



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E
BIOLÓGICA

Melhoria Contínua e Automação no Processo Produtivo da TRIDEC

Relatório de Estágio para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia e Gestão de Ativos Físicos

Autor

João Manuel Ferreira Mendes

Orientador

José Luís Ferreira Martinho

Supervisor na empresa TRIDEC

Miguel Henriques



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, dezembro de 2025

RESUMO

O presente relatório foi elaborado no âmbito do estágio para a conclusão do Mestrado em Engenharia e Gestão de Ativos Físicos do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, realizado na TRIDEC.

Num mercado cada vez mais dinâmico e exigente, as empresas enfrentam a necessidade constante de otimizar processos, reduzir desperdícios e reforçar a eficiência operacional. A TRIDEC, assumindo um papel de liderança no fabrico de sistemas direcionais e suspensões especiais, vê na automação uma oportunidade estratégica para aumentar a produtividade, melhorar os fluxos internos e sustentar o seu crescimento. Assim, o estágio incidiu em diferentes iniciativas orientadas para a transformação digital e a melhoria operacional da fábrica.

O trabalho desenvolvido focou-se em quatro áreas principais: o estudo de viabilidade da implementação de um AGV para melhoria dos fluxos logísticos internos; a análise da possível integração de um Cobot para um processo de montagem, com o objetivo de iniciar a automatização dos processos de montagem e melhorar as condições ergonómicas dos colaboradores; a análise e otimização de tempos de corte a laser e maquinação CNC; e, por fim, a elaboração e validação de uma instrução de trabalho para uma nova montagem.

As atividades realizadas contribuíram para o aperfeiçoamento dos processos produtivos da TRIDEC. O estudo do AGV mostrou oportunidades de melhoria dos fluxos de transporte e o aumento da segurança no chão de fábrica; o estudo do Cobot evidenciou o potencial de automatizar parcialmente operações de montagem e a redução do esforço manual; a análise de tempos resultou na redução efetiva de tempos de produção em operações de corte e maquinação; e a instrução de trabalho desenvolvida reforçou a padronização e qualidade do processo de montagem.

Em conjunto, estes contributos permitiram apoiar decisões estratégicas e fortalecer a cultura de melhoria contínua da empresa.

Palavras-Chave: Indústria 4.0, Melhoria contínua, Automação, AGV, Cobot

ABSTRACT

This report was prepared as part of the internship for the conclusion of the Master's degree in Engineering and Management of Physical Assets at the Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, carried out at TRIDEC.

In an increasingly dynamic and demanding market, companies face the constant need to optimize processes, reduce waste, and increase operational efficiency. TRIDEC, taking a leading role in the manufacture of directional systems and special suspensions, sees automation as a strategic opportunity to increase productivity, improve internal flows and sustain its growth. Thus, the internship focused on different initiatives aimed at digital transformation and operational improvement of the factory.

The work developed focused on four main areas: the feasibility study of the implementation of an AGV to improve internal logistics flows; the analysis of the possible integration of a Cobot for an assembly process, with the aim of starting the automation of assembly processes and improving the ergonomic conditions of employees; the analysis and optimization of laser cutting times and CNC machining; and, finally, the elaboration and validation of a work instruction for a new assembly.

The activities carried out contributed to the improvement of TRIDEC's production processes. The AGV study showed opportunities to improve transport flows and increase safety on the factory floor; the Cobot study highlighted the potential of partially automating assembly operations and reducing manual effort; the time analysis resulted in the effective reduction of production times in cutting and machining operations; and the work instruction developed reinforced the standardization and quality of the assembly process.

Together, these contributions have made it possible to support strategic decisions and strengthen the company's culture of continuous improvement.

Keywords: Industry 4.0, Continuous Improvement, Automation, AGV, Cobot

AGRADECIMENTOS

Durante o meu percurso, foram muitas as pessoas que contribuíram para o meu desenvolvimento e crescimento pessoal. A elas queria deixar uma palavra de apreço e gratidão.

Em primeiro lugar, aos meus pais que são as pessoas mais importantes da minha vida. Obrigado por me apoiarem sempre e por toda a ajuda que me deram e continuam a dar. Sem vocês nada disto seria possível.

Depois às minhas irmãs. Por estarem sempre prontas para me ajudar. Muito obrigado.

De seguida, aos meus avós. Obrigado pelos ensinamentos e valores que me transmitiram.

Agradeço também aos meus cunhados pela amizade e aos meus sobrinhos pela alegria que dão à família.

Aos restantes familiares e amigos também, obrigado por tudo.

Ao meu orientador, Professor José Luís Martinho, obrigado pela ajuda e disponibilidade.

