



Estudo e desenvolvimento de sistema para a rastreabilidade de peças e máquinas

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

Diogo Rosa Pereira

Leiria, setembro de 2025



Estudo e desenvolvimento de sistema para a rastreabilidade de peças e máquinas

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

Diogo Rosa Pereira

Trabalho de Projeto realizado sob a orientação da Professora Doutora Milena Vieira e da Professora Doutora Irene Ferreira

Leiria, setembro de 2025

Originalidade e Direitos de Autor

O presente relatório de projeto é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial, no ano letivo 2024/2025, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Agradecimentos

Aos meus pais pelo seu apoio e amor incondicional em todas etapas da minha vida, e em especial para a conclusão desta que foi bastante difícil, e que estando sempre presentes nos bons e maus momentos nunca me faltaram com nada e não me deixaram desistir.

À minha avó Conceição que pensa sempre em mim e dá-me força para continuar.

À minha namorada, Rafaela, a maior e melhor surpresa que apareceu na minha vida na última fase deste trabalho, pela muita força, apoio e amor que me deu.

À minha família que sempre me apoiou para a concretização deste mestrado.

Aos meus amigos, que me apoiaram para realizar este trabalho e não me deixaram desistir.

À HRV, a toda a administração da empresa, em especial, ao diretor técnico, o Engenheiro Vitalino Carvalho por terem aceitado e motivado para o desafio de implementação deste sistema e todo o seu apoio na implementação do mesmo. Aos meus colegas de trabalho da HRV que me apoiaram também na concretização deste trabalho.

Às professoras orientadoras a Doutora Irene Ferreira, e a Doutora Milena Vieira pelos seus conselhos, esclarecimento de dúvidas e não terem desistido de mim.

Resumo

O relatório apresenta o estudo e desenvolvimento de um sistema de rastreabilidade aplicado à empresa HRV Process Solutions. Inserida no setor da indústria metalomecânica, dedicada ao desenvolvimento e fabrico de equipamentos por encomenda, a empresa caracteriza-se por uma produção com elevada variedade de peças e baixos volumes, fabricadas e assembladas numa etapa final de montagem. Este tipo de produção, marcado pela complexidade e variabilidade, dificulta a gestão e o controlo, originando falhas na rastreabilidade ao longo de todo o processo.

Neste contexto, o trabalho iniciou-se com um diagnóstico aos fluxos documentais e físicos, complementado por uma simulação de retirada de produto, com o objetivo de identificar lacunas e necessidades a colmatar no sistema a desenvolver. O diagnóstico revelou falhas significativas na rastreabilidade de matérias-primas e componentes, ausência de registo de lotes e de sistema FIFO, bem como ineficiências na movimentação de peças entre secções, traduzindo-se em perdas de componentes, erros de montagem e retrabalho não contabilizado.

Para responder a estes desafios, foi concebido um sistema assente em códigos QR, integrados no software GestPro já existente, associado ao conceito de “Volume”: conjuntos de peças de um equipamento ou obra passaram a ser organizados em volumes, cada um identificado por etiqueta e associado a localizações específicas na fábrica, com registo e atualização em tempo real. O sistema foi testado em duas fases: numa primeira implementação, com etiquetas simples acompanhadas por desenhos 2D, e numa segunda, com a introdução de códigos QR que permitiram comunicação direta com o sistema e maior rigor no acompanhamento físico dos volumes.

A análise dos pedidos de produção acompanhados demonstrou a eficácia do sistema, embora tenham sido identificadas oportunidades de melhoria, como o registo histórico das localizações, a integração automática da informação nas guias de transporte, a criação de volumes também no torneamento, a utilização de etiquetas metálicas em determinados casos e a implementação de FIFO com registo de lotes de matérias-primas. Adicionalmente, o sistema possibilitou contabilizar, pela primeira vez, o retrabalho: 527 horas em quatro meses (cerca de 5% do total de produção), sobretudo devido a erros no desenvolvimento de peças

e ao desaparecimento de componentes, confirmando a relevância de um sistema de rastreabilidade completo.

Em síntese, o sistema desenvolvido mostrou-se funcional e eficiente, permitindo maior organização e redução de desperdícios. Apesar de carecer de otimizações, constitui um avanço relevante na digitalização da HRV, reforçando a sua competitividade e alinhando-se com os princípios da Indústria 4.0.

Palavras-chave: Rastreabilidade; Indústria metalomecânica; Engineer-to-Order; Códigos QR; Retrabalho

Abstract

The report presents the study and development of a traceability system applied to HRV Process Solutions. Operating in the metalworking industry, dedicated to the development and manufacture of customised equipment, the company is characterised by a high variety of parts and low volumes, manufactured and assembled in a final assembly stage. This type of production, marked by complexity and variability, makes management and control difficult, leading to traceability failures throughout the process.

In this context, the work began with a diagnosis of document and physical flows, complemented by a product withdrawal simulation, with the aim of identifying gaps and needs to be addressed in the system to be developed. The diagnosis revealed significant flaws in the traceability of raw materials and components, a lack of batch records and a FIFO system, as well as inefficiencies in the movement of parts between sections, resulting in component losses, assembly errors and unaccounted rework.

To respond to these challenges, a system based on QR codes was designed, integrated into the existing GestPro software, associated with the concept of 'Volume': sets of equipment or work pieces were organised into volumes, each identified by a label and associated with specific locations in the factory, with real-time recording and updating. The system was tested in two phases: in a first implementation, with simple labels accompanied by 2D drawings, and in a second, with the introduction of QR codes that allowed direct communication with the system and greater accuracy in the physical monitoring of volumes.

Analysis of the production orders tracked demonstrated the effectiveness of the system, although opportunities for improvement were identified, such as historical location records, automatic integration of information into transport guides, the creation of volumes also in turning, the use of metal labels in certain cases, and the implementation of FIFO with raw material batch records. In addition, the system made it possible to account for rework for the first time: 527 hours in four months (about 5% of total production), mainly due to errors in the development of parts and the disappearance of components, confirming the relevance of a complete traceability system.

In summary, the developed system proved to be functional and efficient, allowing for greater organisation and waste reduction. Although it needs optimisation, it constitutes a significant

advance in the digitisation of HRV, reinforcing its competitiveness and aligning it with the principles of Industry 4.0.

Keywords: Traceability; Metalworking Industry; Engineer-to-Order; QR Codes; Rework

Índice

Originalidade e Direitos de Autor	iii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vii
Lista de Figuras	xi
Lista de tabelas	xiv
Lista de siglas e acrónimos.....	xv
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e metodologia	1
2. Revisão Bibliográfica.....	3
2.1. A indústria 4.0 e a rastreabilidade.....	4
2.2. Tipos de rastreabilidade.....	6
2.3. Tecnologias de apoio à rastreabilidade.....	6
2.3.1. Código de barras	7
2.3.2. Códigos QR	7
2.3.3. RFID	8
2.3.4. Comparação das tecnologias	10
2.3.5. Blockchain	11
2.4. Sistemas de produção	12
3. Caso de estudo.....	15
3.1. Indústria metalomecânica.....	15
3.2. Grupo HRV	16
3.2.1. HRV Processs Solutions.....	17
3.2.2. Motivação do desenvolvimento e aplicação do sistema de rastreabilidade.....	18
3.2.3. Processo produtivo HRV	18
4. Análise da rastreabilidade existente	23
4.1. Análise da rastreabilidade da mão-de-obra dos funcionários	23
4.2. Análise da rastreabilidade dos materiais e componentes.....	24
4.3. Análise da movimentação dos materiais nas secções.....	25

4.4.	Análise da rastreabilidade do fabrico de um equipamento.....	27
4.5.	Simulação de retirada de produto	32
4.6.	Conclusões da análise efetuada	36
5.	Implementação de sistema de rastreabilidade.....	38
5.1.	Primeira implementação.....	42
5.2.	Segunda implementação	48
5.2.1.	Pedido de produção 1000	48
5.2.2.	Pedidos de produção 1062 e 1063.....	51
5.2.3.	Pedido de produção 1064	54
5.2.4.	Expedição dos volumes.....	56
5.3.	Conclusão das implementações	56
5.4.	Análise dos dados do retrabalho	57
6.	Conclusões e propostas de melhoria	63
6.1.	Conclusão	63
6.2.	Melhorias futuras para o sistema de rastreabilidade	63
	Bibliografia	67

Lista de Figuras

Figura 1 - Exemplo de código de barras EAN.....	7
Figura 2 - Exemplo de código QR.....	8
Figura 3 - Esquema exemplificativo do funcionamento do sistema RFID	9
Figura 4 - Instalações atuais da HRV	17
Figura 5 - Fluxograma processo produtivo HRV	19
Figura 6- Secções num pedido de produção	20
Figura 7 - Desenho 2D de equipamento	21
Figura 8 - Exemplo de horas de máquinas e funcionários registados num pedido de produção	24
Figura 9 - Exemplo de requisição de material	25
Figura 10- Planta da fábrica da HRV	25
Figura 11 - Material cortado no laser, pronto para ser trabalhado	28
Figura 12 - Peças do sem-fim numa palete.....	28
Figura 13 - Peças do sem-fim numa bancada	28
Figura 14 - Peças do sem-fim fabricadas e colocadas na secção de receção	29
Figura 15 - Pinturas de peças do sem-fim	29
Figura 16 - Peças do sem-fim pintadas e colocadas numa área não identificada	30
Figura 17 - Peças sem identificação na secção do torneamento	30
Figura 18 – (a) Sem-fim assembled e (b) Identificação pelo desenho 2D	31
Figura 19 – (a) Placa de identificação do sem-fim e (b) Sem-fim completo	31
Figura 20 - Sem-fim alimentador	32
Figura 21 - Software GestPro	32
Figura 22 - Lista de material de stock pedido ao armazém	33
Figura 23 - Horas máquina inseridas na secção do torneamento	34
Figura 24 - Material usado na secção do torneamento	34
Figura 25 - Material usado na secção da serralharia.....	35
Figura 26 - Horas máquina e de mão-de-obra inseridas na secção da serralharia	35
Figura 27 - Página do pedido de produção no software GestPro.....	36

Figura 28 - Introdução de horas de mão-de-obra num pedido de produção	38
Figura 29 - Descrição do retrabalho realizado	39
Figura 30 - Localizações para associar aos volumes.....	40
Figura 31 - Secção da mecânica com a planta da HRV das localizações afixada (na parede à direita)	41
Figura 32 - Etiqueta de identificação do volume	42
Figura 33 - Informação inserida na criação de um volume	43
Figura 34 - Local na página do GestPro onde é possível fazer a edição dos volumes	43
Figura 35 – (a) 1 Volume identificado e (b) 2 Volumes identificados.....	44
Figura 36 - 2 Volumes identificados	44
Figura 37 - 4 Volumes de peças em Inox no local 11	45
Figura 38 - Volume na secção de pintura.....	45
Figura 39 - Volumes das peças em inox no local 14.....	46
Figura 40 - Peças do volume espalhadas a secar.....	46
Figura 41 - Peças fabricadas na secção do torneamento na zona OUT	47
Figura 42 - Volume do sem-fim junto dos volumes de inox.....	47
Figura 43 - Zona de armazenamento específica para a obra	48
Figura 44 – 11 volumes do pedido de produção 1000 no local 4.....	49
Figura 45 - Localização de 11 volumes do pedido de produção 1000 no GestPro.....	49
Figura 46 - Volumes 1 a 6 e 13 e 14 no local 6.....	50
Figura 47 - Volumes 13 e 14 na zona de armazenamento específico da obra.....	50
Figura 48 - (a) Alguns volumes do pedido de produção e (b) 2 Volumes do pedido de produção	51
Figura 49 – (a) Peças de volumes na pintura e (b) Restantes peças dos volumes na zona de preparação da pintura	52
Figura 50 - Zona específica de armazenamento para esta obra.....	52
Figura 51 - Etiqueta com código QR	53
Figura 52 - Tambores com etiquetas identificadoras	53
Figura 53 - Indicação da localização de um tambor no GestPro	53
Figura 54 - Montagem dos 2 tapetes na zona da mecânica	54
Figura 55 - Tremonhas na zona de receção da pintura.....	54
Figura 56 - Tremonha na zona da mecânica.....	55

Figura 57 - Mão-de-obra de retrabalho realizada na pintura do interior das tremonhas	55
Figura 58 - Lista de todos os volumes ativos da obra.....	56
Figura 59 - Horas de retrabalho por cada erro/causa na secção do desenho.....	58
Figura 60 - Gráfico com as horas de retrabalho por cada erro/causa na secção da serralharia	59
Figura 61 - Horas de retrabalho por cada erro/causa na secção da pintura.....	60
Figura 62 - Horas de retrabalho por cada erro/causa na secção do torneamento	60
Figura 63 - Horas de retrabalho por cada erro/causa na secção da mecânica	61
Figura 64 - Total de horas de retrabalho por cada erro/ causa.....	61
Figura 65 – Assemblagem 3D com todas as peças da mesma cor.....	64

Lista de tabelas

Tabela 1 - Comparação das tecnologias	10
Tabela 2 - Legenda da oficina HRV.....	26
Tabela 3 - Tabela resumo dos pontos identificados no diagnóstico	37
Tabela 4 - Números das localizações e respetivas designações	41
Tabela 5 - Erros/ causas descritas pelos funcionários	57

Lista de siglas e acrónimos

ATO	Assemble-to-Order
EAN	European Article Number
ETO	Engineer-to-Order
FIFO	First In, First Out
GPS	Global positioning system
HMLV	High Mix Low Volume
HRV	Heleno, Ribeiro & Veríssimo
KPI	Key Performance Indicator
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
MTO	Make-to-Order
MTS	Make-to-Stock
QR	Quick Response
RFID	Radio Frequency Identification

1. Introdução

1.1. Enquadramento e metodologia

O presente trabalho tem como objeto de estudo a conceção e a implementação inicial de um sistema de rastreabilidade aplicado à indústria metalomecânica, tomando como caso de estudo a empresa HRV Process Solutions. O tema insere-se no contexto da digitalização industrial e da Indústria 4.0, assumindo particular relevância pela necessidade crescente de melhorar a eficiência, a qualidade e a fiabilidade dos processos produtivos através de sistemas que permitam acompanhar, de forma estruturada, o percurso de peças e equipamentos ao longo de todas as etapas de fabrico.

A pertinência deste estudo decorre da importância que a rastreabilidade tem vindo a assumir como fator estratégico em particular para as empresas industriais. Num setor caracterizado por produção em pequenas séries, elevada personalização e complexidade organizacional, a inexistência de mecanismos eficazes de identificação e monitorização de peças/componentes/sistemas, origina perdas, atrasos no fabrico, erros de montagem, retrabalho e custos acrescidos.

A HRV Process Solutions enfrenta precisamente estes desafios, sendo por isso fundamental a implementação de um sistema adequado. Devido à especificidade dos equipamentos produzidos pela empresa, torna-se extremamente difícil, a posteriori, seguir o rastro dos produtos fabricados e identificar, de jusante a montante, todos os fluxos físicos, materiais e humanos que neles foram incorporados. Neste sentido, é essencial adotar um sistema de rastreabilidade em tempo real, que permita não apenas acompanhar todo o percurso dos produtos, mas também quantificar o retrabalho atualmente não contabilizado, garantindo maior controlo, eficiência e fiabilidade nos processos.

Neste âmbito, o objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver e iniciar a implementação de um sistema de rastreabilidade que permita acompanhar peças e volumes em tempo real, apoiar o processo de expedição, identificar falhas e analisar as causas de retrabalho. Especificamente, pretende-se avaliar o procedimento existente e as suas limitações, para de seguida conceber um modelo de rastreabilidade adequado ao contexto da

produção sob encomenda, selecionar a tecnologia mais apropriada, validar a sua aplicação através de um projeto-piloto de modo a medir o seu impacto e a fundamentar possíveis propostas de melhoria. O trabalho procura, assim, responder a questões relacionadas com as lacunas da rastreabilidade atual, identificar as tecnologias com melhor relação custo-benefício e o contributo que o sistema de rastreabilidade proposto pode oferecer para aumentar a eficiência operacional e reduzir desperdícios.

Neste sentido a metodologia seguida incluiu, numa primeira fase, uma revisão bibliográfica dedicada aos conceitos de rastreabilidade e às principais tecnologias de suporte, nomeadamente códigos de barras, códigos QR, RFID e Blockchain. Posteriormente foi realizado um estudo de caso na HRV Process Solutions, através da observação direta dos fluxos produtivos, da análise documental e do levantamento de dados nos sistemas internos. Para avaliar a rastreabilidade disponível foram ainda conduzidas uma simulação de retirada de produto e uma análise do fabrico de um equipamento. Com base neste diagnóstico, elaborou-se um modelo de rastreabilidade suportado por códigos QR integrados no software GestPro, no qual as peças foram organizadas em volumes associados a localizações específicas da fábrica. Este modelo foi testado através de uma primeira implementação prática, que incluiu a criação de etiquetas e a definição de volumes. Paralelamente, procedeu-se à análise quantitativa do retrabalho, permitindo determinar a sua expressão no total das horas de produção e identificar as principais causas.

A dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos principais. Após a presente Introdução, o capítulo dois apresenta a revisão bibliográfica, abordando os conceitos fundamentais de rastreabilidade, as classificações existentes, as tecnologias de apoio e os sistemas de produção. O capítulo três descreve o caso de estudo, caracterizando a indústria metalomecânica, o grupo HRV e o processo produtivo em análise. O capítulo quatro analisa a rastreabilidade existente na empresa, identificando as falhas e dificuldades ao nível da mão-de-obra, dos materiais, da movimentação física e do fabrico de equipamentos. O capítulo cinco apresenta a implementação do sistema de rastreabilidade, descrevendo a proposta desenvolvida, a sua aplicação prática e os resultados obtidos. Finalmente, no capítulo seis, são apresentadas as propostas de melhoria futura no sistema de rastreabilidade, e as conclusões finais, salientando os principais contributos do trabalho.

2. Revisão Bibliográfica

A rastreabilidade pode ser definida como a capacidade de seguir de um produto ou item específico ao longo de todo o seu ciclo de vida. Isto envolve a recolha, armazenamento e análise de informações detalhadas sobre a origem, história e movimento do produto em todas as etapas. No século XX, com os avanços tecnológicos, como o desenvolvimento de códigos de barras e sistemas de gestão de dados informatizados, a rastreabilidade tornou-se mais acessível e eficiente. A capacidade de rastrear produtos individualmente em toda a cadeia de distribuição tornou-se um objetivo importante para garantir a qualidade, segurança e conformidade regulatória, permitindo também uma resposta rápida em caso de *recall* ou problema de segurança. Atualmente a rastreabilidade é considerada uma ferramenta essencial em muitas indústrias, incluindo alimentar, farmacêutica, automóvel e eletrónica [1].

Esta realidade sustenta-se pela literatura existente, encontrando-se diversos trabalhos que focam este tema. Um destes exemplos é no caso de uma empresa de fabrico de peças metálicas, maioritariamente em lotes, foi desenvolvido um estudo qualitativo da implementação de melhorias num sistema de rastreabilidade. Foram encontrados vários problemas como a perda de informação ao longo da produção devido a registos manuais e erros humanos, a ausência de padronização nos processos de rastreabilidade, entre outros, tornando elevado o risco de serem misturados lotes diferentes, originando dificuldades na gestão da qualidade e eventuais *recalls*. Este sistema propõe a utilização de códigos de barras para automatizar e simplificar registos, desde a receção de materiais, os lotes ao longo da produção e a entrega ao cliente, integrando estes dados com o sistema de gestão interno da empresa. Este estudo conclui que estas medidas poderiam aumentar a eficiência operacional, a fiabilidade dos dados, a gestão de riscos e a satisfação do cliente, garantindo maior competitividade e sustentabilidade no setor [2].

