vertical e alinhado ao centro (no lado esquerdo ou direito) sem inclinação	4,406	3,484	2,047	2,172	2,156	2,187	2,266	4,938	3,844	3,969	3,235	3,844	4,188	4,156	3,657	4,032	3,812	3,953	4,093	3,829
Parte lateral na Vertical e próximo da parte de cima do pórtico (num dos lados) com α de 10° para baixo	2,122	2,094	2,235	4,972	2,281	2,797	4,031	2,235	1,860	3,391	3,891	3,734	3,562	3,719	3,813	4,960	3,156	3,984	3,485	4,485
Parte lateral na Vertical e muito próximo da base do pórtico (num dos lados) com α de 10° para baixo	4,532	3,602	3,578	4,972	3,297	3,688	3,828	4,375	3,406	4,454	3,531	3,578	4,156	4,562	4,657	3,515	3,219	3,031	4,671	4,266

Legenda para os dados:

– Ronda de teste em que foram identificados 14 ativos (do total de 15)

– Ronda de teste em que foram identificados 13 ativos em 15 no total

– Ronda de teste com o tempo menor de leitura de 14 ativos conseguido (não foi identificado o total de 15 em nenhuma ronda)

– Ronda de teste com o tempo maior de leitura dos 14 ativos