Por fim, à TRIDEC por me ter dado esta oportunidade de crescimento e desenvolvimento pessoal e profissional, em especial aos colegas do Departamento de Engenharia que tão bem me acolheram na empresa.

ÍNDICE

Resumo	i
Abstract.....	iii
Agradecimentos	v
Índice.....	vi
Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas	x
Lista de Abreviaturas.....	xi
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos do Estágio	2
1.3 Estrutura do Relatório.....	2
2 Enquadramento Teórico.....	4
2.1 A Evolução da Indústria	4
2.1.1 Indústria 1.0	4
2.1.2 Indústria 2.0	4
2.1.3 Indústria 3.0	5
2.1.4 Indústria 4.0	6
2.1.5 Indústria 5.0	7
2.2 A Digitalização da Indústria.....	8
2.2.1 Internet of Things (IoT).....	8
2.2.2 Inteligência Artificial (IA).....	9
2.2.3 Sistemas Ciberfísicos (CPS).....	10
2.2.4 Veículos Guiados Automaticamente (AGV)	11
2.2.5 Robôs Colaborativos (Cobots)	12
2.3 O Lean e a Indústria 4.0.....	13
2.3.1 Lean Manufacturing	13
2.3.2 Lean na Indústria 4.0.....	14
3 A empresa: TRIDEC.....	16
3.1 Enquadramento.....	16
3.2 Produtos	18
3.2.1 Sistemas Direcionais Mecânicos	20

3.2.2	Sistemas Direcionais Hidráulicos	22
3.2.3	Sistemas Direcionais Eletrónicos	23
3.2.4	Suspensões Especiais	25
3.3	TRIDEC Portugal.....	30
3.3.1	Organização	30
3.3.2	Processo Produtivo, Processo de Negócio e ERP	31
4	Trabalho Desenvolvido.....	34
4.1	Estudo de Implementação de um AGV	34
4.1.1	Análise da situação inicial.....	35
4.1.2	Estudo de movimentação de cargas com a utilização de um AGV ...	38
4.1.3	Decisão	42
4.2	Estudo de Implementação de um Robô Colaborativo.....	44
4.2.1	Características das peças	44
4.2.2	Processo de Montagem – Situação Inicial.....	47
4.2.3	Estudo da montagem do Guidance Support através de um Cobot...	48
4.2.4	Decisão	51
4.3	Análise de Tempos.....	53
4.3.1	Corte a Laser (TRUMPF).....	53
4.3.2	Maquinação em tornos CNC (Mazak).....	58
4.4	Instrução de Trabalho LV-O.....	62
4.4.1	Acompanhamento do Processo.....	62
4.4.2	Elaboração e Validação da Instrução de Trabalho.....	64
5	Conclusão	69
	Referências bibliográficas	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Complexo Industrial da TRIDEC Holanda.....	16
Figura 2 - Complexo Industrial TRIDEC Portugal	16
Figura 3 - Fifth Wheel Couplings, King Pins e Turntable bearings.....	17
Figura 4 – Carregadores Frontais e Implementos	17
Figura 5 - Towing Hitch, Drawbar e Hitch Support	18
Figura 6 - Front-End Cylinders, Underbody Cylinders e Truck-Mounted Cranes .	18
Figura 7 – Produtos da TRIDEC.....	19
Figura 8 - Sistema Direcional Mecânico TD (Product Overview, TRIDEC, 2024)	21
Figura 9 - Exemplo de um camião equipado com o Sistema Direcional Mecânico TD (Product Information, TRIDEC, 2023)	21
Figura 10 - Esquema dos eixos e da quinta roda de um Sistema Direcional Mecânico TD (Product Information, TRIDEC, 2023)	22
Figura 11 - Sistema Direcional Hidráulico HF (Product Overview, TRIDEC, 2024)	22
Figura 12 - Exemplo de um camião equipado com o Sistema Direcional Hidráulico HF (Product Information, TRIDEC, 2023)	23
Figura 13 - Esquema dos eixos e da quinta roda de um Sistema Direcional Hidráulico HF (Product Information, TRIDEC, 2023)	23
Figura 14 - Sistema Direcional Eletrónico EF-S (Product Overview, TRIDEC, 2024)	24
Figura 15 - Exemplo de um camião equipado com o Sistema Direcional Eletrónico EF-S (Product Information, TRIDEC, 2023)	24
Figura 16 - Esquema dos eixos e da quinta roda de um Sistema Direcional Eletrónico EF-S (Product Information, TRIDEC, 2023)	25
Figura 17 - Suspensão LV-O (Product Overview, TRIDEC, 2024).....	26
Figura 18 - Exemplo de um camião equipado com Suspensões Pneumáticas LV-O (Product Information, TRIDEC, 2023)	26
Figura 19 - Esquema dos eixos traseiros equipados com Suspensões Pneumáticas LV-O (Product Information, TRIDEC, 2023).....	27
Figura 20 - Suspensão TF-VO. (Product Information, TRIDEC, 2023).....	28
Figura 21 - Exemplo de um camião equipado com Suspensões Pneumáticas TF-VO (Product Information, TRIDEC, 2023)	28