Outro exemplo, descreve a rastreabilidade numa empresa dedicada à transformação e comercialização de pescado congelado, que além de ser obrigatória por lei, assume particular importância por diversas razões, nomeadamente garantir a segurança alimentar e a defesa do consumidor, permitir identificar rapidamente a origem de um produto e assegurar que este cumpre todos os requisitos legais e de qualidade. Outro fator de referência do sistema é que este contribui para combater fraudes alimentares e reforçar a confiança na autenticidade e

qualidade do pescado. Acresce ainda a vertente estratégica: uma rastreabilidade eficaz diferencia os produtos no mercado, valoriza a transparência e a sustentabilidade e aumenta a resiliência da cadeia de abastecimento, facilitando a resposta a incidentes, contaminações ou devoluções [3].

Nesta empresa a rastreabilidade é assegurada através de diferentes sistemas e tecnologias. Internamente, a empresa utiliza diversos softwares que permitem gerir stocks, lotes, tempos de produção e qualidade, assegurando controlo rigoroso em tempo real. Foi estudada a aplicação de tecnologias para melhorar o sistema de rastreabilidade existente, como o Blockchain, que garante registos imutáveis e transparentes de todos os dados e facilitando a identificação de incidentes e a redução de desperdícios, e as tags RFID, que permitem monitorizar parâmetros críticos como temperatura, humidade e tempo de prateleira, fundamentais numa cadeia de frio. Estas tecnologias revelam também aplicabilidade na logística reversa, possibilitando uma gestão mais eficiente e económica das devoluções de produtos. Em suma conclui-se que a aplicação prática destas tecnologias teria muitas vantagens e traria uma oportunidade estratégica para garantir ainda maior confiança, sustentabilidade e diferenciação no mercado do pescado.

2.1.A indústria 4.0 e a rastreabilidade

Desde a primeira revolução industrial que os avanços tecnológicos têm desempenhado um papel determinante no aumento da produtividade [4].

A Primeira Revolução Industrial, iniciada no final do século XVIII, foi marcada pela introdução de máquinas impulsionadas pela invenção da máquina a vapor, que transformou a produção artesanal numa produção mais industrializada. A segunda revolução ocorreu entre o final do século XIX e o início do século XX, com o aparecimento da eletricidade, e o início da produção em massa/ grande escala devido ao desenvolvimento de linhas montagem em série. Já a terceira revolução, na segunda metade do século XX, foi impulsionada pela automação, pela robótica, pela informática e pelo surgimento da internet, que trouxeram avanços assinaláveis em qualidade e produtividade. A quarta revolução industrial ou indústria 4.0, termo popularizado a partir de 2011, representa a convergência digital através da internet, marcada pela comunicação entre máquina, pessoas e equipamentos, pela integração de dados e pelas fábricas inteligentes [5].

Na Indústria 4.0, caracterizada pelo uso da Internet das Coisas (IoT), recolha de dados e Computação em Nuvem, a rastreabilidade ganha um papel ainda mais relevante. A rastreabilidade ao longo da produção através de tecnologias como etiquetas com códigos de barras, câmaras inteligentes, controladores programáveis e sistemas de informação, permite monitorizar e armazenar dados detalhados sobre cada produto. Todos os sistemas conectados permitem assim recolher, analisar e partilhar dados em tempo real, desde o chão de fábrica até aos níveis superiores de gestão e controlo de qualidade [4].

A integração da rastreabilidade na Indústria 4.0 assegura processos produtivos mais flexíveis, eficientes e seguros, reduzindo custos e aumentando a qualidade. Além disso, fortalece a relação entre fornecedores, produtores e consumidores, assegura o controlo da complexidade de dados e contribui para a melhoria contínua.

Assim, a rastreabilidade e a Indústria 4.0 são complementares: enquanto a Indústria 4.0 fornece as ferramentas digitais e conectadas, a rastreabilidade garante a visibilidade e a confiança necessárias para o funcionamento das fábricas inteligentes.

Um destes exemplos foi uma investigação centrada na gestão de equipamentos de soldadura numa empresa do setor metalomecânico (fabricação de transporte ferroviário), onde a dispersão de equipamentos entre locais internos e externos gerava falhas de inventário e perdas económicas significativas, tendo o inventário apenas 77% de fiabilidade. Foram avaliadas tecnologias de rastreabilidade, nomeadamente RFID e GPS, tendo-se verificado que a primeira apresenta limitações fora das instalações da empresa, ao contrário do GPS, que garante visibilidade em ambientes externos. Foram implementadas as tags RFID para os equipamentos em locais internos e tags GPS nos externos. A integração dos dados obtidos no sistema, já existente, de gestão de equipamentos da empresa, permitiu aumentar a fiabilidade do inventário para cerca de 99%, reduzir perdas anuais estimadas em 553 mil dólares e melhorar a eficiência no acesso e atualização de dados em tempo real. Os resultados evidenciaram que a adoção de tecnologias digitais de rastreabilidade constitui um fator crítico para a competitividade das empresas na Indústria 4.0, contribuindo para maior eficiência logística, redução de riscos e otimização da gestão de ativos [6].

2.2. Tipos de rastreabilidade

A rastreabilidade pode ser classificada de 2 formas diferentes, pelo sentido do fluxo do material a rastrear e se esta é efetuada em tempo real, devido ao tratamento dos dados recolhidos durante este processo [7].

Tendo em consideração o sentido do fluxo do material a rastreabilidade pode ser a montante ou a jusante do processo. A rastreabilidade a montante (*backward traceability*) refere-se à capacidade de rastrear a origem dos materiais utilizados na produção de um produto. Ou seja, permite rastrear a cadeia de fornecimento para identificar a origem das matérias-primas utilizadas. Isto inclui identificar os fornecedores, as datas de produção e de entrega, entre outras informações relevantes permitindo identificar eventuais problemas nas matérias-primas utilizadas na produção e assim garantir a qualidade e segurança necessárias. A rastreabilidade a jusante (*forward traceability*) permite rastrear o destino final dos produtos acabados. Ou seja, é a capacidade de rastrear os produtos após saírem da fábrica, identificando o cliente final e o seu destino contribuindo para garantir a segurança dos produtos, pois permite identificar eventuais problemas após a saída da fábrica.

A rastreabilidade pode ser classificada ativa quando todos os dados do processo produtivo são registados e analisados em tempo real. Esta abordagem permite que as empresas monitorizem continuamente o processo produtivo e ajuda a identificar problemas de qualidade ou segurança de uma forma mais rápida contribuindo para otimização do processo produtivo.

A rastreabilidade é passiva quando apenas armazena todos os dados do processo produtivo, não sendo analisados em tempo real.

2.3. Tecnologias de apoio à rastreabilidade

As empresas estão a alterar os seus processos de rastreabilidade, substituindo os métodos manuais de rastreamento que são suscetíveis a erros, para processos automáticos, através de mudanças tanto nos processos, como adicionando tecnologia que permite a captura, armazenamento e gestão de informações de forma automatizada. Esta transformação é fomentada pela indústria 4.0 que promove a digitalização da indústria [8].

2.3.1. Código de barras

Os códigos de barras são uma das tecnologias mais antigas e amplamente utilizadas para rastreabilidade. Consistem numa representação gráfica de linhas verticais paralelas, de cor branca e preta, com espaçamentos variáveis, que representam dados alfanuméricos. São utilizados leitores óticos para ler os códigos de barras. Estes emitem um feixe de luz sobre os códigos e interpretam o reflexo da luz para rapidamente identificar e decodificar os mesmos [9];

Existem vários tipos de códigos de barras, sendo o EAN (European Article Number) (Figura 1) o mais usado internacionalmente. Os leitores óticos têm de estar codificados para cada tipo de código, de modo a poder interpretar o mesmo [10].



Figura 1 - Exemplo de código de barras EAN

Embora o código de barras seja utilizado há muitos anos e apresente vantagens relevantes, como o baixo custo e a ampla disseminação no mercado, também possui diversas limitações. Entre as principais desvantagens encontram-se a sua fragilidade física, a impossibilidade de ser lido à distância, a reduzida capacidade de armazenamento de informação e a ausência de recursos para o tratamento de dados [9]. No caso da informação contida no código de barras ser alterada é necessário fazer um novo código [11].

2.3.2. Códigos QR

Os códigos QR (Figura 2) são uma forma de código de barras bidimensional que foi inicialmente desenvolvida em 1994 pela empresa japonesa Denso Wave, subsidiária da Toyota, para rastrear peças de veículos durante o processo de fabricação [12]. Desde então, estes evoluíram e tornaram-se numa ferramenta versátil e amplamente utilizada numa variedade de contextos.



Figura 2 - Exemplo de código QR

Os códigos QR são compostos por módulos e pontos pretos dispostos num padrão quadrado num fundo branco. Estes podem armazenar uma quantidade significativa de informações, incluindo texto, números, links da web, imagens ou arquivos. A capacidade de armazenamento de um código QR depende da sua complexidade e do tamanho físico do código [13].

Ao contrário dos códigos de barras lineares tradicionais, que só podem ser lidos horizontalmente, os códigos QR podem ser lidos a partir de qualquer direção, tornando-os mais versáteis e fáceis de usar. Estes podem ser lidos por dispositivos como smartphones, tablets e scanners dedicados, através da câmara ou de uma aplicação específica [11].

Os códigos QR podem ser classificados como dinâmicos ou estáticos. No caso dos códigos dinâmicos, estes apresentam maior versatilidade, dado que permitem a atualização e edição da informação sempre que necessário, mesmo após a sua criação. Por outro lado, os códigos estáticos armazenam dados imutáveis, não sendo possível proceder a quaisquer alterações depois de terem sido gerados. Deste modo, a escolha entre um código estático ou dinâmico depende das necessidades específicas de utilização e da flexibilidade exigida para a gestão da informação.

2.3.3. RFID

A tecnologia RFID utiliza sinais de radiofrequência para identificar e rastrear objetos equipados de forma automática e sem contacto físico. Este equipamento é constituído por três componentes principais [14]:

- i) A *tag* RFID, também conhecida como transponder ou etiqueta, é um dispositivo pequeno que contém uma antena para receber e responder a solicitações de sinais de

rádio de um leitor RFID. As *tags* RFID podem ser ativas (possuindo uma fonte de energia própria) ou passivas (dependendo da energia do sinal do leitor para funcionar);

- ii) O leitor RFID é um dispositivo que emite sinais de rádio para ativar *tags* RFID próximas e recebe as respostas das *tags*. O leitor após receber as informações contidas na *tag* e envia-as para um sistema de processamento de dados;
- iii) O sistema de processamento de dados é responsável por receber as informações do leitor RFID, processá-las e integrá-las nos sistemas de informação existentes, como sistemas de inventário, bancos de dados de clientes, sistemas de gestão de armazéns, entre outros.

Quando um leitor RFID emite um sinal de rádio, as *tags* que estiverem dentro de seu alcance são ativadas e respondem transmitindo seus dados de identificação. Existe uma antena que atua como o meio físico responsável pela transmissão e recepção das ondas de rádio, possibilitando a comunicação entre o leitor e a *tag*. Em seguida, o leitor encaminha essas informações para o sistema de processamento de dados, onde serão analisadas e utilizadas conforme a necessidade. Na Figura 3, está representado um esquema exemplificativo do funcionamento do sistema RFID.

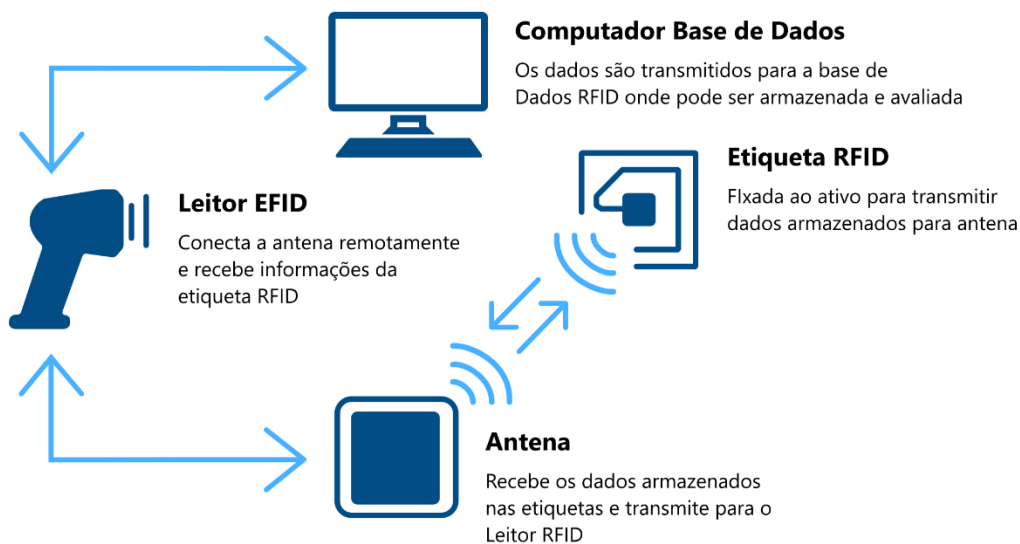


Figura 3 - Esquema exemplificativo do funcionamento do sistema RFID

2.3.4. Comparação das tecnologias

Com a crescente digitalização da indústria, torna-se essencial adotar tecnologias que promovam maior eficiência, rapidez e facilidade no acesso à informação. Cada tecnologia tem características, custos e níveis de automatização distintos, por isso a escolha da mais adequada depende das necessidades específicas de cada aplicação, bem como dos recursos disponíveis. Assim, uma análise comparativa destas tecnologias, como está representado na Tabela 1, é fundamental para uma decisão informada e estratégica [15].

Tabela 1 - Comparação das tecnologias

Critério	Código de barras	Código QR	RFID
Custo	Baixo	Baixo	Elevado
Capacidade armazenamento de dados	Limitada	Alta	Muito alta (leitura/escrita)
Leitura	Requer linha de visão e proximidade	Requer linha de visão, mas pode ser lido em qualquer direção	Não requer linha de visão; leitura a longa distância
Velocidade de leitura	Lenta (um por um)	Moderada	Muito rápida (várias tags ao mesmo tempo)
Segurança	Baixa (facilmente copiado)	Média	Alta (criptação, proteção por senha, função de eliminação)
Durabilidade	Baixa (facilmente danificado)	Média (resistente a danos parciais)	Alta (resistente, reutilizável, suporta humidade/temperatura)
Automatização	Pouca	Pouca	Elevada (mínima intervenção humana)
Aplicações	Inventário, estatísticas, identificação	Guias, links, recursos eletrónicos	Inventário, segurança, circulação

Em suma o código de barras, apesar do baixo custo, apresenta limitações em termos de velocidade, durabilidade e automatização. O código QR oferece maior capacidade de dados e leitura multidirecional, sendo ideal para integrar recursos digitais, embora exija dispositivos móveis e familiarização por parte dos utilizadores. Por outro lado, o RFID, embora mais dispendioso, destaca-se pela eficiência, segurança e possibilidade de automatização dos serviços, tornando-o uma opção robusta para empresas que pretendam melhorar os processos de circulação, inventário e segurança documental.

2.3.5. Blockchain

O blockchain é uma tecnologia de registo distribuído que armazena informações em blocos interligados e protegidos por criptografia. Cada bloco contém um conjunto de transações validadas por consenso entre os participantes da rede, sendo depois ligado de forma sequencial ao bloco anterior, criando assim uma cadeia imutável. Esta estrutura descentralizada garante transparência, segurança e resistência à adulteração dos dados [16].

A sua origem remonta a 2008, quando foi introduzido o Bitcoin, a sua primeira aplicação prática. Inicialmente esta tecnologia era associada às criptomoedas mas o conceito e a tecnologia evoluíram para além do setor financeiro, abrindo caminho a múltiplas aplicações em diferentes áreas.

O funcionamento do blockchain baseia-se em três pilares: descentralização, consenso e imutabilidade. A descentralização elimina a necessidade de uma autoridade central, o consenso assegura que todas as partes concordam com a validade dos dados, e a imutabilidade impede alterações retroativas sem o acordo da rede. A implementação e manutenção destes sistemas tem um custo elevado devido à sua complexidade de funcionamento.

Na rastreabilidade, o blockchain permite registar de forma segura e transparente todas as etapas de um processo ou cadeia de abastecimento. Pode ser aplicado na indústria alimentar para verificar a origem e percurso de produtos, na logística para acompanhar remessas em tempo real, no setor farmacêutico para prevenir falsificações, e na indústria têxtil para comprovar práticas sustentáveis. O registo permanente e auditável facilita a conformidade regulatória, aumentando a confiança do consumidor e melhorando a eficiência operacional.

No setor vitivinícola português está a ser estudada a implementação do blockchain para garantir a origem e qualidade do vinho, sendo a introdução dos dados a ser armazenados

através da leitura de *tags* RFID e códigos QR ao longo do seu processo produtivo [17]. Estas tecnologias como estão amplamente aplicadas em diversas indústrias podem também ser utilizadas para a introdução dos dados no blockchain.

Assim, o blockchain constitui uma solução tecnológica promissora para reforçar a rastreabilidade em múltiplos setores, promovendo confiança, integridade e transparência na gestão de dados e processos [16].

2.4. Sistemas de produção

O sistema de produção vigente numa organização industrial constitui um fator determinante para as exigências de detalhe da informação, a estruturação dos fluxos de materiais, a velocidade de resposta, o grau de integração funcional e os custos associados à rastreabilidade. Em contextos produtivos caracterizados por elevada estabilidade e repetibilidade, a rastreabilidade tende a assumir menor complexidade e custo, dado que as estruturas de produto e os processos se encontram pré-definidos e amplamente normalizados. Todavia, à medida que a produção incorpora maior variabilidade e personalização, o nível de incerteza aumenta e, com ele, a necessidade de aprofundar o grau de detalhe no acompanhamento das operações e dos recursos envolvidos. Nestes ambientes, a rastreabilidade não se limita aos fluxos físicos de materiais, estendendo-se também a atividades de natureza imaterial, como a engenharia, o design e o planeamento, que integram o ciclo produtivo e condicionam o cumprimento dos prazos e a fiabilidade dos resultados. Esta realidade acentua a necessidade de integração estreita entre as funções comerciais, técnicas e operacionais, bem como de sistemas de informação capazes de lidar com dados incompletos, mutáveis e específicos de cada encomenda. Consequentemente, os custos inerentes à rastreabilidade tendem a aumentar proporcionalmente à complexidade e ao grau de incerteza do sistema produtivo, constituindo um investimento indispensável para assegurar o controlo, a consistência e a eficiência global da indústria.

As empresas adaptam a sua produção de acordo com a sua colocação no mercado e com as necessidades dos clientes. Existem 4 principais sistemas de produção que têm características diferentes adequados para cada tipo de mercado [18].

1. ***Make-to-Stock (MTS)*** – Este sistema envolve a produção de bens com base na antecipação da procura, ou seja, os produtos finais são fabricados e mantidos em stock, prontos para serem vendidos futuramente. Este modelo é utilizado em

indústrias que produzem produtos padronizados e com alta procura previsível, como no caso de bens de consumo rápido ou produtos eletrônicos de grande circulação. A principal vantagem deste sistema é a capacidade de resposta rápida à procura, mas existe o risco associado à possibilidade de excesso de stock, levando a custos de armazenamento e a que os produtos se possam tornar obsoletos.

2. ***Assemble-to-Order (ATO)*** – Neste modelo o fabricante mantém um stock de componentes ou submontagens, e a produção final do produto é iniciada apenas quando ocorre um pedido do cliente. Ou seja, a produção do produto final é realizada de acordo com as especificações do cliente, mas com base em componentes standard previamente produzidos. Este sistema permite um certo grau de personalização dos produtos sem implicar custos elevados associados ao *Make-to-Order*. Um exemplo clássico deste sistema é a indústria automóvel, onde se fabricam as principais peças e componentes e a montagem final é realizada com base nas escolhas do cliente.
3. ***Make-to-Order (MTO)*** – Neste sistema a produção só é iniciada após o pedido do cliente. Este sistema é adequado para produtos que exigem maior personalização ou quando a procura é imprevisível. A produção é totalmente ajustada às especificações do cliente, o que pode levar a tempos de entrega mais longos. No entanto, este sistema permite evitar os custos de stock e minimizar o risco de produção em excesso. As indústrias de fabricação de móveis sob medida ou equipamentos industriais específicos utilizam este sistema de produção.
4. ***Engineer-to-Order (ETO)*** – O sistema ETO é o mais complexo de todos. Os detalhes do produto, incluindo as especificações técnicas e de engenharia, são definidos apenas após a receção do pedido do cliente. Este tipo de produção envolve uma grande personalização, pois o processo de fabrico começa com o desenvolvimento do projeto, seguido pelo aprovisionamento de materiais e pela produção conforme as exigências técnicas do cliente. Este sistema é típico em indústrias como a construção de maquinaria pesada, projetos de engenharia civil ou fabricação de equipamentos especializados. A principal característica deste sistema é que todo o processo, desde o design até a produção e montagem, depende diretamente da especificação fornecida pelo cliente.

Nos sistemas de produção MTO e ETO, a rastreabilidade revela-se um elemento central para a gestão eficaz da complexidade produtiva. Este modelo caracteriza-se pela produção em pequenas quantidades, elevada personalização e grande variabilidade de componentes, o que

o enquadra no paradigma de *high-mix low-volume* (HMLV). Foi analisado um sistema HMLV no setor da defesa, em particular numa empresa especializada no desenvolvimento e fabrico de sistemas de radar e soluções de vigilância, a rastreabilidade desempenha um papel estratégico, permitindo não apenas monitorizar o fluxo de materiais e produtos, mas também assegurar a conformidade com requisitos de qualidade e normativos rigorosos que caracterizam esta indústria [19].

Notar que a rastreabilidade física exigida neste setor possibilita acompanhar cada encomenda, desde a conceção até à entrega final, garantindo que a informação relativa a componentes, medições e configurações seja devidamente registada e recuperável. Esta capacidade é particularmente relevante na indústria da defesa, onde falhas de coordenação, atrasos ou não conformidades podem comprometer a fiabilidade operacional de sistemas críticos como radares militares e gerar elevados custos. A inexistência de sistemas robustos de rastreabilidade compromete a capacidade de resposta a desvios no processo, limita a identificação de causas raiz de problemas e aumenta a vulnerabilidade a que ocorram perdas de eficiência operacional.

Assim, a aplicação de mecanismos de rastreabilidade neste caso de estudo permitiu alcançar melhorias significativas, nomeadamente na entrega pontual (*on-time delivery*), na redução de perdas associadas à falta de ferramentas ou componentes, e no reforço da eficiência global dos equipamentos (*overall equipment efficiency*). Para além disso, a rastreabilidade contribuiu para acelerar a tomada de decisão baseada em dados, facilitando a implementação de indicadores de desempenho (KPIs) mais precisos e potenciando um sistema produtivo mais transparente e resiliente.

Este trabalho mostrou que a rastreabilidade deve ser entendida, não apenas como um requisito de conformidade, mas como uma ferramenta de gestão estratégica em produção MTO e ETO.

3. Caso de estudo

Neste capítulo é apresentado o caso de estudo deste trabalho, centrado na indústria metalomecânica e, em particular, na empresa HRV Process Solutions. Inicialmente, procede-se à caracterização da indústria metalomecânica, salientando a complexidade dos processos produtivos e a importância da rastreabilidade como ferramenta de apoio à gestão da qualidade e da eficiência. De seguida, é apresentado o grupo HRV, destacando a sua evolução, áreas de negócio, principais setores de atuação e motivações para a implementação deste sistema. Por fim, é detalhado o processo produtivo da HRV Process Solutions, evidenciando as etapas, fluxos e práticas que constituem a base para a análise da rastreabilidade desenvolvida nos capítulos seguintes.

3.1. Indústria metalomecânica

A indústria metalomecânica é caracterizada pela fabricação de máquinas e componentes metálicos complexos, envolvendo processos que exigem um alto nível de precisão e qualidade. A rastreabilidade desempenha um papel essencial nesse setor, permitindo a identificação e acompanhamento de máquinas e peças ao longo de todo o ciclo de vida, desde a matéria-prima até o produto final.

A implementação de sistemas de rastreabilidade traz uma série de benefícios para a indústria metalomecânica. Primeiramente, a rastreabilidade permite o controle e monitoramento eficiente do processo produtivo, identificando possíveis falhas e desvios de qualidade em tempo real. Isso resulta em uma melhoria na eficiência operacional, redução de retrabalho e minimização de desperdícios.

Nesta indústria as máquinas fabricadas têm associado um dossier técnico de fabrico que contém informações sobre as especificações técnicas sobre a mesma, dos materiais utilizados na produção, as instruções de fabricação, os testes de qualidade realizados, entre outras informações relevantes. Com um sistema de rastreabilidade instalado, é possível a empresa elaborar este documento mais facilmente e rastrear a produção de cada peça ou conjunto e identificar eventuais problemas. Um destes exemplos, Bandeira (2023) [20], estudo realizado numa indústria metalomecânica especializada em construções soldadas em aço para os setores naval, cimenteiro, entre outros, foi desenvolvido um procedimento com o objetivo de assegurar um controlo rigoroso e contínuo das matérias-primas — como chapas,

perfis e tubos — ao longo de todas as etapas do processo produtivo, desde a recepção até à entrega do produto final. Neste, inicialmente, todos os materiais são identificados com informações essenciais, como: o projeto a que se destinam, qualidade do aço, dimensões e número de lote, sendo que após a operação de corte, cada peça é individualmente marcada com um número sequencial e identificada com dados relevantes. Posteriormente, essa identificação é registada em impressos normalizados, os quais são posteriormente centralizados pelo departamento da qualidade. A gestão destas informações é realizada através de um plano de rastreabilidade, que integra os certificados das matérias-primas e estabelece a correspondência entre estas e as peças produzidas. Este sistema permite a rastreabilidade em três níveis de exigência distintos; parcial, total e total individual. Em suma, este estudo mostra que, em produções com maior volume e menor criticidade, é suficiente adotar rastreabilidade parcial, enquanto em peças críticas ou sujeitas a requisitos normativos mais rigorosos se exige rastreabilidade total ou até individual. O autor também destaca a necessidade de integrar certificados de matéria-prima, identificação de lotes e identificação única de peças, evidenciando que os sistemas de rastreabilidade devem ser flexíveis e ajustados à natureza da produção e às exigências legais e de mercado, ou seja, se existir o requisito específico de um cliente é possível ser feita a rastreabilidade total ou total individual, se não bastar a parcial.

3.2. Grupo HRV

O grupo HRV (Heleno, Ribeiro & Veríssimo) fundado em 1982 é constituído por 3 empresas: a HRV Process Solutions (doravante HRV), empresa inicial, sendo as outras 2 empresas a HRV Eletronic Solutions e HRV LASER Solutions, estas criadas posteriormente devido ao elevado conhecimento adquirido ao longo dos anos nos mais variados setores de negócio. A HRV tem como foco o a elaboração de projetos de fábricas, o desenvolvimento e fabricação de equipamentos, a montagem de fábricas, e a manutenção de equipamentos. A HRV Eletronic Solutions trabalha em conjunto com a HRV na elaboração dos projetos de novas fábricas, pois esta empresa faz a eletrificação dos equipamentos e a automatização de toda a fábrica. A HRV LASER Solutions faz o corte a LASER de peças em chapas de aço e aço inox, que a HRV irá transformar em equipamentos. O caso de estudo foi desenvolvido e aplicado na empresa HRV Process Solutions.

3.2.1. HRV Process Solutions

Inicialmente, a HRV tinha como áreas de negócio a instalação e manutenção de equipamentos industriais e a fabricação de peças metálicas, no setor da alimentação animal. Nos primeiros anos de existência, conseguiu uma elevada reputação, devido à qualidade do seu trabalho, e adquiriu a representação exclusiva em Portugal das empresas de equipamentos de processo Andritz Feed & Biofuel e Geelen Techniek.

Em 1987, aquando da mudança para novas instalações, começou a fabricar por si só alguns equipamentos para o setor da alimentação animal, ao qual juntou o setor da alimentação para animais de companhia.

Até ao presente, a HRV foi adquirindo novas parcerias, como por exemplo a Technipes e SEW, e alargando a sua área de negócio para o setor da biomassa (principalmente produção de *pellets* de madeira), que passou a ser a sua principal área de negócio. Além da biomassa a HRV também como áreas de negócio os setores: químico, da reciclagem, de material orgânico, entre outros.

Após alguns anos de aposta no setor da biomassa e com o crescimento da empresa foi necessário mudar-se para novas instalações em 2013, onde continua atualmente na Zona Industrial da Marinha Grande (Figura 4), juntamente com as outras empresas do grupo.



Figura 4 - Instalações atuais da HRV

A HRV oferece soluções variadas para os seus clientes, desde o armazenamento de materiais/matérias-primas, equipamentos de transporte e manuseamento dos mesmos, até projetos completos de fábrica.

3.2.2. Motivação do desenvolvimento e aplicação do sistema de rastreabilidade

A HRV decidiu desenvolver um sistema de rastreabilidade para diminuir custos com a fabricação de novas peças, mas também com a rastreabilidade dos equipamentos poder perceber o retrabalho existente, pois este não é contabilizado e é um custo que pode ser reduzido se forem identificadas as suas causas. Além disso, a implementação desse sistema está alinhada com os princípios da Indústria 4.0, permitindo maior integração, automação e análise de dados em tempo real, o que contribui para processos mais eficientes, inteligentes e competitivos, que é também a orientação estratégica da HRV.

Paralelamente, a empresa também pretende implementar e certificar um sistema de gestão da qualidade e segundo a ISO 9001 [21] que aborda a necessidade da rastreabilidade: “A organização deve controlar a identificação única das saídas quando a rastreabilidade for um requisito e deve reter a informação documentada necessária para permitir a rastreabilidade” [22]. Ora, esta ambição é passível de ser concretizada mais facilmente com a implementação do sistema desenvolvido neste trabalho, como é exemplo do trabalho realizado numa serralharia civil, que demonstrou que a implementação do sistema de rastreabilidade trouxe melhorias relevantes para a organização, nomeadamente maior confiabilidade dos processos, redução de falhas e desperdícios e padronização das atividades, nomeadamente passou a permitir identificar rapidamente não conformidades, apoiar a tomada de decisão e facilitar auditorias, reforçando a imagem da empresa perante clientes e partes interessadas [23].

3.2.3. Processo produtivo HRV

O sistema produtivo da HRV enquadra-se no *engineer-to-order*, pois os equipamentos são desenhados e produzidos especificamente para o cliente, o que só ocorre depois deste adjudicar a obra. Devido à complexidade de cada equipamento, é necessário durante todas as etapas do processo produtivo, garantir que as suas peças estejam localizáveis para que não se percam peças dado que não são standard.

Assim para perceber os fluxos e a complexidade do sistema da HRV, foi necessário conhecer todo o processo produtivo da empresa. Na Figura 5, está representado o fluxograma do processo produtivo.

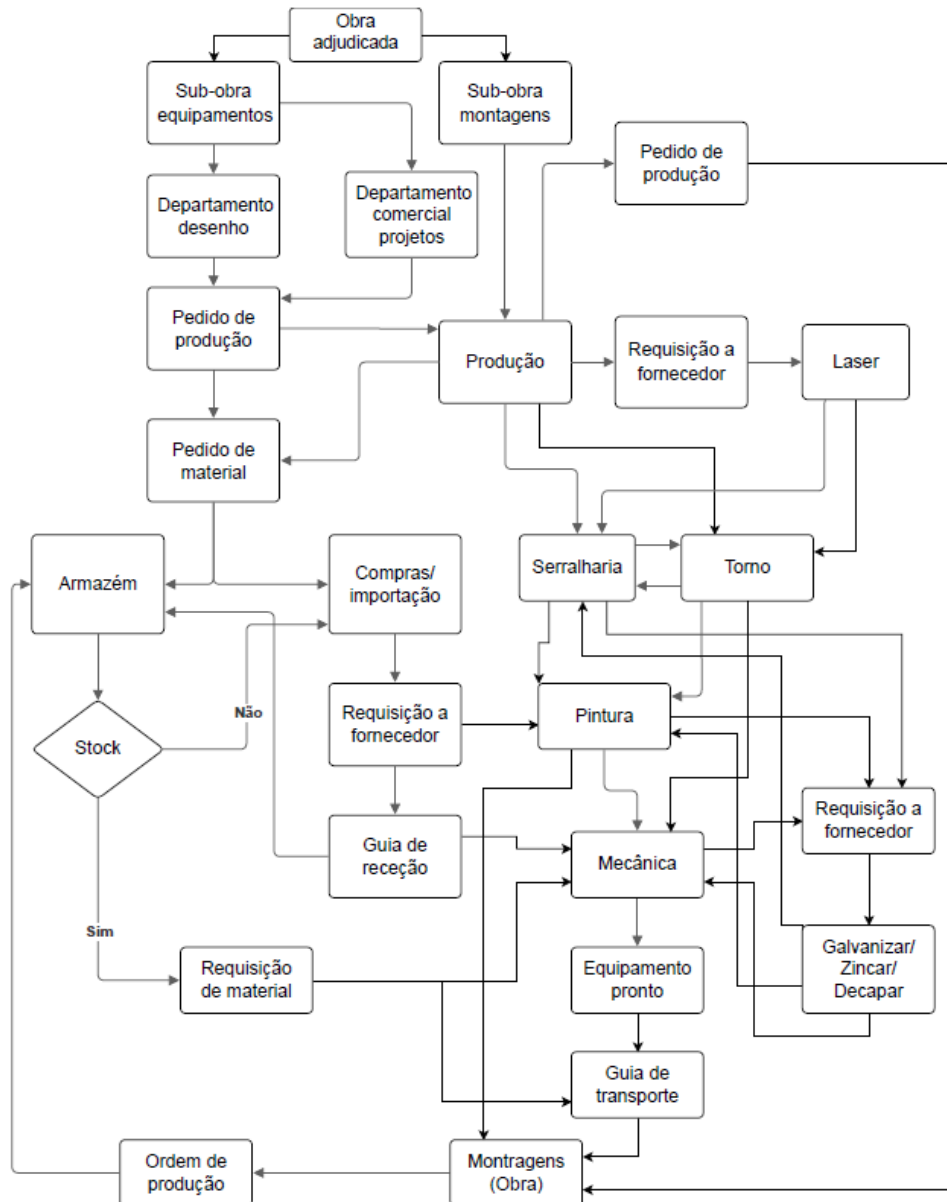


Figura 5 - Fluxograma processo produtivo HRV

O processo produtivo começa com a adjudicação por parte de um cliente de uma obra. As obras podem ser pequenas linhas de processo de matérias-primas, melhoramento de fábricas ou mesmo fábricas completas.

No software de gestão da empresa é aberta a nota de encomenda e geradas várias sub-obras, entre as quais a dos equipamentos e a das montagens, as duas mais relevantes para este trabalho.

Após a parte de gestão interna estar completa, a parte comercial de projetos, que elabora um pré-projeto de modo a estudar a melhor solução e elaborar o orçamento, faz a requisição caso existam, de máquinas que sejam compradas a fornecedores e que têm um elevado prazo de entrega, a fim de que estas estejam na HRV aquando do início da montagem da obra.

Simultaneamente a obra é entregue a um ou vários colaboradores do gabinete de desenho/projeto que ficam responsáveis pela mesma. Primeiramente é elaborado um estudo da obra, e posteriormente desenvolvidos todos os equipamentos e ligações entre eles necessários para a obra. Aquando do início do desenvolvimento individual de cada equipamento ou ligação é aberto um pedido de produção. O pedido de produção é a ordem de início de produção de um equipamento ou ligação. Através destes pedidos é feito o planeamento da empresa, pois neles é colocada a data de finalização da produção, bem como as secções necessárias para a mesma e tempo estimado de cada uma, a respetiva prioridade e o número de recursos humanos necessários. Na Figura 6 está representado a abertura do pedido de produção

Secções Incluídas:

<input type="checkbox"/> Tem Desenho? Tempo Prev: <input type="text"/> Prioridade: <input type="text"/> RH: <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Tem Torneamento? Tempo Prev: <input type="text"/> Prioridade: <input type="text"/> RH: <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Tem Pintura? Tempo Prev: <input type="text"/> Prioridade: <input type="text"/> RH: <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Tem Montagens? Tempo Prev: <input type="text"/> Prioridade: <input type="text"/> RH: <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Tem Corte laser? Tempo Prev: <input type="text"/> Prioridade: <input type="text"/> RH: <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Tem Serralharia? Tempo Prev: <input type="text"/> Prioridade: <input type="text"/> RH: <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Tem Mecânica? Tempo Prev: <input type="text"/> Prioridade: <input type="text"/> RH: <input type="text"/>		

Figura 6- Secções num pedido de produção

Durante o desenvolvimento dos equipamentos alguns pedidos de material são realizados antes do fecho do pedido de produção, nomeadamente para motorreductores, rolos e telas para transportadores de tela, que são materiais específicos e que não têm stock e como têm um prazo de entrega alargado e é necessário garantir que estes materiais estejam na HRV aquando do início da montagem do equipamento. Estes pedidos de material são feitos diretamente às compras e/ou importação pois como foi referido não são materiais de stock e assim não é necessário envolver o armazém neste processo.

Quando a modelação em 3D e o desenho 2D de fabricação (Figura 7) , que contém todas as peças, a lista de material necessária e as cores do equipamento, são concluídos, o desenho 2D é anexado ao pedido de produção, os restantes pedidos de material são feitos e é dada como concluída a secção do desenho. Por fim, os desenhos 2D são impressos e entregues no gabinete de produção, que distribui pelas secções necessárias os mesmos. Na legenda do

desenho 2D está identificado o nome do equipamento e o nº de desenho que o identifica, como também o cliente e o pedido de produção.

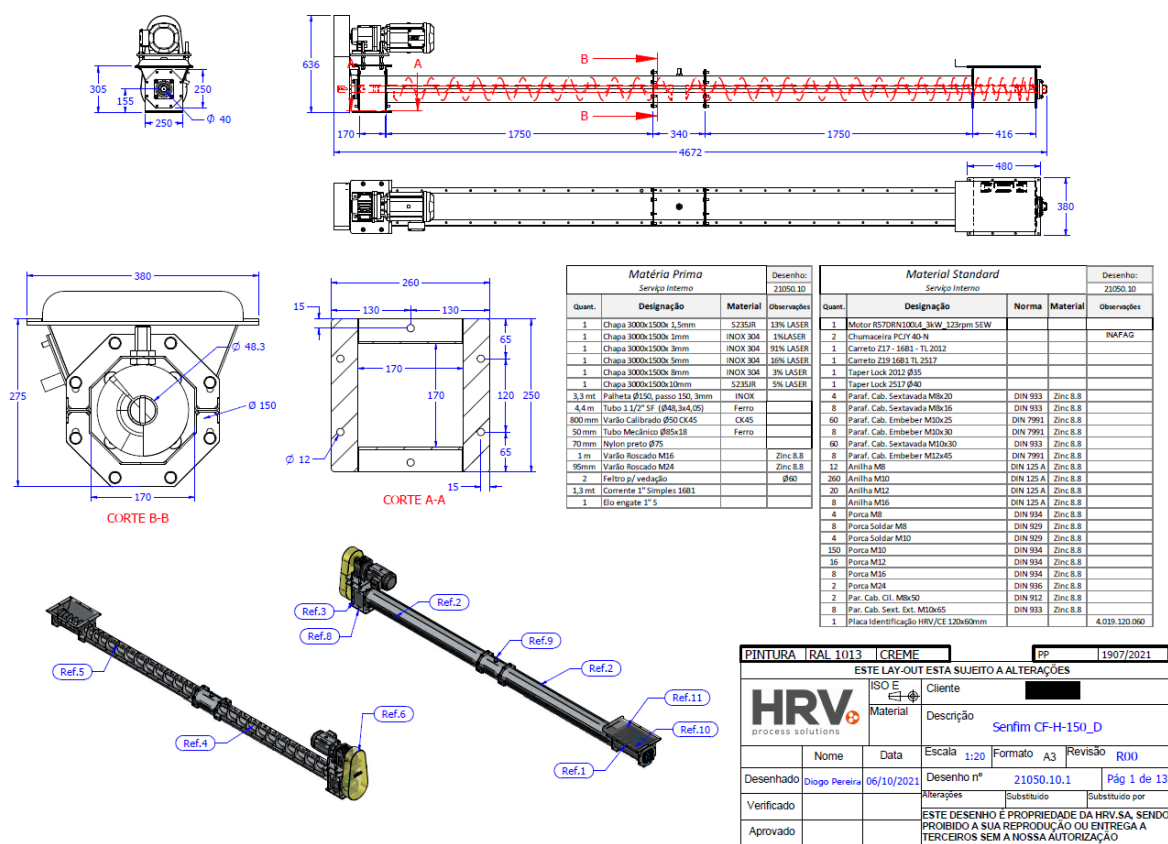


Figura 7 - Desenho 2D de equipamento

Estes últimos pedidos de material são maioritariamente material que existe em stock, sendo utilizados os códigos internos estabelecidos no armazém. Ou seja, quando a referência/código é colocada, é verificado automaticamente pelo sistema se existe stock. Caso exista, o armazém faz a requisição do material e entrega-o na secção da mecânica. Caso contrário automaticamente é identificada rotura de stock, e secção das compras inicia a sua reposição. A matéria-prima necessária nas secções da serrallharia e torno é pedida pelas mesmas através de um pedido de material diretamente na secção de compras.