Figura 22 - Esquema da quinta roda e dos eixos equipados com Suspensões Pneumáticas TF-VO (Product Information, TRIDEC, 2023)	28
Figura 23 - Sistema de Suspensão Hidráulica TP-O (Product Information, TRIDEC, 2023).....	29
Figura 24 - Exemplo de um caminhão equipado com o Sistema de Suspensão Hidráulica TP-O (Product Information, TRIDEC, 2023)	29
Figura 25 - Esquema dos eixos e da quinta roda de um Sistema Suspensão Hidráulica TP-O (Product Overview, TRIDEC, 2024)	30
Figura 26 - Organização da TRIDEC Portugal	31
Figura 27 – Layout da fábrica da TRIDEC.....	35
Figura 28 – Empilhador utilizado na TRIDEC.....	37
Figura 29 – AGV STILL EXV 16 iGO.....	38
Figura 30 – Trajetos do AGV	40
Figura 31 – Percurso entre a Serra e o Armazém Intermédio	43
Figura 32 – Referências/Peças 619135, 619134 e 619136 (Guidance Support).....	45
Figura 33 – Esquema de montagem da referência 619135	46
Figura 34 – Passos 1 e 2 do Processo de Montagem do Guidance Support	48
Figura 35 - Passos 3 e 4 do Processo de Montagem do Guidance Support	48
Figura 36 – Esquema do Cobot.....	50
Figura 37 – Axle Mounting Frame 1200-100 e as suas referências/peças	55
Figura 38 – Bearing pin TF-VO	59
Figura 39 – A nova montagem feita na TRIDEC (LV-O).....	63
Figura 40 – Sequência de aperto de parafusos (de dentro para fora).....	64
Figura 41 – Garantir a Esquadria	65
Figura 42 – Segurança (não tocar no conjunto Parafuso+Porca assinalado)	65
Figura 43 – Uso da grua para auxiliar no processo	66
Figura 44 – Apertar os parafusos com o seu respetivo torque (neste caso 300 N.m)	66
Figura 45 – Marcar os parafusos a amarelo depois de apertados	67

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Características do empilhador.....	37
Tabela 2 - Características do AGV	39
Tabela 3 – Características das peças Guidance Support.....	45
Tabela 4 – Tempos de corte antes da análise.....	56
Tabela 5 – Tempos de corte após a análise	57
Tabela 6 – Tempos de maquinação antes e depois da análise (Bearing pin TF-VO)	60

LISTA DE ABREVIATURAS

AGV	Automated Guided Vehicle (Veículo Guiado Automaticamente)
BOM	Bill of Materials
CAD	Computer-aided Design (Desenho Assistido por Computador)
CAM	Computer-aided Manufacturing (Produção Auxiliada por Computador)
CNC	Computer Numerical Control (Controlo Numérico Computadorizado)
Cobot	Robô Colaborativo
CPS	Ciber-Physical Systems (Sistemas Ciberfísicos)
ERP	Enterprise Resource Planning
IA	Inteligência Artificial
IoT	Internet of Things
JOB	Ordem de Produção (termo usado pela TRIDEC)
RFID	Radio-Frequency Identification (Identificação por Radiofrequência)
ROI	Return of Investment (Retorno do Investimento)
TSU	Taxa Social Única
WSN	Wireless Sensor Networks (Redes de Sensores sem Fios)

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será descrito o enquadramento e os objetivos do estágio, assim como a estrutura do relatório.

O presente relatório foi elaborado no âmbito da unidade curricular Estágio, para conclusão do Mestrado em Engenharia e Gestão de Ativos Físicos no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, realizado na empresa TRIDEC - Sistemas Direcionais para Semi-Reboques, Lda. O estágio teve início em maio de 2024 e acabando em fevereiro de 2025.

1.1 Enquadramento

A automação de processos é um dos pilares da Indústria 4.0, permitindo a execução de tarefas de forma autónoma através da integração de máquinas, robôs e sistemas inteligentes. Tecnologias como Inteligência Artificial, Internet of Things (IoT) e computação em nuvem possibilitam uma operação interconectada e eficiente, substituindo ou complementando o trabalho humano para otimizar a produção e a gestão empresarial. Esta transformação digital não se restringe à manufatura, estendendo-se a setores administrativos e logísticos, onde a automação melhora a eficiência, reduz erros e promove a tomada de decisão baseada em dados. (TOTVS, 2025)

A adoção de processos automatizados tornou-se essencial para a competitividade empresarial, uma vez que o uso de tecnologias avançadas permite minimizar desperdícios, melhorar a qualidade e reduzir custos operacionais. A automação pode ser implementada de diferentes formas, como, por exemplo, na utilização de robôs colaborativos (Cobots) e veículos autónomos. Importa salientar que a automação não implica necessariamente a substituição da mão de obra humana, mas sim a sua valorização através da redistribuição de tarefas, permitindo que os trabalhadores se concentrem em funções de maior valor estratégico.