A maioria dos equipamentos e ligações fabricadas tem peças que são cortadas a LASER (neste caso, esta é a secção com prioridade 2) na empresa do grupo, a HRV LASER Solutions. Aquando da abertura do pedido de produção, quando é seleccionada a secção de LASER é lançado um alerta no software de gestão PHC e quando o desenho chega ao gabinete de produção a pessoa responsável abre diretamente a requisição ao fornecedor externo.

Da secção do LASER (fornecedor externo), na maioria das vezes as peças, são levadas diretamente para a serralharia, ou para o torno, consoante a operação.

A serralharia e o torno podem trabalhar em simultâneo/paralelo em peças diferentes, ou em sequência, ou seja, peças que são fabricadas na serralharia e que necessitam de algum processo da secção do torneamento, ou vice-versa.

Quando são concluídas as operações de serralharia as peças seguem para a pintura. Nestas secções podem ser necessários tratamentos aos equipamentos, como por exemplo galvanizar ou decapar, sendo estes realizados em fornecedores externos.

No respeitante às peças fabricadas na secção do torno, estas na maioria das vezes não são pintadas, e passam diretamente para a secção da mecânica.

Na secção da mecânica, as peças vindas da pintura ou do torno, ou de fornecedores são juntas e os equipamentos assemblados. No fim, estes equipamentos montados são testados e posteriormente armazenados, até serem levados para o cliente. Dá-se como concluída a fabricação e montagem do equipamento, após a conclusão desta etapa.

Aquando da entrada em obra (secção montagens), a produção cria na sub-obra das montagens, o pedido de produção com as horas previstas para a mesma e pedidos de material necessários, ao armazém. O armazém verifica a existência deste material e a sua requisição.

A expedição dos equipamentos para obra pode ser feita por fases, ou de uma só vez, dependendo do seu tamanho. A guia de transporte elaborada irá permitir conhecer que equipamentos e materiais serão transportados para obra.

Sempre que numa obra por algum motivo sobraem equipamentos que não foram utilizados, estes são colocados em armazém para poderem ser utilizados posteriormente noutra obra.

4. Análise da rastreabilidade existente

A metodologia seguida nestas análises teve como principal objetivo compreender a situação de rastreabilidade existente na empresa e identificar as principais dificuldades existentes no acompanhamento dos processos internos, como as práticas de registo, monitorização e controlo ao longo do fluxo produtivo. Para tal, procedeu-se a uma análise estruturada que incluiu, numa primeira fase, o estudo do registo de informações efetuadas pelos funcionários, permitindo avaliar os dados introduzidos, a sua fiabilidade e a sua relevância para uma tomada de decisão.

De seguida foi feito o acompanhamento dos materiais e componentes dos equipamentos, procurando compreender a sua rastreabilidade em cada etapa da produção. Foi também realizada a observação das práticas adotadas em diferentes secções fabris, tendo em vista a identificação de eventuais falhas de organização, desvios nos fluxos definidos ou perdas de eficiência associadas à movimentação e disposição dos componentes. Adicionalmente, procedeu-se à análise dos fluxos e dos registos associados a uma encomenda específica, o que permitiu acompanhar em detalhe todas as fases por que esta atravessa, desde a serralharia até à expedição, evidenciando a forma como a informação circula entre os diferentes intervenientes.

Por fim, foi igualmente estudado o processo de retirada de produto, com o objetivo de avaliar a informação armazenada ao longo do processo produtivo e perceber se era possível a partir desta ter a rastreabilidade completa. Estas análises irão servir de suporte para a identificação dos problemas existentes e das principais oportunidades de melhoria e à definição de propostas concretas de intervenção.

4.1. Análise da rastreabilidade da mão-de-obra dos funcionários

A rastreabilidade de um equipamento engloba muitos aspetos, desde os materiais que o constituem, o local físico e em que secção se encontram as diversas peças, até aos funcionários da empresa. Inicialmente, foi feita uma análise aos dados recolhidos pelos funcionários em cada equipamento fabricado. Verifica-se que, diariamente os funcionários registam as horas de mão-de-obra no (s) pedido (s) de produção em que trabalham, mas também as horas máquina, num portal criado pela empresa e que comunica diretamente com o programa de gestão interna da empresa.

Na Figura 8 podemos observar o registo das horas máquina e de mão-de-obra registadas nas diferentes secções pelos funcionários num determinado pedido de produção.

3001	2021-11-05	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	4,0000	HR	Torneamento
3001	2021-11-04	TORNO - (Cliente)	7,0000	HR	Torneamento
3001	2021-11-04	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	2,0000	HR	Torneamento
3001	2021-11-04	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	8,0000	HR	Torneamento
3001	2021-11-04	ENGENHO - (Cliente)	0,5000	HR	Torneamento
3001	2021-11-04	SERROTE - (Cliente)	0,5000	HR	Torneamento
3001	2021-11-04	CENTRO MAQUINAÇÃO - (Cliente)	2,0000	HR	Torneamento
3001	2021-11-04	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	2,0000	HR	Torneamento
3001	2021-11-03	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	0,5000	HR	Torneamento
3001	2021-11-03	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	0,5000	HR	Torneamento
2772	2021-10-27	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	3,5000	HR	Serralharia
2772	2021-10-27	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	1,0000	HR	Serralharia
2772	2021-10-27	SERROTE 1 - (Cliente)	0,5000	HR	Serralharia
2772	2021-10-27	SOLDADURA - MIG - (Cliente)	0,2500	HR	Serralharia
2772	2021-10-26	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	8,0000	HR	Serralharia
2772	2021-10-26	SOLDADURA - MIG - (Cliente)	2,0000	HR	Serralharia
2772	2021-10-25	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	7,5000	HR	Serralharia
2772	2021-10-25	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	6,5000	HR	Serralharia
2772	2021-10-25	QUINADEIRA - (Cliente)	3,0000	HR	Serralharia
2772	2021-10-25	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	2,0000	HR	Serralharia
2772	2021-10-25	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	2,5000	HR	Pintura
2772	2021-10-25	MAO OBRA/EXTRA - ██████████ (Cliente)	1,0000	HR	Pintura
2772	2021-10-22	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	4,0000	HR	Serralharia
2772	2021-10-22	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	2,0000	HR	Serralharia
2772	2021-10-22	QUINADEIRA - (Cliente)	2,0000	HR	Serralharia
2772	2021-10-22	SOLDADURA - TIG - (Cliente)	0,5000	HR	Serralharia
2772	2021-10-22	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	4,5000	HR	Serralharia
2772	2021-10-22	CALANDRA - (Cliente)	0,5000	HR	Serralharia
2772	2021-10-21	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	2,5000	HR	Serralharia
2772	2021-10-21	QUINADEIRA - (Cliente)	1,0000	HR	Serralharia
2772	2021-10-21	ENGENHO 1 - (Cliente)	1,0000	HR	Serralharia
2772	2021-10-21	MAO OBRA/ NORMAL - ██████████ (Cliente)	3,5000	HR	Serralharia
2772	2021-10-13	MAO OBRA/ NORMAL - DIOGO PEREIRA - (Cliente)	1,0000	HR	Desenho
2772	2021-10-11	MAO OBRA/ NORMAL - DIOGO PEREIRA - (Cliente)	3,0000	HR	Desenho
2772	2021-10-07	MAO OBRA/ NORMAL - DIOGO PEREIRA - (Cliente)	6,0000	HR	Desenho
2772	2021-10-06	MAO OBRA/ NORMAL - DIOGO PEREIRA - (Cliente)	3,0000	HR	Desenho

Figura 8 - Exemplo de horas de máquinas e funcionários registados num pedido de produção

Com estes dados, é possível, que no caso de alguma falha ou problema detetado num equipamento durante a fabricação, após a montagem no cliente e no período de garantia da máquina, seja possível identificar se foi por má conceção do equipamento, fabricação ou montagem e quem foi(foram) o(s) responsável(is). Logo, esta informação permite à empresa perceber se existem necessidades de formação pontos ou como melhorar a qualidade dos seus equipamentos.

4.2. Análise da rastreabilidade dos materiais e componentes

Como já foi referido anteriormente após a conclusão da secção de desenho, os desenhos 2D do equipamento são enviados para o fornecedor externo (LASER), para a produção e entregues em papel na serralharia. Verifica-se que não são feitos os registos dos lotes de chapa do material utilizado, logo a rastreabilidade do material (matéria-prima como aço, chapa galvanizada, aço inox, etc) do fornecedor externo (LASER) é difícil. Também não são registados os lotes de perfis e de chapa pedidos pela serralharia.

O material pedido ao armazém na requisição de material, Figura 9, é efetuado aquando da sua assemblagem colocado na zona da mecânica. Também nesta secção não são registados os lotes dos parafusos, chumaceiras, componentes mecânicos ou informação técnica de motores eléctricos. Além de não serem registados os lotes, como não está implantado o sistema FIFO (First In First Out), não é possível saber qual é a encomenda deste material.

Requisição de Material

Nr. Req.	Data Mov.	Referência	Descrição	Quantidade	Unidade	Secção
3807	2021-12-17	4.010.31612001	UNIAO 1 1/2" INOX	1,0000	UN	
3638	2021-12-07	4.040.001000111	CORRENTE SIMPLS 1" 16B1 RENOLD	5200,0000	MM	
3638	2021-12-03	0.001.030003	FITA ESPONJOSA ADESIVA (1 LADO) 30X3 MM	10000,0000	MM	
3591	2021-11-26	0.001.030003	FITA ESPONJOSA ADESIVA (1 LADO) 30X3 MM	1000,0000	MM	
3587	2021-11-26	4.045.001000111	ELO ENGATE SIMPLS 1" 16B1	2,0000	UN	
3425	2021-11-25	4.041.208040000	CHUMACEIRA PCJY 40	8,0000	UN	
3425	2021-11-25	4.040.001017111	CARRETO SIMPLS 16B1 1" Z17 TL2012	4,0000	UN	
3425	2021-11-25	4.040.001019111	CARRETO SIMPLS 16B1 1" Z19 TL2517	4,0000	UN	
3425	2021-11-25	4.047.002012035	TAPER LOCK 2012 35MM	4,0000	UN	
3425	2021-11-25	4.047.002517040	TAPER LOCK 2517 40MM	4,0000	UN	
3425	2021-11-25	4.122.003086100	MOTORREDUTOR SEW R57DRN100L4 3 kW 123RPM IE3	4,0000	UN	
3425	2021-11-25	4.045.001000111	ELO ENGATE SIMPLS 1" 16B1	1,0000	UN	
3425	2021-11-25	4.040.001000111	CORRENTE SIMPLS 1" 16B1 RENOLD	2500,0000	MM	

Figura 9 - Exemplo de requisição de material

4.3. Análise da movimentação dos materiais nas secções

A análise da rastreabilidade física é muito importante, pois permite perceber a capacidade de acompanhar fisicamente as peças durante o processo de fabrico dos equipamentos.

De modo a perceber os problemas existentes foi feita uma análise às secções e estudada a movimentação entre peças que constituem os equipamentos/obras. Na Figura 10 está representada a planta da fábrica da HRV e as várias secções, para perceber distâncias e organização de *layout*.

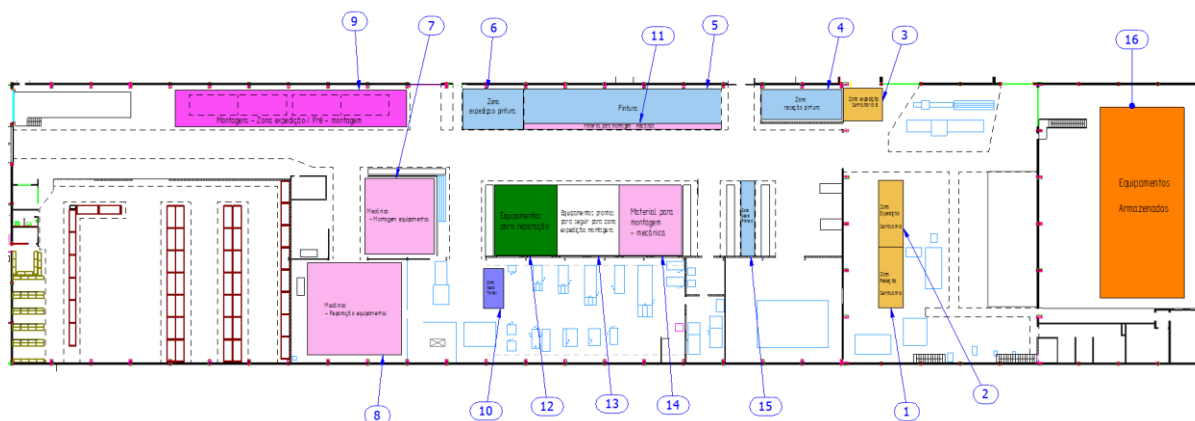


Figura 10- Planta da fábrica da HRV

Na Tabela 2 encontra-se a legenda da planta da oficina.

Tabela 2 - Legenda da oficina HRV

Legenda	Designação
1	Zona de receção serralharia
2	Zona de expedição serralharia
3	Zona de expedição serralharia B
4	Zona de receção/preparação pintura
5	Pintura
6	Zona de expedição pintura
7	Mecânica – montagem equipamentos
8	Mecânica – reparação equipamentos
9	Zona expedição montagens
10	Zona apoio torneamento
11	Material para montagem - mecânica
12	Equipamentos para reparação
13	Equipamentos prontos para seguir para a zona de expedição
14	Material para montagem - mecânica
15	Zona apoio pintura
16	Equipamentos armazenados

Na serralharia temos uma área de receção e duas áreas de expedição de material. Uma área de receção e outra de expedição estão bem localizadas no centro da serralharia, pois é de fácil acesso a todas as bancadas de trabalho. A outra área de expedição é localizada junto à área de receção da pintura, pois quase a totalidade dos trabalhos efetuados na serralharia passam pela pintura.

A secção da pintura é contínua, apenas interrompida por uma zona de passagem. Tem a área de receção antes da passagem e a área de pintura e expedição após a mesma. Como juntam várias partes de equipamentos de várias obras que têm a mesma cor, para melhorar a eficiência produtiva, constata-se que muitas vezes se perde a localização das peças, misturando-se obras. Adicionalmente, as peças que não são pintadas, são muitas vezes colocadas numa área que não está definida para o efeito. Após pintura, as peças são colocadas na área de expedição até serem levadas para assemblagem dos equipamentos, ou colocadas atrás da secção de pintura numa área criada para o efeito. Contudo, é frequente, em caso de acumulação de peças, estas serem colocadas numa área que não está definida para o efeito.

A secção do torneamento não tem áreas de receção e expedição definidas, apenas uma área onde têm o material necessário armazenado para fazerem as peças. Esta secção tem sempre o seu planeamento atrasado, pois têm de fabricar peças para equipamentos novos ou

reparados e também peças de substituição para equipamentos de clientes. Isto tem com consequência as peças necessárias sejam feitas quase na hora da montagem.

Na secção da mecânica existem duas subsecções, a zona limpa de montagem de equipamentos novos ou reparados, e a zona suja de desmontagem de equipamentos para reparar. É frequente quando a área suja não está a ser utilizada para o seu efeito principal, esta também é usada para a montagem de equipamentos novos.

No fim dos equipamentos estarem assemblados estes são levados para uma área de expedição para obra, onde também podem ser pré-assembladas linhas de fabricação e/ou ensaque. Quando esta área está ocupada os equipamentos são colocados numa área não definida. Muitas vezes equipamentos e ou ligações da mesma obra estão colocados em áreas diferentes, o que leva novamente à perda de tempo na hora de expedição e que pode originar a que alguns equipamentos fiquem esquecidos, fazendo falta em obra, pois não estão todos juntos. Estas duas situações não acrescentam valor ao produto e também colocam prejuízos à empresa, pois é necessária uma viagem adicional para levar o que falta para obra.

Por último destacar que durante o processo de fabricação dos equipamentos estes são identificados pelos respetivos desenhos 2D, e que os acompanham nas várias secções. Contudo, por vezes os desenhos 2D são perdidos e dificulta perceber que a pedido de produção é que corresponde o equipamento/ ligação específica. Isto acontece principalmente na secção da pintura, pois como já foi referido anteriormente, as peças de um equipamento podem ser separadas, e como consequência ficam sem identificação.

No fim de construídos os equipamentos, são colocadas as placas de identificação, com o número de equipamento, atribuído sequencialmente, e com informação complementar, como a potência do motor e o peso do equipamento.

4.4. Análise da rastreabilidade do fabrico de um equipamento

Após a análise das secções foi feito o acompanhamento da fabricação de um equipamento específico. Neste caso, foi seguido todo o processo de fabrico de um sem-fim, desde a receção das peças cortadas na secção do LASER, e até à sua expedição por forma a identificar potenciais problemas na gestão e controlo da rastreabilidade.

Assim, após a conclusão do desenho 2D, as peças foram enviadas para corte LASER e os desenhos entregues em papel na serralharia, como estabelecido.

Na Figura 11, podemos observar o material vindo do LASER já na secção correta de receção na serralharia.

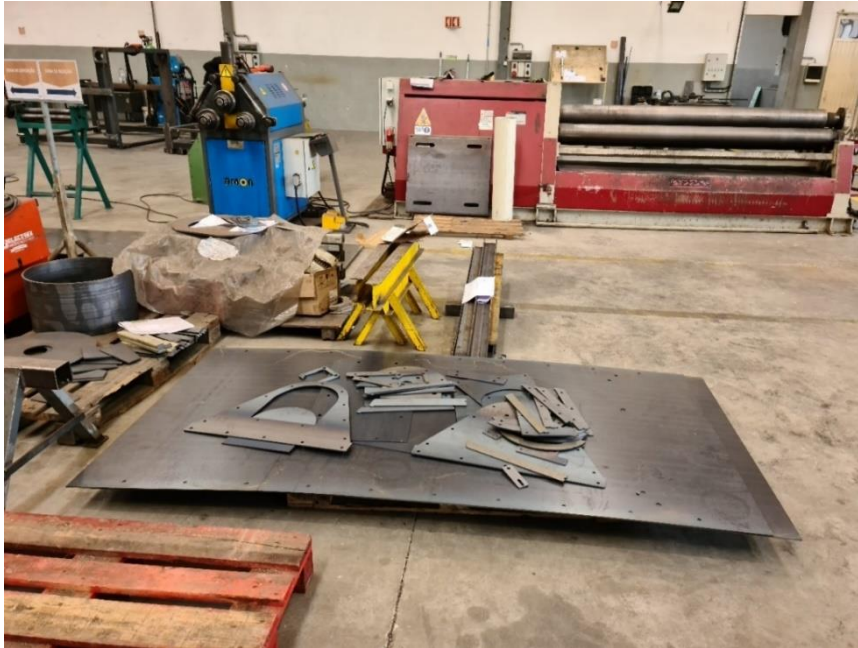


Figura 11 - Material cortado no laser, pronto para ser trabalhado

Estas peças encontram-se todas numa palete, o que permite que não se percam facilmente peças, mas estas não estão identificadas. Aquando do início de fabricação as peças são todas conferidas e identificadas com um marcador tendo como correspondência a referência atribuída a estas no desenho 2D. Nesta etapa podem ser detetadas peças em falta, uma vez que o desenho é todo conferido e confrontado com as peças que estão cortadas.

Nas Figuras 12 e 13 podemos observar as peças com algum trabalho realizado no mesmo sítio onde tinham sido colocadas vindas do LASER, e também numa bancada de trabalho com o desenho 2D de fabricação.



Figura 12 - Peças do sem-fim numa palete



Figura 13 - Peças do sem-fim numa bancada

Após a conclusão dos trabalhos da serralharia, as peças do equipamento estão colocadas todas juntas e identificadas com o desenho 2D, mas estão na área errada (receção) pois não existia espaço na área de expedição, como é possível observar na Figura 14.



Figura 14 - Peças do sem-fim fabricadas e colocadas na secção de receção

De seguida as peças passaram diretamente para a área de receção da pintura, Figura 15 .



Figura 15 - Pinturas de peças do sem-fim

Este equipamento tem peças com várias cores. Como foi referido anteriormente por norma são agrupadas várias peças de vários equipamentos com a mesma cor, o que também ocorreu com algumas peças deste sem-fim que foram pintadas e depois colocadas numa área de passagem (o que não é correto, como é possível observar na Figura 16). Apesar das outras peças do mesmo pedido de produção não estarem juntas com estas, estas encontram-se identificadas com o desenho 2D.



Figura 16 - Peças do sem-fim pintadas e colocadas numa área não identificada

As peças fabricadas na secção do torneamento (Figura 17) encontram-se apenas numa bancada sem identificação e não existem zonas de receção e de expedição de produto. Estas peças podem ser confundidas com outras que ainda têm de sofrer mais algum processo de maquinação, pois não existe zona de expedição identificada, e podem ser levadas para ser montadas noutro equipamento que tenha peças parecidas pois não está identificado o pedido de produção.



Figura 17 - Peças sem identificação na secção do torneamento

De seguida, todas as peças do sem-fim foram levadas para a secção mecânica onde este foi assembled. Observou-se que após este estar quase assembled, faltando apenas o motor elétrico por não ter chegado a tempo, este foi colocado numa área não identificada (única onde havia espaço), estando identificado com o desenho 2D, Figura 18

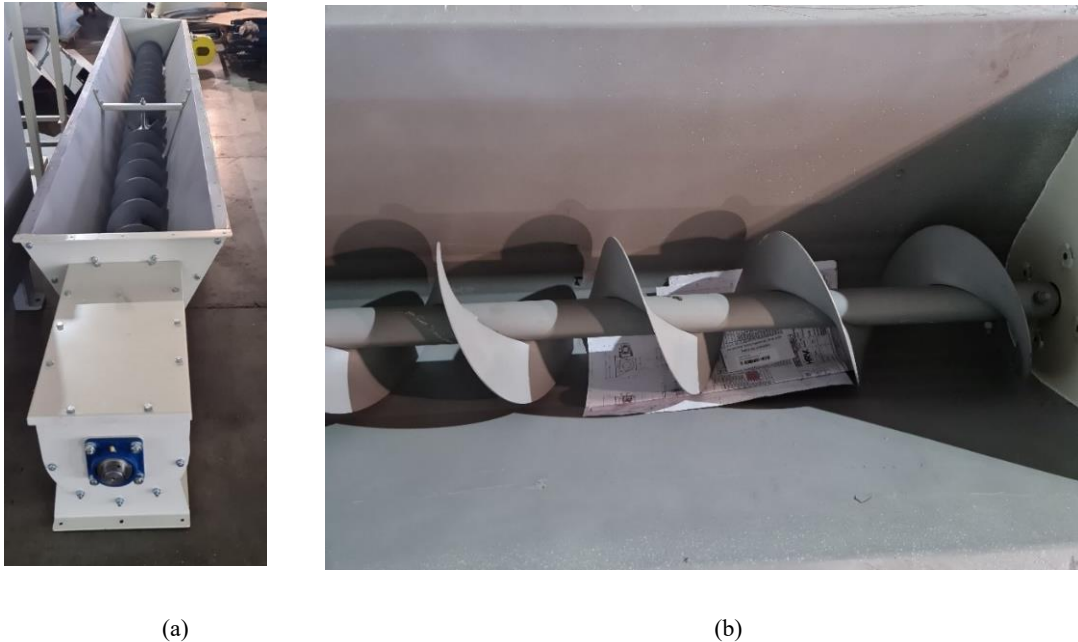


Figura 18 – (a) Sem-fim assembled e (b) Identificação pelo desenho 2D

Com a chegada do motor, este foi assembled no equipamento e colocada a placa de identificação do equipamento, dando como concluída a sua fabricação, Figura 19. Contudo o equipamento ficou na mesma área, sem identificação, o que no futuro pode trazer as perdas de tempo à sua procura como já foi referido.



Figura 19 – (a) Placa de identificação do sem-fim e (b) Sem-fim completo

4.5. Simulação de retirada de produto

De modo a realizar a simulação de retirada do produto foi selecionado um equipamento produzido na HRV que já estava concluído e pronto para expedir para obra. Foi escolhido um sem-fim alimentador (Figura 20) e a informação recolhida nesta simulação foi retirada do software de gestão de dados criado pela empresa (GestPro) que comunica com o software de gestão total da mesma.



Figura 20 - Sem-fim alimentador

No equipamento encontra-se a placa de identificação do mesmo e uma etiqueta com o pedido de produção deste. Através do pedido de produção conseguimos no GestPro (Figura 21), ver as secções necessárias para construir este equipamento.

The screenshot displays the GestPro software interface. On the left, there is a sidebar with navigation options: Home, Dossiers, CRM, Clientes, Gerir Secção, RH, Área Pessoal, and Admin. The main content area is divided into several sections:

- Informação Geral:** Shows order details for 'Nº Pedido: 233', including client information, order number (231152.90.01), and creation date (2024-03-25).
- Secções Incluídas:** A list of production sections with status indicators (green for active, red for inactive):
 - Desenho: Green
 - Laser: Green
 - Torneamento: Green
 - Serralharia: Green
 - Pintura: Red
 - Mecânica: Red
 - Montagens: Black
 - Comercial: Black
 - Serviços Ext.: Black
- Descrição Geral do Pedido:** A table showing the order item:

Ref.	Desc.	Qtd.
X.SCA200	SC300 - ALUM. SLO	1.00
- Requisições de Mão de Obra:** A table listing labor requirements:

Req.	Data Mov.	Desc.	Qtd.	Un.	Secção
641	2024-03-19	MAO OBRA/ NORMAL	4.50	HR	Mecânica
641	2024-03-19	MAO OBRA/ NORMAL	4.50	HR	Mecânica
444	2024-02-27	MAO OBRA/ NORMAL	4.00	HR	Mecânica
641	2024-03-20	MAO OBRA/ NORMAL	1.00	HR	Torneamento
641	2024-03-15	MAO OBRA/ NORMAL	2.00	HR	Pintura
641	2024-03-13	SOLDADURA - MIG	0.25	HR	Serralharia
641	2024-03-13	MAO OBRA/ NORMAL	5.00	HR	Pintura
641	2024-03-13	MAO OBRA/ NORMAL	3.50	HR	Serralharia
641	2024-03-12	MAO OBRA/ NORMAL	1.50	HR	Torneamento
- Requisições de Material:** A table listing material requirements:

Req.	Data Mov.	Ref.	Desc.	Qtd.	Un.	Secção
593	2024-03-19	4.121.0012	MOTOREREDUTOR PART/IG/IG20 EDIN100L54/ID/KCC/FF/AL 2,2KW 45	1,0000	UN	Armazen
593	2024-03-19	0.001.088216500	VEDANTE ACRILICO	1,0000	BS	Armazen
593	2024-03-19	0.001.030003	FITA ESPONJOSA ADESIVA (7 LADOS) 30X3 MM	10000,0000	MM	Armazen
593	2024-03-18	4.041.06032912	CHUBACCERA PCV 60 - BNA/PAG	2,0000	UN	Armazen
593	2024-03-18	4.043.060800080	REFEITON 60/80/80	2,0000	UN	Armazen
593	2024-03-18	4.918.110025	SENSOR INDUTIVO INCON 110	1,0000	UN	Armazen
593	2024-03-13	8.031.125000001	SENSOR INDUTIVO M12 - BIMM	1,0000	UN	Armazen
593	2024-03-18	8.031.120900005	CABO C/ FICHA M12 90° C/ SMT V1-W-SM-PVC - PEPPERL-FUCHS	1,0000	UN	Armazen
593	2024-03-14	0.007.761635063	TUBO MECANICO Ø76,1X6,3 MM	4000,0000	MM	Serralharia

Figura 21 - Software GestPro

Apesar do equipamento já estar concluído, as secções da mecânica e pintura ainda estão abertas (a vermelho) o que não deveria acontecer.

Notar ainda que as secções do pedido de produção estão colocadas por ordem, mas algumas podem ter a mesma prioridade e trabalhar ao mesmo tempo em peças diferentes, o que inviabiliza perceber quando foram de facto produzidas.

Em relação ao estudo de retirada, e fazendo o percurso inverso à fabricação e montagem do equipamento, verifica-se que a primeira secção é a mecânica, onde este foi assembled. Nesta secção, foram colocadas horas por parte dos colaboradores e identificadas as peças que vêm da pintura, torneamento e armazém, e que foram montadas. O material de stock pedido no desenho de fabrico foi entregue pelo armazém aquando da altura da montagem e verifica-se que foi feita a requisição deste material através do armazém e que foi entregue na secção da mecânica (contudo, não é indicado o local da entrega). A lista de material pedido ao armazém pode ser consultada na Figura 22.

Requisições de Material

Req.	Data Mov.	Ref.	Desc.	Qtd.	Un.	Secção
865	2024-04-12	4.00014	MOTORREDUTOR SEW KA57/T DRN100LS4 2,2KW 48RPM	1	UN	Armazem
865	2024-04-08	4.041.508040	CHUMACEIRA USFE 208 - SNR (PCJY 40)	4	UN	Armazem
865	2024-04-08	4.019.066341	MANIPULO VC 192/40 B-M06	4	UN	Armazem
865	2024-04-08	4.047.200040065	TOLLOK TKL 132 40X65 MM	2	UN	Armazem
865	2024-04-08	4.029.0006	CARRETO MODULO 3 Z95 (P/TOLLOK D.65MM)	2	UN	Armazem
865	2024-04-08	4.061.6879144	PERFIL BORRACHA P/PENEIRO	1700	MM	Armazem

Figura 22 - Lista de material de stock pedido ao armazém

Os parafusos utilizados na montagem estão colocados numa estante nesta secção. Não é possível rastrear a sua origem, uma vez que não existe um sistema FIFO e estes são repostos sem ter em conta quais são os mais antigos ou recentes.

O material de stock que vem do armazém apenas pode ser rastreado se for comprado especificamente para o equipamento, uma vez que também não existe um sistema FIFO implementado.

Antes de passarem para a secção da mecânica, as peças do equipamento passam pela pintura, onde todas, ou quase todas, exceto as pertencentes ao torneamento e ao armazém, são pintadas. Foram adicionadas horas de um colaborador nesta secção, mas por esquecimento, não existe nenhuma requisição de material (tinta, primário, acessórios para pintura) neste pedido de produção. A requisição de material retira do stock, por exemplo, uma certa quantidade de tinta. Quando é atingido um valor mínimo de stock daquela tinta é originado um pedido de compra da mesma. Nesta secção só é possível rastrear a tinta e ou primário se for comprada especificamente para um equipamento, pois não existe um sistema FIFO implementado.

Na secção do torneamento foram colocadas horas de colaboradores, horas de máquinas e a requisição de materiais. Foram colocadas horas (Figura 23) de fresadora, serrote e torno, mas na secção existem vários tornos, não especifica em qual foi trabalhada a peça. Pode ser possível saber qual o torno utilizado porque cada colaborador tem o seu posto de trabalho, mas pode acontecer o colaborador mudar por qualquer motivo de posto e também existem tornos específicos que são utilizados por todos.

553	2024-02-27	SERROTE - [REDACTED] - (Cliente)	1.00	Torneamento
666	2024-03-13	MAO OBRA/ NORMAL - [REDACTED] - (Cliente)	5.00	Torneamento
666	2024-03-13	TORNO - [REDACTED] - (Cliente)	5.00	Torneamento
666	2024-03-06	MAO OBRA/ NORMAL - [REDACTED] - (Cliente)	1.50	Torneamento
666	2024-03-06	TORNO - [REDACTED] - (Cliente)	1.00	Torneamento
666	2024-03-14	MAO OBRA/ NORMAL - [REDACTED] - (Cliente)	1.00	Torneamento
666	2024-03-14	FREZADORA - [REDACTED] - (Cliente)	0.50	Torneamento

Figura 23 - Horas máquina inseridas na secção do torneamento

O material diverso (matéria-prima) utilizado nos tornos encontra-se numa *rack* e a sua reposição é feita quando é atingido o stock mínimo de cada referência. Assim, só é possível rastrear cada referência, se esta for comprada especificamente para o pedido de produção. O material utilizado neste pedido encontra-se na Figura 24.

604	2024-03-13	O.007.000000060 VARAO AÇO CALIBRADO 060 MM	490	MM	Torneamento
604	2024-03-06	O.007.000012008 AÇO CHAVETA 12X8 MM	130	MM	Torneamento

Figura 24 - Material usado na secção do torneamento

Previamente, ou ao mesmo tempo da secção do torneamento, as peças do equipamento passam pela serralharia onde podem ser quinadas, soldadas, calandradas, etc. Nesta secção, maioritariamente o material utilizado são chapas cortadas no LASER. Apesar de esta secção estar no pedido de produção, as chapas são cortadas no LASER da empresa do mesmo grupo, a HRV LASER Solutions. Logo, a rastreabilidade das chapas só é possível de conseguir através do pedido de certificado de material ao fornecedor. Para identificar cada chapa cortada, é escrita a referência que lhe foi dada no desenho.

O aço existente na serralharia está armazenado em *racks* e no chão. A reposição é feita sempre que o stock mínimo definido para cada referência é atingido. Mais uma vez só é possível rastrear cada referência se esta for comprada em específico para o pedido de produção. O material utilizado neste pedido encontra-se na Figura 25.

865	2024-04-05	O.011.044002130	FIO SEMIAUTOMATICA 1MM M/SG2 (15KG/UN)	1,6 KG	Serralharia
865	2024-04-03	O.002.020002020	TUBO AÇO QUADRADO 20X2 MM	1000 MM	Serralharia
523	2024-02-28	O.002.114483404	TUBO FERRO 1 1/2" (42,4X4, X 04 MM) SF	1000 MM	Serralharia
523	2024-02-28	O.002.603045	TUBO FERRO 2" SF (60,3X4,5 MM)	4500 MM	Serralharia

Figura 25 - Material usado na secção da serralharia

Na secção da serralharia foram colocadas horas (Figura 26) de colaboradores, horas de máquinas e a requisição de materiais. Foram colocadas horas de quinadeira, guilhotina, e de soldadura. Na secção existem várias máquinas de soldar MIG, não especifica em qual foi trabalhada a peça. Pode ser possível saber qual o torno utilizado porque cada colaborador tem o seu posto de trabalho, mas pode acontecer o colaborador mudar por qualquer motivo de posto.

870	2024-04-03	ENGENHO 1 - [REDACTED] - (Cliente)	1.00	Serralharia
870	2024-04-03	MAO OBRA/ NORMAL [REDACTED] - (Cliente)	2.00	Serralharia
870	2024-04-02	MAO OBRA/ NORMAL - [REDACTED] - (Cliente)	4.00	Serralharia
870	2024-04-02	MAO OBRA/ NORMAL - [REDACTED] - (Cliente)	2.00	Serralharia
870	2024-04-01	MAO OBRA/ NORMAL - [REDACTED] - (Cliente)	8.00	Serralharia
870	2024-04-01	SOLDADURA - MIG - [REDACTED] (Cliente)	2.50	Serralharia

Figura 26 - Horas máquina e de mão-de-obra inseridas na secção da serralharia

A secção prévia ao LASER é o desenho onde é desenvolvido o equipamento. Quando o desenvolvimento é concluído os desenhos de produção são colocados em anexo no pedido de produção (Figura 27), e é possível verificar a data e quem os colocou. Também é possível verificar todos os intervenientes no desenvolvimento, pois os colaboradores colocam as horas nesse pedido.

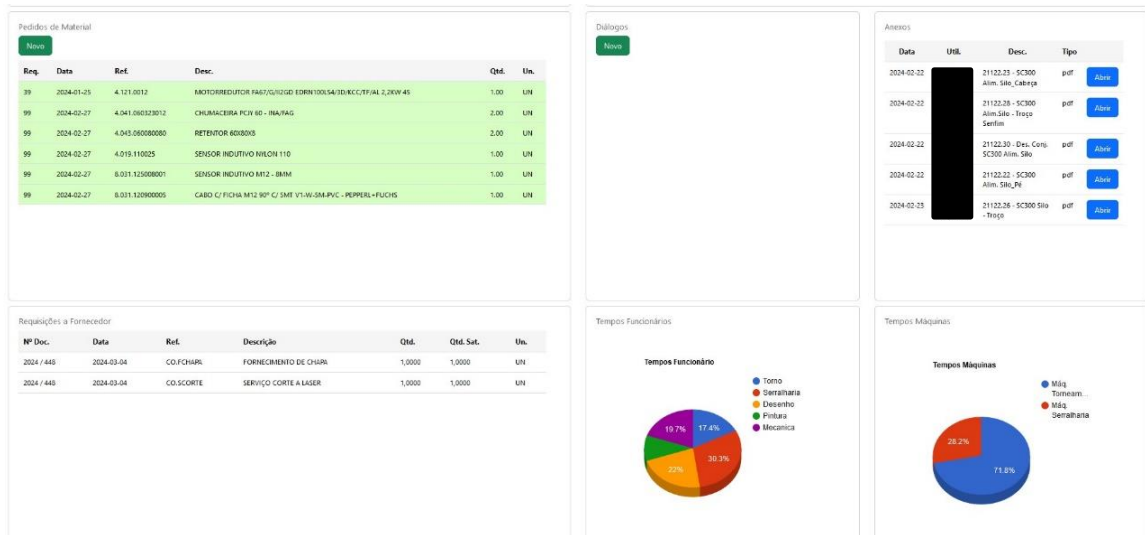


Figura 27 - Página do pedido de produção no software GestPro

4.6. Conclusões da análise efetuada

A rastreabilidade no processo de fabrico de equipamentos é essencial para garantir a qualidade, a eficiência e a capacidade da empresa em responder a não conformidades detetadas durante a produção, montagem ou no período de garantia. Face ao levantamento efetuado, constata-se que já existem, por exemplo, práticas implementadas que permitem algum nível de rastreabilidade, como o registo diário das horas de mão-de-obra e horas máquina, mas que estas ainda são deficitárias para os objetivos da empresa HRV.

Apesar do registo dos componentes e matérias-primas utilizados em cada pedido de produção ser um ponto positivo, não é possível fazer a sua rastreabilidade, pois observou-se a inexistência de registos de lotes de matérias-primas, de componentes e de acessórios. Aliado também à ausência de sistemas FIFO, a capacidade de rastrear a origem dos materiais em stock, utilizados em cada equipamento está também comprometida. Esta lacuna, torna-se particularmente crítica quando é necessário identificar defeitos originados na matéria-prima ou em componentes específicos, dificultando ações corretivas e preventivas.

Outro aspeto relevante prende-se com a falta de identificação clara das peças ao longo das várias etapas de fabrico. Apesar dos desenhos 2D acompanharem os equipamentos, a sua perda e/ou por estarem apenas junto de parte das peças durante o processo, compromete a rastreabilidade, especialmente nas secções onde as peças são misturadas ou armazenadas sem critério definido.