Ao longo dos últimos anos, a automação passou de uma vantagem competitiva para uma necessidade fundamental no mercado global. A sua implementação visa a melhoria contínua dos processos produtivos e administrativos, garantindo maior flexibilidade, produtividade e sustentabilidade. Com um planeamento adequado, as empresas podem tirar partido destas tecnologias para transformar os seus modelos operacionais, aumentando a sua capacidade de adaptação às exigências do setor e promovendo um maior crescimento.

1.2 Objetivos do Estágio

O estágio teve como objetivo geral proporcionar uma experiência prática aplicada no contexto real de uma unidade industrial, permitindo o desenvolvimento de competências adquiridas ao longo da formação académica. Esta experiência visou não só o contacto direto com os processos produtivos e tecnológicos da empresa, mas também a compreensão do seu funcionamento organizacional e da dinâmica inerente às atividades de engenharia e produção.

Os objetivos específicos definidos para o estágio centraram-se no:

- Estudo da viabilidade da implementação de projetos de automação;
- Análise de métodos e tempos de processos e tecnologias de produção;
- Suporte à elaboração de documentação técnica.

No decorrer do estágio foram desenvolvidos projetos e atividades de relevo, entre os quais se destacam o estudo de implementação de um AGV (Automated Guided Vehicle) e de um Cobot (Robô Colaborativo), ambos com o intuito de otimizar os fluxos produtivos e aumentar a eficiência operacional. Além disso, foi realizada uma análise detalhada de tempos de produção, envolvendo a contagem, atualização e avaliação dos mesmos, para a melhoria da produtividade. Adicionalmente, foi elaborada uma instrução de trabalho referente a uma nova montagem integrada no processo produtivo da TRIDEC.

1.3 Estrutura do Relatório

O presente relatório encontra-se dividido em 5 capítulos.

No capítulo 1, é feita uma introdução, descrevendo o enquadramento e os objetivos pretendidos durante o estágio.

No capítulo 2, apresenta-se uma revisão de literatura sobre os temas relevantes ligados aos projetos desenvolvidos durante o estágio.

No capítulo 3, é apresentada uma descrição geral da empresa. Começa com o enquadramento, depois a descrição de alguns dos principais produtos e, por fim, a estrutura organizacional da empresa, com destaque para os seus setores, o processo produtivo e o processo de negócio.

No capítulo 4, descrevem-se os projetos realizados na TRIDEC durante o estágio. Projetos esses relacionados com um AGV, um Cobot, a Análise de tempos de produção e a realização de uma Instrução de Trabalho.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões sobre os projetos e o trabalho desenvolvido na empresa.

Após todos os capítulos, são apresentadas as referências bibliográficas.

2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Neste Capítulo será apresentada uma revisão de literatura sobre os temas relevantes aos projetos desenvolvidos durante o estágio.

2.1 A Evolução da Indústria

2.1.1 Indústria 1.0

A Primeira Revolução Industrial ocorreu entre 1760 e 1860, principalmente em Inglaterra, e marcou a passagem da produção artesanal para a mecanizada. A invenção e o aperfeiçoamento da máquina a vapor por James Watt foram determinantes, impulsionando a mecanização da indústria têxtil e, posteriormente, de outros setores produtivos. (Sakurai & Zuchi, 2018)

O uso do carvão como fonte de energia e a introdução de máquinas como o tear mecânico permitiram um aumento notável da produtividade, enquanto reduziram custos e consolidaram o modelo fabril moderno. Surgiram as fábricas como novos centros de produção e, com elas, a classe operária urbana, formada por trabalhadores que migraram em massa do campo para as cidades industriais. (Pasquini, 2020)

Segundo Szeszák, Kerékjártó, Soltész, & Galambos (2025), esta revolução introduziu também o conceito de peças intercambiáveis, o que tornou possível a produção em série e a padronização de componentes – uma inovação que viria a ser essencial para a indústria moderna. A mecanização transformou a sociedade, trazendo ganhos de produtividade, mas também longas jornadas de trabalho e precariedade laboral.

2.1.2 Indústria 2.0

A Segunda Revolução Industrial teve início por volta de 1870 e prolongou-se até ao início do século XX, representando um novo salto no processo de industrialização mundial. Diferente da anterior, teve um alcance global, envolvendo não apenas a Inglaterra, mas também Estados Unidos, Alemanha, França, Itália, Japão e Rússia. (Pasquini, 2020)

O período foi marcado por inovações tecnológicas profundas e pela aplicação de novas fontes de energia, como a eletricidade e o motor de combustão interna, que substituíram gradualmente o vapor como principal força motriz das fábricas. A transformação do ferro em aço e o desenvolvimento da indústria química são processos que também fazem parte desta Revolução Industrial. (Pasquini, 2020)

De acordo com Sakurai & Zuchi (2018), esta fase foi caracterizada pela especialização do trabalho e pela criação de sistemas de produção em massa,

impulsionados pela introdução da linha de montagem de Henry Ford em 1914. Esse modelo, que se tornou o símbolo do Fordismo, permitiu reduzir custos, aumentar a produtividade e uniformizar os produtos industriais. A automação parcial das fábricas e a padronização dos processos também estimularam a formação de grandes corporações e o crescimento das economias capitalistas.

Segundo Szeszák, Kerékjártó, Soltész, & Galambos (2025), a Indústria 2.0 provocou transformações significativas na organização do trabalho. O trabalho nas fábricas tornou-se mais repetitivo e especializado, o que exigiu trabalhadores disciplinados e qualificados. Paralelamente, expandiu-se o número de empregos administrativos e técnicos, dando origem à classe média urbana.

Além disso, o avanço das comunicações e transportes – com o telégrafo sem fio, o rádio, as redes ferroviárias e os navios a vapor – encurtou distâncias e integrou os mercados internacionais (Pasquini, 2020). A economia passou a operar em escala global, consolidando-se o capitalismo industrial e financeiro e emergindo uma sociedade de consumo baseada na produção em série.

2.1.3 Indústria 3.0

A Terceira Revolução Industrial teve início entre as décadas de 1960 e 1970 e representou uma profunda transformação tecnológica, económica e social. Ao contrário das revoluções anteriores, impulsionadas pela mecanização e pela eletricidade, esta nova fase baseou-se no avanço da informática e da automação industrial, o que modificou radicalmente os sistemas produtivos e as relações de trabalho (Pasquini, 2020).

De acordo com Pasquini (2020), um dos marcos deste período foi o surgimento do controlador lógico programável, que possibilitou a programação digital de sistemas de automação, iniciando uma nova era na produção industrial. A automação, aliada à computação e à robótica, permitiu às fábricas alcançar maior precisão e eficiência, enquanto reduziu a necessidade de intervenção humana direta nos processos produtivos.

Segundo Sakurai & Zuchi (2018), a Indústria 3.0 foi impulsionada pela difusão da informática, robótica, telecomunicações e biotecnologia, o que permitiu a automação dos processos produtivos e a globalização das economias. Além disso, provocou mudanças significativas nas relações de trabalho, como a substituição gradual de mão-de-obra humana por máquinas e o consequente desemprego tecnológico, bem como o surgimento de uma maior consciência ambiental e de novas potências industriais.

Szeszák, Kerékjártó, Soltész, & Galambos (2025) observam que foi neste contexto que a automação e a digitalização começaram a redefinir o conceito de manufatura, com a introdução dos sistemas de Controlo Numérico Computadorizado (CNC) e dos robôs industriais. Estas tecnologias aumentaram a produtividade e a precisão

das fábricas, reduziram erros e custos operacionais e abriram caminho para a Indústria 4.0. no entanto, estas transformações também trouxeram desafios sociais e económicos, como a necessidade de adaptação da força de trabalho e a desigualdade tecnológica entre países.

A Terceira Revolução Industrial também teve consequências negativas, como o aumento do consumo energético e a intensificação dos impactos ambientais, incluindo a poluição e a emissão de gases de estufa. Mesmo assim, consolidou as bases tecnológicas que sustentam a atual era digital. (Mohajan, 2021)

2.1.4 Indústria 4.0

A Quarta Revolução Industrial constitui um marco na integração entre os mundos físico, digital e biológico, transformando profundamente os sistemas produtivos. O conceito foi oficialmente apresentado na Alemanha, em 2011, no âmbito de uma estratégia nacional voltada para reforçar a competitividade industrial através da digitalização e da automação avançada (Sakurai & Zuchi, 2018). Esta nova fase representa a continuidade evolutiva das revoluções industriais anteriores, consolidando um modelo produtivo flexível, interconectado e altamente eficiente.