Quanto à movimentação de materiais nas secções, observam-se deficiências na organização física. Por exemplo, as áreas de receção e expedição nem sempre são respeitadas, e a distribuição espacial das peças frequentemente resulta em perdas de tempo, peças mal localizadas ou mesmo esquecidas. A ausência de zonas de receção e expedição bem definidas, em várias secções (como torneamento), agrava a situação, aumentando o risco de erros e retrabalho.

Na Tabela 3 podemos observar um resumo dos pontos observados no diagnóstico.

Tabela 3 - Tabela resumo dos pontos identificados no diagnóstico

Análise	Pontos observados	Problemas identificados
4.1. Mão-de-obra	Registo diário por parte dos funcionários das horas de mão-de-obra e de máquinas no GestPro, o que permite identificar responsabilidades e necessidades de formação.	Não é possível nalgumas máquinas (ex.: soldadura MIG), identificar qual foi usada.
4.2. Materiais e componentes	Registo de materiais e acessórios requisitados em cada pedido de produção.	Não existem registos de lotes de matérias-primas ou componentes e não existe sistema FIFO implementado. Apenas é possível rastrear o tipo e a quantidade de material/ componente.
4.3. Movimentação de materiais nas secções	São usadas, nalgumas secções, zonas de receção e de expedição para a organização na movimentação de peças.	Ausência de zonas bem definidas de receção/expedição nalgumas secções (ex.: torneamento). Peças mal localizadas, misturadas ou esquecidas. Perdas de tempo na procura.
4.4. Fabrico de um equipamento	Os desenhos 2D acompanham as peças ao longo do fabrico. Existe o registo de horas de mão-de-obra de funcionários e horas de máquinas	Os desenhos 2D podem perder-se ou ficar só junto de algumas peças. As peças são colocadas em zonas não identificadas.
4.5. Simulação de retirada de produto	Teste permitiu avaliar a rastreabilidade física e documental existente.	A informação armazenada é insuficiente para o rastreamento completo de todas as peças.

5. Implementação de sistema de rastreabilidade

Após as análises realizadas, acompanhamento do fabrico e simulação de retirada de produto foi possível retirar algumas conclusões que ajudam na decisão do sistema de rastreabilidade a implementar. Existe já um sistema implementado que permite rastrear os funcionários que trabalharam num pedido de produção e no caso de existir alguma anomalia ou defeito, esta pode ser analisada com o funcionário.

Ao nível da rastreabilidade de componentes e de matérias-primas só é possível rastrear a quantidade e o tipo utilizado, não permitindo saber o lote dos componentes devido a não existir um registo dos lotes e também a não existirem sistemas FIFO implementados. Contudo, inicialmente não irá ser criado o registo de lotes e sistemas FIFO para os componentes e matérias-primas utilizados, pois a empresa não vê este ponto como prioritário. Caso exista necessidade do registo destas informações, por exemplo, obras para clientes da indústria alimentar onde é necessário cumprir e ter todas estas informações, a sua recolha será feita manualmente.

A rastreabilidade ao longo do processo de fabrico tem muitas lacunas e é o ponto prioritário para a empresa implementar um sistema adequado. A implementação deste sistema de rastreabilidade deve permitir também contabilizar o retrabalho que ocorre nos pedidos de produção. Contudo, numa primeira fase irá ser só criado um campo para a colocação de horas de retrabalho e uma descrição do ocorrido. Posteriormente quando o sistema de rastreabilidade estiver a funcionar em pleno e permitir a localização exata das peças, será então possível verificar as movimentações das peças também em retrabalho. Assim, com este sistema, os funcionários passam a ter uma opção de selecionar/registar se as horas trabalhadas em retrabalho, Figura 28.

Requisição de Mão de Obra

Confirme se o que pretende lançar está correto.

Descrição	Qtd.	Un.	Rel. Justif.	Retrab.	Hr. Retrab.
MAO OBRA/ NORMAL - DIOGO PEREIRA	4	HR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

[Rel. Retrab.](#)

Figura 28 - Introdução de horas de mão-de-obra num pedido de produção

Assim como a possibilidade de colocar uma breve descrição sobre o retrabalho realizado, Figura 29.

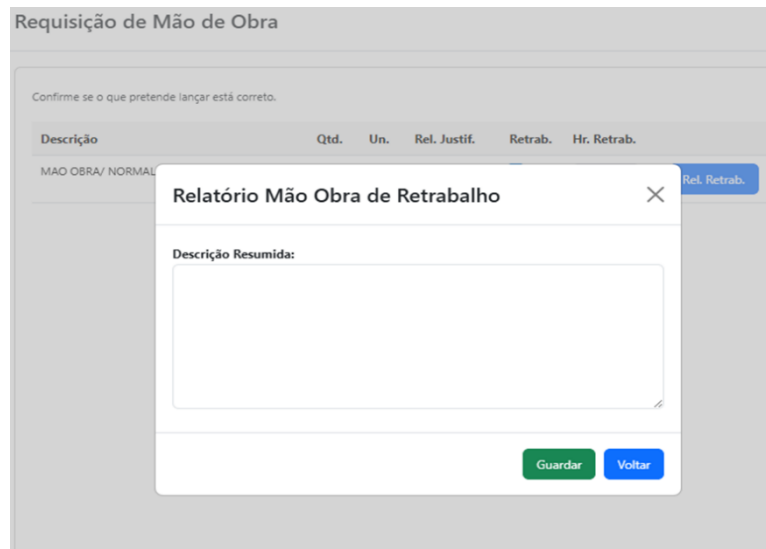


Figura 29 - Descrição do retrabalho realizado

De modo a instalar o sistema mais adequado à empresa foram analisadas as tecnologias disponíveis no mercado. A implementação de RFID é muito dispendiosa e não traz valor acrescentado suficiente à empresa de modo a ser viável, por isso a tecnologia escolhida foram os códigos QR pelo baixo custo de implementação comparado com o RFID e permite armazenar e aceder a mais informações que os códigos de barras.

A tecnologia Blockchain não foi implementada juntamente com os códigos QR, pois é um sistema complexo e que exige incorporação de um novo software totalmente diferente do existente, além de ter um elevado custo de implementação e manutenção. Tendo em conta estes pontos a sua implementação não é viável.

No sistema de rastreabilidade a implementar as peças irão ser contabilizadas como volumes, sendo estes criados na serralharia e podem ser constituídos por um conjunto soldado, vários conjuntos soldados e peças soltas ou um conjunto de peças soltas. Estes volumes irão de seguida para a pintura e depois podem ser colocados diretamente na área de expedição ou então seguir para a mecânica onde serão assemblados num equipamento.

Na secção do torneamento irá ser criada uma zona de receção e de expedição de produto, onde cada peça ou conjunto de peças irá ser identificado com o seu desenho e não através das etiquetas de volumes. Apenas as peças que virão da serralharia terão volumes associados e que continuaram a ser os mesmos após a maquinação nesta secção.

Cada volume irá ter uma etiqueta a identificar o mesmo com alguns dados essenciais para a sua referência e um código QR, que uma vez lido irá para a página do GestPro deste pedido onde se encontra o resto da informação sobre o mesmo. A gravação a LASER dos códigos QR nas peças não é possível, uma vez que estas ainda vão ser pintadas e a tinta iria cobrir o código perdendo-se o mesmo. Além disso, a compra de um LASER é um investimento e também a variedade de tamanho das peças poderia comprometer a sua utilização em peças de maior dimensão. Outra forma de identificar as peças seria puncioná-las com uma referência ou código de identificação, mas seria um processo muito moroso e não traria valor acrescentado suficiente.

Após a pintura, os volumes colocados diretamente na área de expedição, poderão ser agrupados e transformados noutros volumes para transporte. Após a montagem/asmblagem, o equipamento será transformado num ou mais volumes de expedição, dependendo da forma mais fácil de este ser manuseado ou transportado.

Destacar que associado a estes volumes, irá estar sempre uma localização. Sempre que os volumes forem movidos do local onde se encontram para outro, a pessoa responsável por esse movimento terá de mudar a localização no GestPro para que esta fique sempre atualizada.

Com base no layout da fábrica e de zonas já identificadas, foram designadas numericamente 17 localizações, que podem ser observadas na Figura 30. Algumas destas localizações substituem zonas que já estavam definidas anteriormente.

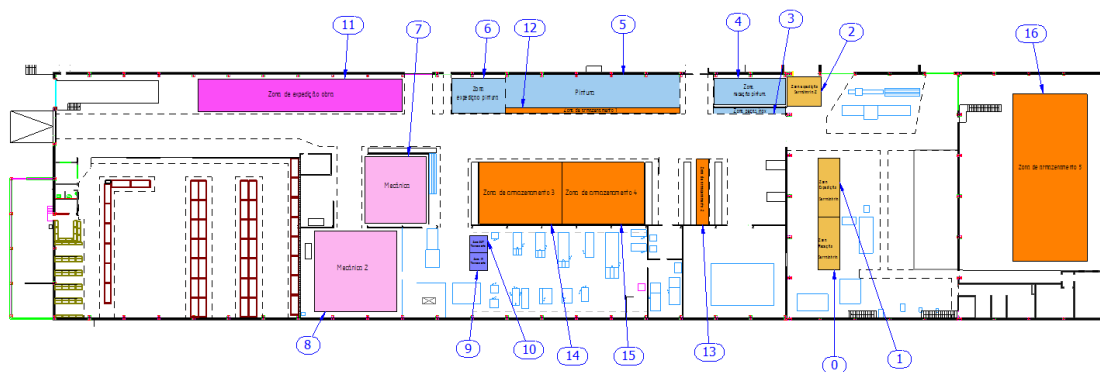


Figura 30 - Localizações para associar aos volumes

Na Tabela 4 está associado a cada número de localização a respetiva designação.

Tabela 4 - Números das localizações e respectivas designações

Número da localização	Designação da localização
0	Zona de receção serralharia
1	Zona de expedição serralharia
2	Zona de expedição serralharia
3	Zona para peças de aço inox antes de tratamento
4	Zona de receção/preparação pintura
5	Pintura
6	Zona de expedição pintura
7	Mecânica
8	Mecânica 2
9	Zona IN torneamento
10	Zona OUT torneamento
11	Zona expedição obra
12	Zona de armazenamento 1
13	Zona de armazenamento 2
14	Zona de armazenamento 3
15	Zona de armazenamento 4
16	Zona de armazenamento 5

Na fábrica já existiam zonas identificadas no local, nomeadamente as zonas de expedição das seções, e com esta definição de locais foram identificados os restantes e colocadas plantas como a da Figura 31, junto de cada secção.



Figura 31 - Secção da mecânica com a planta da HRV das localizações afixada (na parede à direita)

Todos os volumes respectivos a uma obra serão colocados numa área definida para tentar manter todos os volumes juntos, mesmo tendo a sua localização, para facilitar a sua carga.

Para a expedição das peças e/ou equipamentos para obra, irá ser criada uma lista com todos os volumes da obra. No momento da carga os volumes expedidos irão ser concluídos, permitindo assim saber o que foi expedido em cada carga. A designação dos volumes irá automaticamente para a guia de transporte, facilitando a elaboração da mesma.

5.1.Primeira implementação

Para a primeira implementação do sistema de rastreabilidade foi selecionada uma obra e criados 5 volumes todos de pedidos de produção diferentes. Foram criadas as etiquetas (Figura 32), que contêm a identificação do volume, o pedido de produção, a data de criação e se este é para expedição.

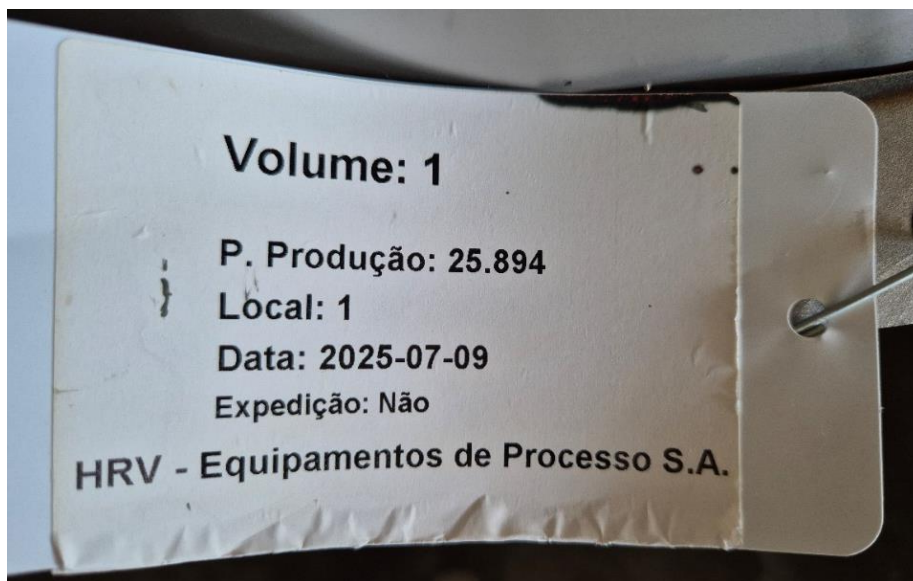


Figura 32 - Etiqueta de identificação do volume

Estes volumes são criados pelos colaboradores no GestPro. Ao serem criados, é inserida (Figura 33) a localização inicial onde serão deixados, o número de peças/conjuntos dos mesmos, e se estes são para expedição, assim como uma breve descrição, que não aparece na etiqueta, mas que descreve melhor o que é o “volume” (ver Figura 33).

Volumes ✕

Expedição

Volume: **Localização:**

Data:

Descrição:
BALANÇA 50L INOX
5 Peças

Figura 33 - Informação inserida na criação de um volume

As etiquetas também continham o local, mas na próxima iteração irá ser retirado porque uma vez que o local está sempre a mudar era necessário estar sempre a colocar uma etiqueta nova, o que se torna um desperdício de etiquetas. O local irá ser atualizado no GestPro onde todos os colaboradores têm acesso e assim estará sempre atualizado, Figura 34. É registada apenas a localização atual do volume, não sendo mantido um histórico dos locais por onde este passou, nem das respetivas datas.

Volumes

	Volume	Local.	Exped.	Desc.	PProdução	Data
<input type="button" value="Imprimir"/> <input type="button" value="Editar"/>	1	1	<input type="checkbox"/>	BALANÇA 50L INOX 5 Peças	25.886	2025-07-09

Figura 34 - Local na página do GestPro onde é possível fazer a edição dos volumes

A edição dos volumes permite fazer a edição da descrição e da sua localização. Também permite a eliminação do mesmo no caso deste ter sido criado erradamente, a sua inativação no caso de vários volumes serem agregados num ou o contrário. Este procedimento arquiva os volumes e os respetivos números associados, permitindo ter sempre a rastreabilidade das peças que existiam em cada volume. Os novos volumes irão ter atribuídos números sequenciais aos que foram arquivados.

Os códigos QR não foram implementados nestas etiquetas, pois é algo mais complexo de integrar com o programa GestPro. Mas os dados podem ser atualizados pelos colaboradores nos computadores existentes nas secções de trabalho.

Após a fabricação estar concluída, os volumes foram criados e colocados no local 1, na zona de expedição da serralharia (Figura 35 e Figura 36). Estes também têm a acompanhar o respetivo desenho 2D.



(a)



(b)

Figura 35 – (a) 1 Volume identificado e (b) 2 Volumes identificados



Figura 36 - 2 Volumes identificados

O passo seguinte na fabricação de 4 volumes de peças em Inox (Figura 37), foi o tratamento com ácido na pintura (local 5). Estes foram depois colocados no local 11, junto de outras peças de outros pedidos de produção, mas tinham as etiquetas que permitiam a sua identificação.



Figura 37 - 4 Volumes de peças em Inox no local 11

O último dos 5 volumes foi levado de seguida para a pintura (Figura 38). Nesta secção para pintar os equipamentos pode ser necessário retirar as etiquetas para realizar este processo.



Figura 38 - Volume na secção de pintura

Destacar que como foi necessário colocar nesse espaço, local 11, outras peças da obra que já estava nesse local, os 4 volumes de peças em inox foram movimentados para o local 14 (Figura 39), tendo esta movimentação sido devidamente registrada.



Figura 39 - Volumes das peças em inox no local 14

Após a pintura das peças, estas são colocadas na área de expedição da pintura (local 6). O volume que foi para a pintura, foi todo colocado numa palete, mas à saída da pintura as peças têm de ficar espalhadas para acabar de secar e curar a tinta (Figura 40). Nesta figura é possível observar, que estavam peças de outros pedidos de produção ao lado das deste volume e com a mesma cor, o que podia ter originado alguma perda de peça. Contudo, após a secagem das peças, as mesmas foram colocadas no volume correto e com a etiqueta adequada a identificar.

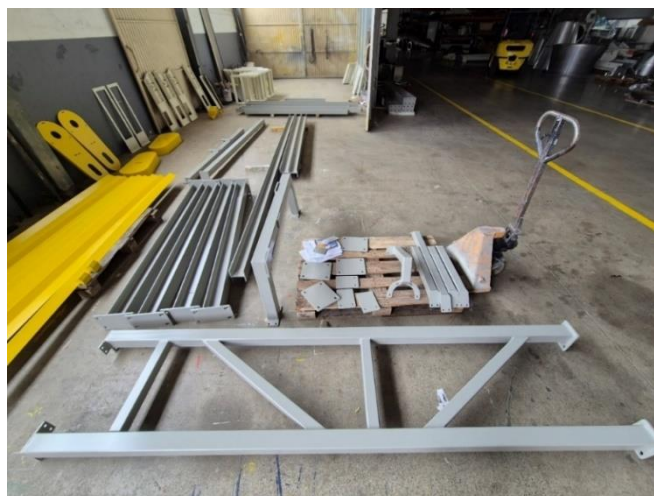


Figura 40 - Peças do volume espalhadas a secar

Na secção do torneamento foram criadas uma zona IN e uma zona OUT de peças. Para um pedido de produção dos que foi feito o acompanhamento, foram fabricadas 2 peças que estão identificadas pelo desenho 2D e colocadas na zona OUT, Figura 41.



Figura 41 - Peças fabricadas na secção do torneamento na zona OUT

No fim das peças feitas no torneamento estarem prontas, o volume do sem-fim foi deslocado para o local 7 para ser assemblado e depois foi colocado novamente no local 14 junto dos outros volumes (Figura 42). Neste caso, o volume do sem-fim continuou o mesmo porque as peças já estavam todas inseridas nesse volume e o sem-fim foi num só conjunto assemblado para obra, não sendo necessário transformar o volume inicial em dois.



Figura 42 - Volume do sem-fim junto dos volumes de inox

Após a secagem das peças do volume, estas foram colocadas junto dos outros volumes da obra e criada uma zona específica (Figura 43) para facilitar a identificação e a carga dos equipamentos. A zona estava identificada com o nome do cliente, o número e designação da obra.



Figura 43 - Zona de armazenamento específica para a obra

Como resultado desta primeira implementação, destacar que todos os **volumes** estiveram sempre identificados pelas etiquetas e acompanhados pelos desenhos 2D durante todo o processo. Apesar das alterações efetuadas, nesta primeira implementação não foram introduzidas as movimentações de local no GestPro, pois será feito na próxima iteração.

5.2.Segunda implementação

Na segunda implementação do sistema de rastreabilidade foram selecionados 4 pedidos de produção de uma obra para serem acompanhados: pedidos nº 1000, 1062, 1063 e 1064. Nesta implementação foram introduzidos os códigos QR nas etiquetas e atualizada em tempo real a informação da localização dos volumes no GestPro.

5.2.1. Pedido de produção 1000

No pedido de produção 1000 foram criados 14 volumes, 13 deles com peças e 1 com um conjunto de acessórios, que a serralharia está responsável por preparar. As peças depois de prontas, foram movimentadas diretamente da serralharia para a zona de receção da pintura e devidamente identificadas com etiquetas, Figura 44. O volume com o conjunto de acessórios foi colocado diretamente na zona de armazenamento/expedição daquela obra. Estes foram

identificados como sendo para expedição, uma vez que a sua etapa de fabrico terminou na pintura, sendo posteriormente assemblados em obra.