De acordo com Sakurai & Zuchi (2018), a Indústria 4.0 caracteriza-se pela adoção de tecnologias como Internet of Things (IoT), Inteligência Artificial (IA) e Sistemas Ciberfísicos (CPS), que possibilitam a criação de fábricas inteligentes capazes de operar autonomamente, comunicarem tempo real e tomar decisões baseadas em dados. Esta interligação entre máquinas, sistemas e pessoas sustenta operações adaptativas e análises preditivas, oferecendo um ambiente produtivo mais preciso, ágil e orientado por dados.

Szeszák, Kerékjártó, Soltész, & Galambos (2025) reforçam que esta fase industrial introduz níveis inéditos de automação ao convergir robótica avançada e sistemas inteligentes. A combinação entre a alta conectividade, análise de dados e aprendizagem automática permite otimizar processos, reduzir erros e aumentar a personalização de produtos, conduzindo a sistemas produtivos altamente adaptáveis.

Complementando esta perspectiva, Kolasani (2024) destaca que a Indústria 4.0 tem um impacto significativo não só sobre a manufatura, mas também sobre economia global. A adoção destas tecnologias contribui para aumento da produtividade, redução de custos, melhoria da eficiência operacional e maior sustentabilidade. Fábricas que implementem estes sistemas tendem a tornar-se mais competitivas, abrindo novas oportunidades de negócio e gerando empregos em setores tecnológicos avançados. Contudo, a transformação também apresenta desafios relevantes, como os investimentos iniciais elevados, a necessidade de mão de obra altamente qualificada e a urgência de implementar medidas de segurança cibernética.

Assim, a Indústria 4.0 representa a fusão profunda entre tecnologias digitais e físicas, dando origem a ecossistemas industriais inteligentes e totalmente interligados. O seu

impacto transcende a produção, influenciando cadeias de valor, modelos económicos e a própria estrutura do trabalho. Trata-se de uma transformação estrutural que redefine a organização industrial e social, situando-se ao nível das grandes revoluções industriais que moldaram o desenvolvimento humano.

2.1.5 Indústria 5.0

A Quinta Revolução Industrial representa uma mudança estrutural no modelo produtivo ao colocar o ser humano no centro dos sistemas industriais. Em vez de privilegiar exclusivamente a automação e a eficiência, como ocorreu na Indústria 4.0, este novo paradigma promove a colaboração entre humanos e máquinas inteligentes, valorizando a criatividade e o pensamento crítico. O início formal da Indústria 5.0 ocorreu em janeiro de 2021, quando a Comissão Europeia publicou os princípios estratégicos desta nova abordagem industrial. (Szeszák, Kerékjártó, Soltész, & Galambos, 2025)

Um dos pilares centrais da Indústria 5.0 é a cooperação humano-máquina, operacionalizada através de tecnologias como cobots (robôs colaborativos), inteligência artificial e sistemas de apoio à decisão. As máquinas passam a assumir tarefas repetitivas e de elevada precisão, enquanto os seres humanos se concentram em atividades criativas e estratégicas. Esta complementaridade procura aumentar a produtividade sem desvalorizar o papel humano nos sistemas produtivos. (Islam, Sepanloo, Woo, Woo, & Son, 2025)

Outro elemento estruturante desta revolução é a integração da sustentabilidade nos processos industriais, com foco na economia circular, eficiência energética e redução de desperdícios. A Indústria 5.0 procura alinhar o progresso tecnológico com responsabilidade ambiental e social, recorrendo a tecnologias digitais para otimizar cadeias de abastecimento, promover a rastreabilidade de recursos e reforçar a resiliência dos sistemas produtivos. (Islam, Sepanloo, Woo, Woo, & Son, 2025)

Um aspeto adicional que caracteriza esta nova revolução é a crescente importância de requalificação profissional. A transição para ambientes altamente colaborativos entre humanos e máquinas exige novas competências digitais e analíticas, tornando o trabalhador um fator estratégico essencial para a competitividade das organizações. (Szeszák, Kerékjártó, Soltész, & Galambos, 2025)

2.2 A Digitalização da Indústria

2.2.1 Internet of Things (IoT)

A Internet of Things (IoT) é um paradigma tecnológico que permite a interligação de objetos físicos à internet, possibilitando a recolha, troca e processamento automático de dados entre dispositivos, sem necessidade de intervenção humana contínua. Estes objetos são equipados com sensores, atuadores, módulos de comunicação e identificadores únicos, o que lhes permite monitorizar o ambiente, tomar decisões básicas e comunicar com outros sistemas em tempo real. (Laghari, Wu, Laghari, Ali, & Khan, 2022)

A IoT baseia-se na integração de diferentes tecnologias, tais como sensores sem fios, Radio-Frequency Identification (RFID), redes de sensores sem fios (WSN), computação em nuvem e protocolos de comunicação. Estes componentes permitem que dispositivos heterogêneos recolham dados físicos (temperatura, localização, movimento, entre outros) e os transmitam para plataformas de processamento e análise, geralmente alojadas na nuvem. (Farooq, Waseem, Mazhar, Khairi, & Kamal, 2015)

A IoT é frequentemente organizada em camadas. Uma arquitetura típica inclui (Farooq, Waseem, Mazhar, Khairi, & Kamal, 2015):

- i. **Camada de codificação**, responsável pela identificação única dos objetos;
- ii. **Camada de perceção**, encarregue da recolha de dados através de sensores e dispositivos físicos;
- iii. **Camada de rede**, que assegura a transmissão de dados entre dispositivos e sistemas;
- iv. **Camada de middleware**, onde ocorre o armazenamento, processamento e tomada de decisões automáticas;
- v. **Camada de aplicação**, que disponibiliza os serviços ao utilizador final;
- vi. **Camada de negócio**, que supervisiona a gestão dos serviços, políticas, segurança e apoio à tomada de decisão.

Apesar deste modelo, Laghari, Wu, Laghari, Ali, & Khan (2022) destacam a inexistência de uma arquitetura universalmente padronizada, devido à diversidade de casos de uso e contextos de aplicação.

As aplicações da IoT abrangem múltiplos setores, como cidades inteligentes, saúde digital agricultura de precisão, veículos conectados, Indústria 4.0 e casas inteligentes. Em ambientes urbanos, por exemplo, a IoT é utilizada para gestão de tráfego, monitorização ambiental e otimização do consumo energético. Na área da saúde, dispositivos e sensores corporais permitem a monitorização contínua de parâmetros fisiológicos, contribuindo para diagnósticos mais precoces e cuidados personalizados. (Laghari, Wu, Laghari, Ali, & Khan, 2022)

Apesar dos benefícios, a IoT enfrenta desafios significativos, sobretudo ao nível da segurança e privacidade. A grande quantidade de dispositivos conectados amplia a superfície de ataque, tornando sistemas vulneráveis a acessos não autorizados, ataque a sensores e compromissos de infraestruturas em nuvem. (Farooq, Waseem, Mazhar, Khairi, & Kamal, 2015)

2.2.2 Inteligência Artificial (IA)

A Inteligência Artificial (IA) (Holmes & Tuomi, 2022) pode ser definida como um conjunto de sistemas computacionais capazes de realizar tarefas que, se executadas por seres humanos, exigiriam inteligência, tais como aprender, reconhecer padrões, tomar decisões e gerar conteúdos. Trata-se de uma área que integra ciência da computação, estatística, matemática e ciências cognitivas, com o objetivo de criar sistemas capazes de perceber o ambiente, interpretar dados e agir de forma autónoma ou semiautónoma.

Nos últimos anos, a IA tem evoluído significativamente com o avanço das abordagens baseadas em dados (data-driven AI), especialmente através de *machine learning* e *deep learning*. Estes modelos são treinados com grandes volumes de dados e ajustam os seus parâmetros de forma iterativa, procurando minimizar erros de previsão. Large Language Models (LLM – modelos de linguagem de larga escala), como os que suportam ferramentas de conversa, representam um marco importante nesta evolução, permitindo a geração autónoma de textos, vídeos, imagens e áudios. (Al Naqbi, Bahroun, & Ahmed, 2024)

A Inteligência Artificial Generativa (Al Naqbi, Bahroun, & Ahmed, 2024) constitui uma das vertentes mais disruptivas da IA atual. Ao contrário dos sistemas tradicionais, que se limitam a classificar ou prever, os sistemas generativos criam novos conteúdos de forma autónoma. Estes sistemas têm sido amplamente aplicados em setores como educação, saúde, indústria, administração pública e negócios, demonstrando um impacto crescente na produtividade do trabalho.

No domínio do trabalho e das organizações, a IA Generativa tem demonstrado capacidade para aumentar a produtividade, eduzir erros e apoiar decisões estratégicas. Esta vertente da IA contribui para a melhoria do desempenho em tarefas como análise de dados, atendimento ao cliente e criação de conteúdos, embora enfatizem a necessidade de um equilíbrio entre automação e preservação das competências humanas.

No contexto da educação (Holmes & Tuomi, 2022), a aplicação da IA é frequentemente designada por Artificial Intelligence in Education (AIED). Esta área tem como foco o desenvolvimento de sistemas inteligentes que apoiam processos de ensino e aprendizagem. Um dos exemplos mais comuns são os Intelligent Tutoring Systems (ITS), que fornecem instrução personalizada e adaptativa, ajustando o conteúdo com base no desempenho do estudante.