Figura 44 – 11 volumes do pedido de produção 1000 no local 4

A localização destes volumes foi colocada logo no local 4 aquando da criação dos mesmos. De seguida, os volumes passaram para a pintura e o local foi atualizado no GestPro, Figura 45.

Volumes

		Volume	Local.	Exped.	Desc.	PProdução	Data
Imprimir	Editar	1	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1 GUARDA CORPOS	25.1000	2025-08-18
Imprimir	Editar	2	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1 GUARDA CORPOS	25.1000	2025-08-18
Imprimir	Editar	3	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1 GUARDA CORPOS	25.1000	2025-08-18
Imprimir	Editar	4	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1 GUARDA CORPOS	25.1000	2025-08-18
Imprimir	Editar	5	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1 GUARDA CORPOS	25.1000	2025-08-18
Imprimir	Editar	6	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1 GUARDA CORPOS	25.1000	2025-08-18
Imprimir	Editar	7	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1 PASSADIÇO	25.1000	2025-08-18
Imprimir	Editar	8	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1 PASSADIÇO	25.1000	2025-08-18
Imprimir	Editar	10	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1 PASSADIÇO	25.1000	2025-08-18
Imprimir	Editar	11	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1 PASSADIÇO	25.1000	2025-08-19

Figura 45 - Localização de 11 volumes do pedido de produção 1000 no GestPro

Após a pintura, apenas os volumes 1 a 6, e 13 e 14 foram colocados na zona de expedição da pintura já com as etiquetas a identificá-los, Figura 46. Os volumes 7 a 11 ficaram na pintura. A localização destes foi atualizada de acordo no GestPro.



Figura 46 - Volumes 1 a 6 e 13 e 14 no local 6

De seguida, as escadas foram colocadas na zona de armazenamento específica da obra (Figura 47) e os volumes 7 a 11 foram colocados, com a respetiva etiqueta de identificação, junto dos volumes 1 a 6 na zona de expedição da pintura.



Figura 47 - Volumes 13 e 14 na zona de armazenamento específico da obra

Estes volumes permaneceram nestes locais até ao momento da sua expedição. Os volumes 1 a 11 ficaram na zona de expedição da pintura pois não havia outro local com espaço para os colocar. No entanto, uma vez que a localização dos volumes esteve constantemente atualizada no sistema, foi possível localizá-los facilmente dentro da fábrica, evitando assim perdas de tempo na sua identificação e recolha para expedição.

5.2.2. Pedidos de produção 1062 e 1063

Os pedidos 1062 e 1063 são cada um para um transportador de tela. Os dois transportadores têm o mesmo modelo e muitas peças são iguais, apenas algumas peças mudam devido à diferença de tamanho. Devido a esta particularidade, as peças para os 2 transportadores são fabricadas ao mesmo tempo porque é mais produtivo e por isso foram colocadas juntas na mesma palete. Por isso, foram criados e identificados 4 volumes para cada pedido de produção onde estavam juntos nas paletes volumes dos 2 pedidos, ou seja, as peças estavam em 4 paletes com os 8 volumes criados, Figura 48.



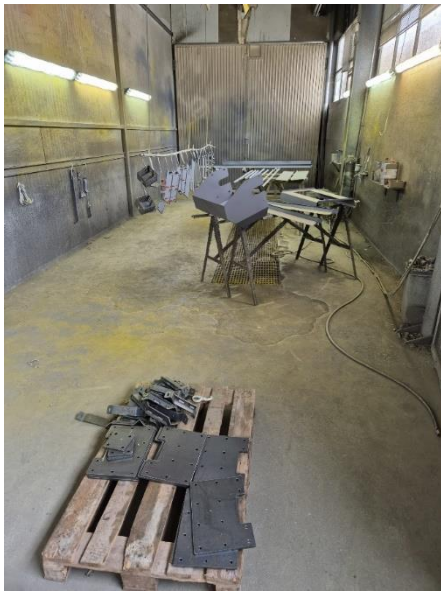
(a)



(b)

Figura 48 - (a) Alguns volumes do pedido de produção e (b) 2 Volumes do pedido de produção

As peças após a sua fabricação na serralharia foram agrupadas em volumes e estes colocados na zona de expedição desta secção. De seguida alguns volumes foram colocados no local 4 e outros no local 5 onde começaram a ser pintados. Os transportadores de tela têm peças pintadas com 2 cores diferentes. De modo a pintar todas as peças com a mesma cor (para ser mais eficiente), foram misturadas algumas peças de volumes diferentes destes pedidos, Figura 49, podendo esta situação originar a perda de peças por se separarem dos volumes originais.



(a)



(b)

Figura 49 – (a) Peças de volumes na pintura e (b) Restantes peças dos volumes na zona de preparação da pintura

Após a pintura os volumes sofreram alterações e as peças foram colocadas em mais paletes, com a inativação dos anteriores e criados volumes com o número correto de peças em cada um. Estes foram colocados na área específica de armazenamento criada para aquela obra, Figura 50.



Figura 50 - Zona específica de armazenamento para esta obra

Na criação dos novos volumes foram introduzidas novas etiquetas onde foram integrados os códigos QR (Figura 51), que possibilitam a comunicação direta com o programa GestPro, permitindo aos funcionários, através da leitura dos códigos QR num tablet, atualizar e visualizar todos os dados relativos a cada volume em específico.

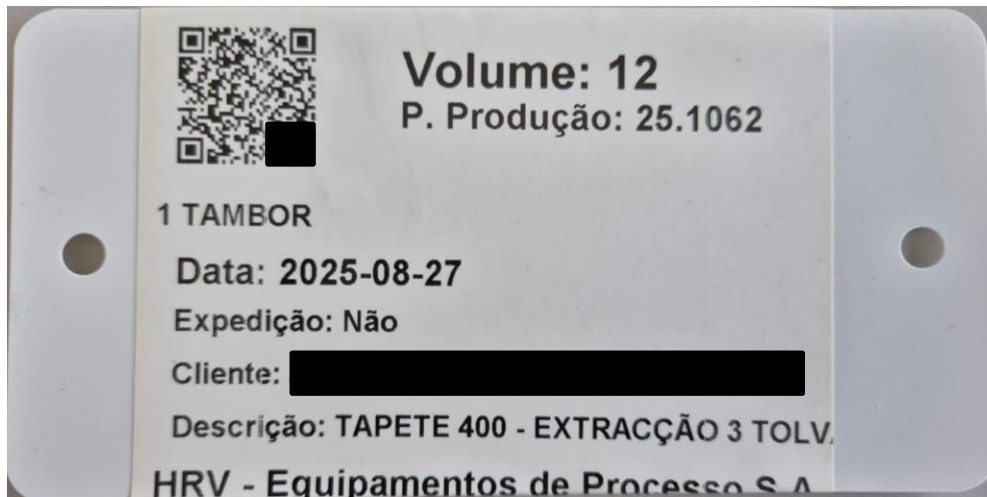


Figura 51 - Etiqueta com código QR

Antes da montagem dos transportadores, um tambor de cada transportador foi levado para um fornecedor externo para ser realizada uma operação. Os tambores foram identificados cada um com a sua etiqueta, Figura 52.



Figura 52 - Tambores com etiquetas identificadoras

A localização dos tambores foi atualizada no GestPro, a indicar que as peças se encontravam num fornecedor externo, Figura 53.

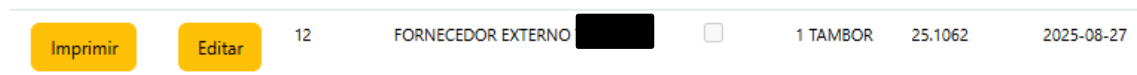


Figura 53 - Indicação da localização de um tambor no GestPro

Quando os dois tambores chegaram do fornecedor externo procedeu-se à montagem dos dois tapetes na zona da mecânica (Figura 54), tendo sido levados todos os volumes para este local.



Figura 54 - Montagem dos 2 tapetes na zona da mecânica

Com a conclusão da montagem dos tapetes, os 8 volumes de cada tapete foram inativados e criados 2 novos volumes, 1 para cada tapete, tendo sido posteriormente expedidos para obra.

5.2.3. Pedido de produção 1064

O pedido de produção 1064 corresponde a 3 tremonhas, que após a sua fabricação, foram colocadas na zona de receção da pintura, Figura 55. Neste foram criados 3 volumes correspondentes a cada tremonha, devidamente identificados com etiquetas.



Figura 55 - Tremonhas na zona de receção da pintura

De seguida as tremonhas foram pintadas e colocadas na zona específica de armazenamento criada para aquela obra, como é possível observar também na Figura 50.

As tremonhas tinham uns acessórios que era necessário montar nas mesmas, e para se proceder à sua montagem começou por se levar apenas uma tremonha para a zona da mecânica (Figura 56).



Figura 56 - Tremonha na zona da mecânica

Quando a tremonha chegou à mecânica, verificou-se que por lapso não tinha sido pintado o seu interior. Foram verificadas as outras 2 tremonhas e estas também não tinham sido pintadas no interior. Foi necessário pintar o interior das tremonhas, tendo sido levada uma de cada vez para a pintura (local 5) para o efetuar. De seguida após seco o interior de cada tremonha, foram levadas também à vez para a mecânica para serem montados os acessórios. Após esta montagem as tremonhas foram colocadas novamente na zona de armazenamento específico para esta obra.

A pintura destas tremonhas é considerada um retrabalho, uma vez que estas já tinham passado por esta secção e isto deveria ter sido feito. As localizações das tremonhas foram atualizadas no GestPro conforme iam sendo movimentadas durante o retrabalho e foi registado o tempo de retrabalho do funcionário também no software, Figura 57.

Requisições de Mão de Obra

Req.	Data Mov.	Desc.	Qtd.	Un.	Secção
2317	2025-09-03	MAO OBRA/ NORMAL [REDACTED] - Retrabalho - (Cliente)	1.00	HR	Pintura

Figura 57 - Mão-de-obra de retrabalho realizada na pintura do interior das tremonhas

As tremonhas permaneceram neste local até serem expedidas.

5.2.4. Expedição dos volumes

Por forma a avaliar o desempenho do sistema na identificação de todos os itens/materiais que foram incorporados na obra, destacar que, foi criada uma lista com todos os volumes ativos da obra (Figura 58). Nesta consta o pedido de produção, a descrição e a localização atual de cada volume. Dessa forma, a expedição para a obra é agilizada, com todos os volumes nos locais previamente definidos, evitando a perda de tempo na procura dos itens, assim como garantir que todos os itens são expedidos.

Obra	PProd	Volume	Descrição	Localização
250235.90.01	25.1000	1	1 GUARDA CORPOS	6
250235.90.01	25.1000	10	1 PASSADIÇO	6
250235.90.01	25.1000	11	1 PASSADIÇO	6
250235.90.01	25.1000	12	11 PLACAS GRADIL + 25 GRAMPOS	15
250235.90.01	25.1000	13	1 ESCADA	15
250235.90.01	25.1000	14	1 ESCADA	15
250235.90.01	25.1000	2	1 GUARDA CORPOS	6
250235.90.01	25.1000	3	1 GUARDA CORPOS	6
250235.90.01	25.1000	4	1 GUARDA CORPOS	6
250235.90.01	25.1000	5	1 GUARDA CORPOS	6
250235.90.01	25.1000	6	1 GUARDA CORPOS	6
250235.90.01	25.1000	7	1 PASSADIÇO	6
250235.90.01	25.1000	8	1 PASSADIÇO	6
250235.90.01	25.1000	9	1 PASSADIÇO	6
250235.90.01	25.1062	13	1 TAPETE	7
250235.90.01	25.1063	13	1 TAPETE	7
250235.90.01	25.1064	1	1 TREMONHA	15
250235.90.01	25.1064	2	1 TREMONHA	15
250235.90.01	25.1064	3	1 TREMONHA	15

Figura 58 - Lista de todos os volumes ativos da obra

5.3. Conclusão das implementações

Em suma, após as duas implementações do sistema de rastreabilidade, observou-se uma significativa melhoria na organização e eficiência na rastreabilidade física/ movimentação dos volumes. A atualização constante das localizações no sistema GestPro e depois a introdução dos códigos QR nas etiquetas, durante a segunda implementação, permitiu um acompanhamento preciso e em tempo real dos volumes, facilitando a localização dos mesmos e evitando perdas de tempo. Durante as implementações, os volumes estiveram corretamente identificados em todas as etapas, exceto durante a sua pintura onde são

retiradas as etiquetas. No fim da montagem dos sem-fins e tapetes que foram acompanhados durante estas implementações, as placas de identificação foram colocadas nos mesmos.

Embora o sistema ainda não esteja completamente otimizado, este foi validado pois comprovou ser uma solução funcional e eficiente, permitindo uma gestão mais organizada e ágil, com resultados positivos no acompanhamento e movimentação das peças e máquinas fabricadas na empresa.

5.4. Análise dos dados do retrabalho

Como referido nos objetivos do trabalho, a identificação e registo dos tempos de retrabalho foi considerada essencial para o sistema a implementar. Como descrito anteriormente, este foi dotado desta funcionalidade (Figura 28), o que permitiu durante 4 meses recolher informações das horas de mão-de-obra realizadas em retrabalho e os motivos pelos quais ocorreram. No total de 10536 horas trabalhadas por 18 funcionários das secções do desenho, serralharia, pintura, torneamento e mecânica, foram registadas 527 horas de retrabalho, aproximadamente 5% do total de horas. Na Tabela 5 estão os erros/causas do retrabalho descritos e a sigla criada para fazer a sua correspondência nas figuras seguintes.

Tabela 5 - Erros/ causas descritas pelos funcionários

Erros/Causas	Sigla
Erro no desenvolvimento de peça	E1
Alteração após início do fabrico	E2
Peça desaparecida	E3
Erro na quinagem	E4
Erro na soldadura, peça mal soldada	E5
Erro na soldadura, peça empenada	E6
Erro peça soldada na posição errada	E7
Alteração pedida por cliente	E8
Alteração pedida pelas montagens	E9
Abertura de furações e roscas	E10
Erro de tolerância	E11
Erro de montagem	E12

Seguidamente, foi realizada a análise dos dados das horas de retrabalho em cada secção e as horas totais por erro/causa detetada. Na secção do desenho foram contabilizadas 139 horas de retrabalho, distribuídas por 9 erros/causas como podemos observar na Figura 59.

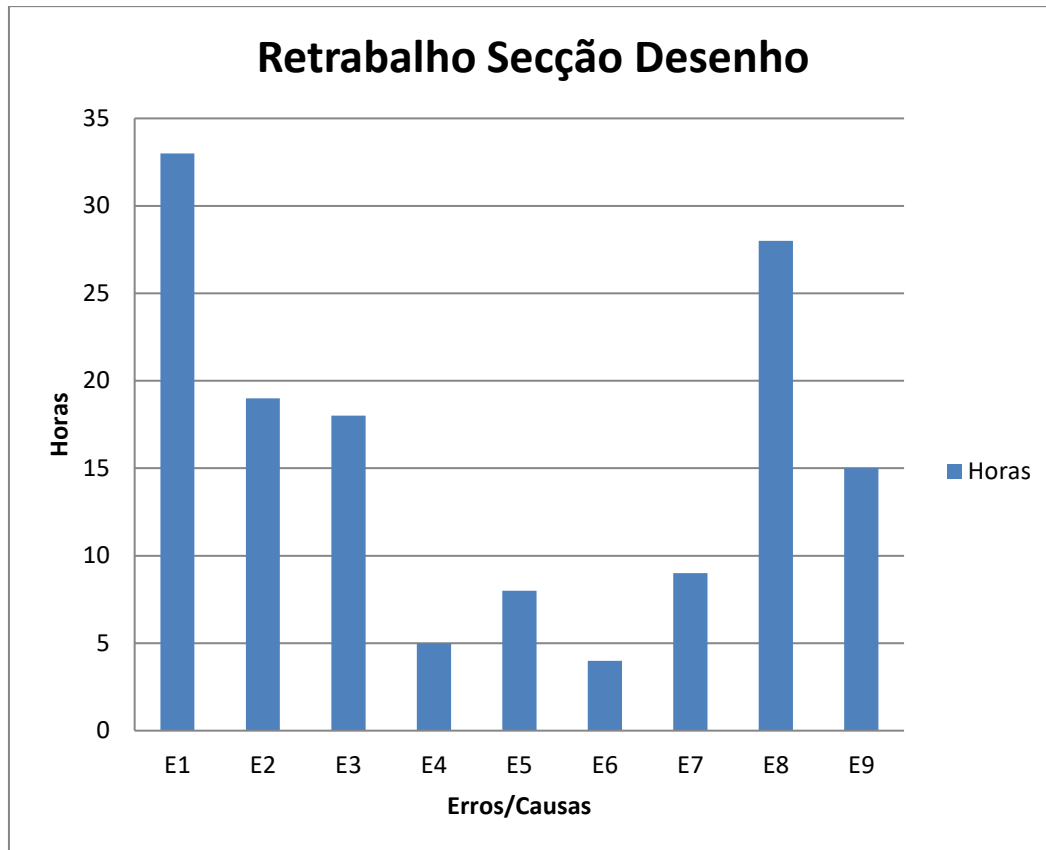


Figura 59 - Horas de retrabalho por cada erro/causa na secção do desenho

Esta demonstra que o erro que mais levou à ocorrência de retrabalho foram erros no desenvolvimento das peças, o que significa que foram enviados equipamentos para produção com erros no seu desenvolvimento, onde os erros foram detetados e corrigidos. No respeitante à segunda causa de mais horas de retrabalho, constata-se que esta se deve às alterações pedidas pelos clientes, que ocorrem após o início do fabrico dos equipamentos e/ou ligações.

De modo a diminuir os erros nesta secção sugere-se ser implementado uma dupla verificação dos trabalhos antes de envio para produção, por forma a detetar os erros, e também a realização de formações, por parte dos funcionários, no âmbito da metalomecânica (software, componentes mecânicos, etc.) para aumentar e melhorar os seus conhecimentos.

A serralharia foi a secção que registou o maior número de horas de retrabalho (203). Esta secção é onde começa a fabricação de quase tudo o que é colocado em produção e a secção de entre as analisadas que tem mais funcionários. Na Figura 60, podemos observar as horas de retrabalho por cada erro/causa registadas nesta secção.

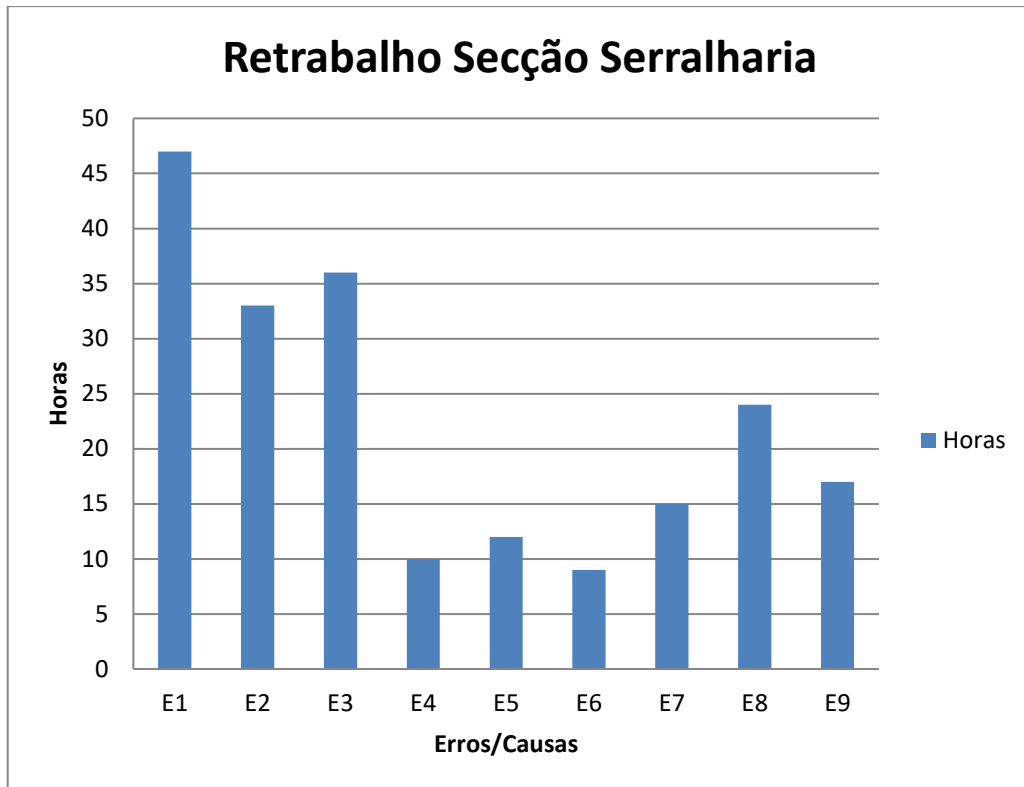


Figura 60 - Gráfico com as horas de retrabalho por cada erro/causa na secção da serralharia

Os erros de desenvolvimento das peças são o principal motivo de retrabalho na serralharia. Estes erros têm origem no desenho e levam ao fabrico de novas peças para substituir as que tinham erros. As peças perdidas são a segunda causa de maior retrabalho nesta secção, o que mais uma vez reforça que a implementação de um sistema de rastreabilidade é muito importante.

Destacar ainda que as horas de retrabalho da serralharia que têm origem nesta secção, são menos de um terço do total de horas registadas, e ocorreram devido a erros na quinagem de peças ou nas soldaduras. Estes erros podem ser diminuídos com participação dos funcionários em ações de formação de soldadura, quinagem e também de desenho técnico para interpretarem corretamente os desenhos 2D e soldarem as peças nos sítios corretos.

Na secção da pintura foram registadas 65 horas de retrabalho, distribuídas pelos erros observados na Figura 61.

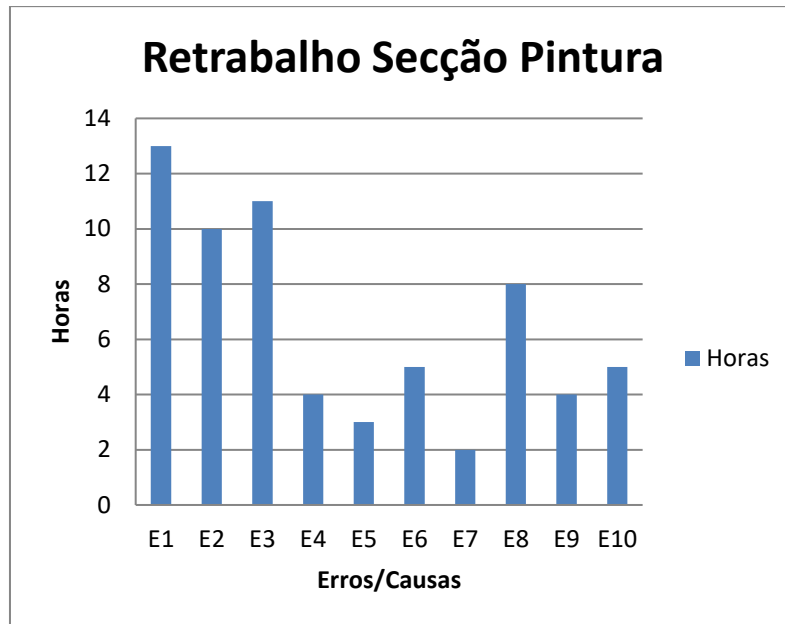


Figura 61 - Horas de retrabalho por cada erro/causa na secção da pintura

Esta secção é a única onde todas as horas de retrabalho se devem a outras secções e não têm origem na mesma. A distribuição das horas de retrabalho é semelhante às secções do desenho e da serralharia.

O torneamento foi a secção onde foram registadas menos horas de retrabalho, apenas 58 horas. Na Figura 62 podemos observar as horas de retrabalho por cada erro/causa registadas nesta secção.

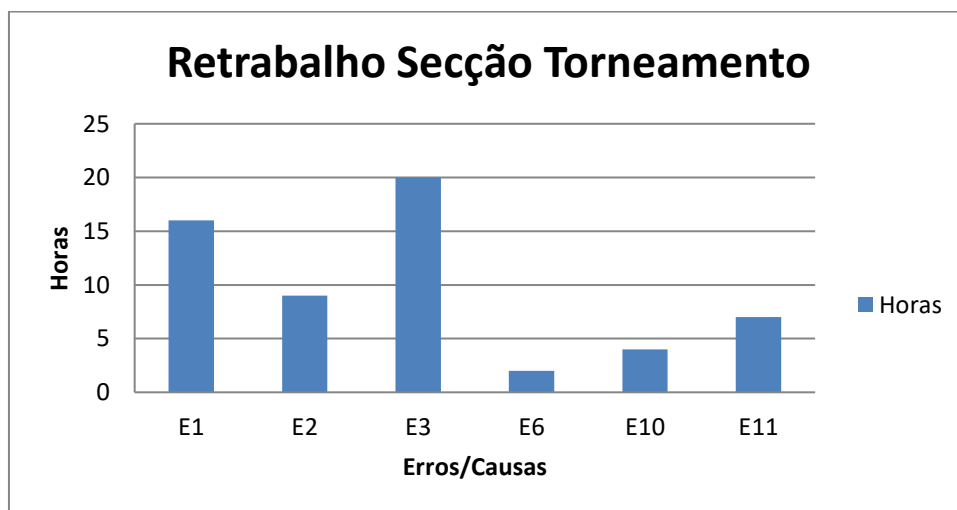


Figura 62 - Horas de retrabalho por cada erro/causa na secção do torneamento

Os erros de tolerância nas peças são os únicos que têm origem nesta secção e também são os que têm menos horas de retrabalho. Apesar de residual, poder-se-á diminuir este número pela realização de ações de formação sobre tolerâncias e a sua medição nas peças.

A secção da mecânica registou 68 horas de retrabalho que estão distribuídas por 4 erros/causas, como é possível observar na Figura 63.

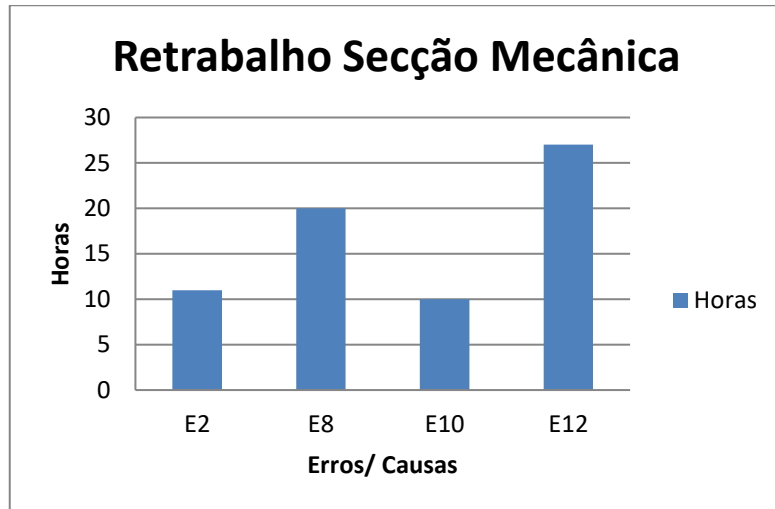


Figura 63 - Horas de retrabalho por cada erro/causa na secção da mecânica

Nesta secção, os erros de montagem, que são os únicos que têm origem nesta secção, foram os que tiveram maior número de horas de retrabalho (27). Isto deve-se a montagens incorretas de equipamentos, sendo necessário desmontar e voltar a montar.

Por último, na Figura 64 estão distribuídos o total de horas de retrabalho por cada erro/causa.

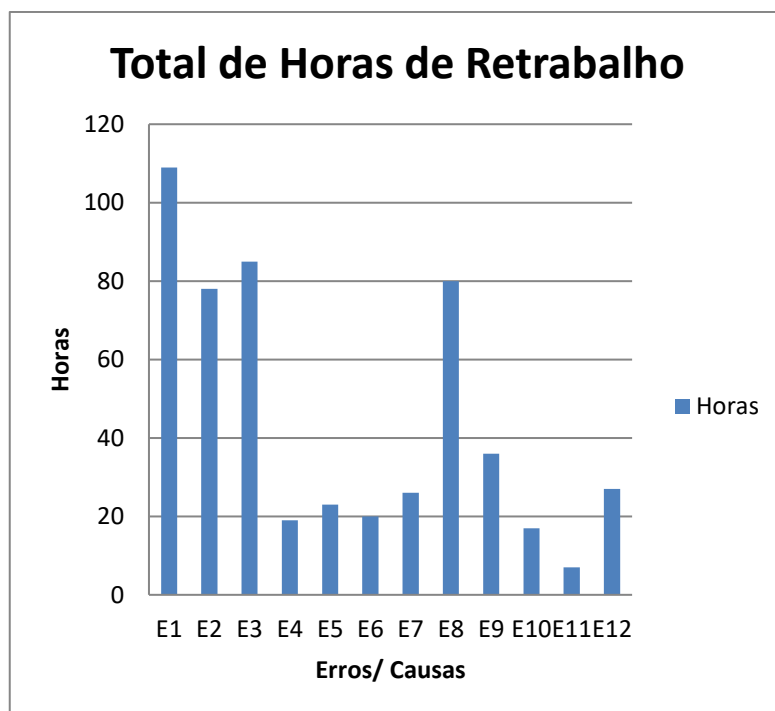


Figura 64 - Total de horas de retrabalho por cada erro/ causa

É possível concluir que os erros de desenvolvimento das peças são a principal causa de retrabalho, sendo que estas têm origem na secção do desenho e têm repercussão em quase todas as secções. A perda de algumas peças, que ocorre ao longo do processo de fabrico, é a segunda causa onde são despendidas mais horas de retrabalho. Assumindo um custo médio de 25 euros hora/funcionário, a inexistência de um sistema de rastreabilidade, causa principal para a perda de peças, representa um custo muito conservador de 2125 euros no período em análise (não estamos a considerar o valor de matéria-prima para repor peças), o que corrobora ainda mais com a necessidade da criação do sistema.

6. Conclusões e propostas de melhoria

6.1. Conclusão

Em suma este trabalho permitiu desenvolver e implementar, de forma inicial, um sistema de rastreabilidade adaptado ao contexto da indústria metalomecânica, tendo como caso de estudo a HRV Process Solutions. Os objetivos delineados na introdução foram atingidos, nomeadamente a análise do estado atual da rastreabilidade, a identificação das suas limitações, a seleção da tecnologia mais adequada e a validação da solução proposta através de uma aplicação prática.

A opção pelos códigos QR revelou-se adequada pela sua relação custo-benefício, permitindo organizar as peças em volumes identificados e associados a localizações específicas, assegurando a atualização em tempo real do seu percurso. Paralelamente, a contabilização do retrabalho possibilitou quantificar uma dimensão até então não controlada, fornecendo dados relevantes para a identificação de causas e definição de medidas corretivas.

Apesar de válido, o sistema desenvolvido carece ainda de melhorias para garantir o seu funcionamento pleno e consolidado. Ainda assim, os resultados alcançados demonstram que a solução constitui um contributo relevante para a melhoria da eficiência operacional, a redução de desperdícios e o reforço da fiabilidade da informação, alinhando-se com os princípios da Indústria 4.0 e respondendo aos desafios da produção ETO.

O pleno funcionamento deste sistema, após a implementação de todas as melhorias previstas, contribuirá significativamente para assegurar a rastreabilidade total, constituindo simultaneamente um avanço relevante em parte da implementação do sistema de gestão da qualidade na empresa.

6.2. Melhorias futuras para o sistema de rastreabilidade

Com a última análise ao sistema é possível identificar melhorias adicionais para tornar o sistema de rastreabilidade mais fiável e completo.

A título de exemplo, atualmente, na descrição das etiquetas associadas aos volumes está apenas designado, ou número de peças, ou uma breve descrição sobre a peça. A fim de identificar exatamente quais as peças que estão no volume, e conseguir assim rastrear

fisicamente peças e/ou conjuntos de peças soldadas, de forma completa, sugere-se ser retirada do software de desenho uma lista com as designações das peças, e quando os volumes forem formados, serem selecionadas as peças que estão a ser colocadas naquele volume ficando estas automaticamente associadas ao mesmo. Assim, na etiqueta poderá aparecer apenas o número de peças do volume na descrição, mas em caso de dúvida, ou para consulta, estas poderão ser consultadas através da leitura do código QR, mostrando todas as informações necessárias.

Pode ainda ser estudada a implementação de etiquetas metálicas com os códigos QR, no caso de volumes individuais, para que seja diminuída a probabilidade de ocorrerem perdas na zona da pintura (é necessário a retirada da etiqueta, que é colocada posteriormente após pintura), assim como trocas. Para tal, é preciso analisar se esta situação é recorrente, de modo a avaliar a aquisição de uma máquina de gravação a LASER, o que tem custos associados, assim como analisar e se a tinta ao cobrir o código QR não o torna inutilizado.

Outra proposta de melhoria, visa em simultâneo retirar a lista das peças do software com a cor associada à peça, evitando trocas e melhorando a eficiência do processo de pintura, pois são atribuídas a todas as peças a cor que irão ser pintadas, como é possível observar na Figura 65 onde a peça selecionada e as restantes têm a mesma cor.

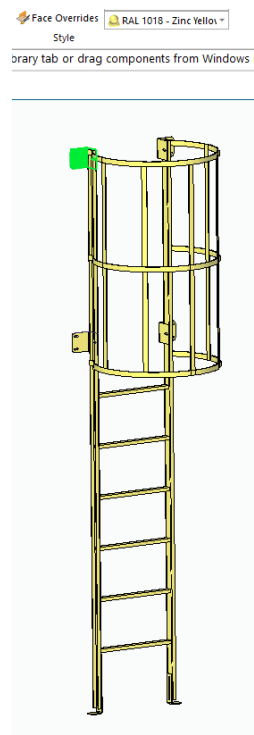


Figura 65 – Assemblagem 3D com todas as peças da mesma cor

Esta melhoria iria permitir que todas as peças de cada volume permanecessem sempre juntas por forma a que não ocorresse o mesmo que o observado na secção da pintura durante o segundo acompanhamento.

A localização dos volumes é registada no sistema, permitindo o rastreamento físico dos volumes. No entanto, a cada alteração de localização, é substituída a anterior sem manter um histórico, ou seja, não é possível saber de onde o volume veio anteriormente. Também não é guardada a data de quando é feita cada mudança de localização.

É fundamental ter este histórico de localização e a respetiva data para quando uma peça aparece fora dos volumes e sem identificação, é necessário primeiro perceber em que local foi encontrada de modo analisar os volumes que ainda se mantêm no mesmo para analisar se falta alguma peça num deles. Caso ainda não se tenha identificado de que volume seja a peça, têm de ser rastreados os últimos volumes que estiverem no local, perceber o seu destino e analisar se falta algum. Esta pode ser também interessante para comparar o percurso teórico, com o real dos pedidos de produção, de modo a perceber se mesmo após a criação de um local específico para cada obra continuam a existir desvios no percurso planeado.

No respeitante à criação de volumes, que apenas está a ser efetuada na secção da serralharia, pois é desta que provêm a maioria das peças fabricadas. Propõe-se incluir também o torneamento, pois irá complementar os volumes já criados na serralharia e assim, permitir rastrear fisicamente todas as peças fabricadas na empresa.

Outra melhoria prende-se com a passagem de informação relativa à designação de cada volume, de modo a esta passar automaticamente para a guia de transporte, o que permitirá maior automatização no processo de expedição, evitando ainda o esquecimento e falhas de informação na guia de transporte e elimina uma operação de valor não acrescentado (registo manual).

Por último, a implementação de sistemas FIFO nas secções e os registos dos lotes das matérias-primas e acessórios, em conjunto com as medidas propostas atrás, juntamente com o sistema de rastreabilidade já implementado irá permitir a rastreabilidade completa das peças (fisicamente e digitalmente pelo GestPro).

Bibliografia

- [1] - Schuitemaker, R., & Xu, X. (2020). Product traceability in manufacturing: A technical review. *Procedia CIRP*, 93, 700–705. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.078>
- [2] - Niukkanen, D. (2024). *Traceability improvement of material flow through digitalization in metal industry company*.
- [3] - Gomes, A. C. P. (2023). *Importância da Rastreabilidade na Cadeia de Abastecimento do Pescado*.
- [4] – Guedes, N. (2019). *Sistema de Rastreabilidade em Ambiente Industrial*.
- [5] - Pereira, A. A. M. M. (2021). *A Indústria 4.0 em Portugal - O estado da arte*.
- [6] - Granillo-Macías, R., Simón-Marmolejo, I., González-Hernández, I. J., & Zuno-Silva, J. (2020). Traceability in industry 4.0: A case study in the metal-mechanical sector. *Acta Logistica*, 7(2), 95–101. <https://doi.org/10.22306/al.v7i2.162>
- [7] - Mocanu, I. (2018). *Modelação de um sistema de rastreamento para a melhoria da qualidade de componentes eletrónicos na indústria automóvel*.
- [8] – Silva, A. M. A. (2018). *Impacto de soluções de Indústria 4.0 no Mercado de Trabalho em Portugal*.
- [9] – Pinheiro, T. M. (2019). *Análise financeira de um sistema de rastreabilidade e codificação de produtos numa empresa metalomecânica*.
- [10] - Pereira, C. L. A. (2012). *Dispositivos de identificação*.
- [11] - Alves, J. F. C. A. (2024). *Estudo da implementação de um sistema de rastreabilidade interna numa empresa do setor da construção*.
- [12] - QR Code development story. (09 de 08 de 2025). Obtido de Denso Wave: <https://www.denso-wave.com/en/technology/vol1.html>
- [13] - Tjahyadi, S., Gajah, J., Sei, M. B., & Batam, L. (2021). Development Of QR Code-Based Data Sharing Web Application Using System Development Life Cycle Method. *Journal of Information System and Technology*, 02(02), 64–73.

- [14] - Fortuna, G., & Gaspar, P. D. (2022). Implementation of Industrial Traceability Systems: A Case Study of a Luxury Metal Pieces Manufacturing Company. *Processes*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/pr10112444>
- [15] - Sivakami, N. (2018). COMPARATIVE STUDY OF BARCODE, QR-CODE AND RFID SYSTEM IN LIBRARY ENVIRONMENT. In *International Journal of Academic Research in Library & Information Science* (Vol. 1). www.eurekajournals.com
- [16] - Alves Borrego, T. (2019). *Tecnologia Blockchain-Potencial de Aplicação no âmbito dos Processos de Negócio das Cadeias de Abastecimento*.
- [17] - Paulo Ferreira Fragoso, M. (2024). *O Papel da Tecnologia Blockchain no Setor Vitivinícola Português: Uma Análise Comparativa das Perceções entre Produtores e Consumidores*.
- [18] – Bertrand, J. W. M., & Muntslag, D. R. (1993). Production control in engineer-to-order firms. *International Journal of Production Economics*, 30–31(C), 3–22. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(93\)90077-X](https://doi.org/10.1016/0925-5273(93)90077-X)
- [19] - Schloenzig, J., & Ågren, T. (2023). *Physical traceability in high-mix low-volume production Applicability and impact of production asset tracking in the defense industry*. www.chalmers.se
- [20] - Pinto Bandeira, D. (2023). *Estudo e implementação de um procedimento de rastreabilidade numa empresa metalomecânica*.
- [21] - Cardoso, M. C. P. (2015). *MOTIVAÇÕES E BENEFÍCIOS DA CERTIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE GESTÃO DE QUALIDADE EM ORGANIZAÇÕES PORTUGUESAS*.
- [22] - *Sistemas de Gestão da Qualidade Requisitos (ISO 9001:2015)*. (2015). www.iso.org/iso/foreword.html.
- [23] - Veiga, R. M. (2019). *Implementação da norma ISO 9001:2015 numa empresa de serralharia civil*.