Apesar do seu potencial, os benefícios da IA na educação ainda não são totalmente consensuais. Embora existam evidências de ganhos de aprendizagem em contextos específicos, os resultados são por vezes ambíguos e dependentes do contexto, do nível prévio do estudante e do desenho pedagógico dos sistemas. Além disso, a IA tende a privilegiar a dimensão da qualificação, aquisição de conhecimentos mensuráveis, deixando para segundo plano dimensões essenciais da educação, como a socialização e o desenvolvimento do pensamento crítico.

2.2.3 Sistemas Ciberfísicos (CPS)

Os Sistemas Ciberfísicos (Cyber-Physical Systems - CPS) são sistemas que integram componentes computacionais com processos físicos, permitindo a monitorização, o controlo e a optimização de sistemas em tempo real. Estes sistemas estabelecem uma ligação direta entre o mundo físico e o digital, possibilitando maior automatização e inteligência nos processos produtivos, sendo considerados um dos pilares tecnológicos da Indústria 4.0. (Petroni, Jr., & Gonçalves, 2018)

A arquitetura dos CPS é composta por duas camadas principais:

- **Camada física**, que inclui máquinas, sensores e equipamentos industriais;
- **Camada cyber**, que engloba sistemas de tecnologia da informação, aplicações de controlo, bases de dados e sistemas de gestão.

A comunicação entre estas camadas ocorre através de sensores, responsáveis pela recolha de dados do ambiente físico, e de atuadores, que executam ações no mundo real, permitindo decisões em tempo real. (Petroni, Jr., & Gonçalves, 2018)

Um dos elementos centrais dos CPS é o gémeo digital (*digital twin*), que consiste numa representação virtual dos sistemas físicos. Este modelo permite simular cenários de operação, testar alterações do processo e prever falhas sem interferir diretamente na produção real, reduzindo custos operacionais e riscos. A utilização do gémeo digital torna os processos mais previsíveis, seguros e eficientes. (Petroni, Jr., & Gonçalves, 2018)

No contexto da Indústria 5.0 (Gohari, et al., 2024), os CPS evoluíram para sistemas mais avançados que incorporam inteligência artificial e aprendizagem automática, permitindo a adaptação autónoma dos processos. Em aplicações como a maquinação de materiais de difícil corte, os CPS permitem a monitorização do estado das ferramentas, o controlo dos parâmetros de corte e a optimização do desempenho produtivo, promovendo maior eficiência energética e sustentabilidade.

Deste modo, os CPS representam a base tecnológica para a transformação digital da indústria, ao possibilitarem a integração total entre sistemas físicos e digitais, a análise de grandes volumes de dados e a tomada de decisão em tempo real. Apesar dos seus

benefícios, ainda existem desafios relacionados com a segurança da informação, a privacidade dos dados e a necessidade de qualificação dos profissionais.

2.2.4 Veículos Guiados Automaticamente (AGV)

Os Veículos Guiados Automaticamente (Automated Guided Vehicles – AGV) constituem um elemento fundamental na automação logística contemporânea, integrando o conjunto de robôs de serviço destinados a operações profissionais, conforme definido pela ISO 8373:2012 e pela e pela Internacional Federation of Robotics, que os classificam entre os sistemas logísticos autônomos utilizados para executar tarefas úteis em ambientes industriais e não industriais. (Gonzalez-Aguirre, et al., 2021)

A transição para cadeias de abastecimento mais ágeis, influenciada pela filosofia do just-in-time, pela personalização em massa e pelo aumento da população e o crescimento do comércio eletrônico, acentuou a necessidade de soluções que garantam eficiência, previsibilidade e segurança na movimentação interna de materiais. Neste contexto, os AGVs assumem um papel fundamental ao automatizar operações de transporte, abastecimento e transferência de cargas dentro de armazéns e fábricas. (Ellithy, Salah, Fahim, & Shalaby, 2024)

Gonzalez-Aguirre, et al. (2021) descrevem os AGVs como veículos autônomos que comunicam com sistemas de controle centrais, permitindo deslocamentos precisos e seguros ao longo de percursos pré-definidos. O seu funcionamento assenta na integração de sensores, algoritmos de navegação, mapeamento do ambiente e planeamento de rotas, elementos que possibilitam uma operação contínua e fiável.

A incorporação destes veículos em ecossistemas Ciberfísicos permite uma coordenação estreita entre fluxos físicos e fluxos de informação, maximizando a eficiência dos processos logísticos e elevando o grau de automação dos armazéns inteligentes. (Ellithy, Salah, Fahim, & Shalaby, 2024)

Os benefícios associados aos AGVs incluem a redução do trabalho manual, a melhoria da segurança e a diminuição do esforço físico exigido aos trabalhadores. Estas vantagens alinham-se com as tendências identificadas no domínio dos robôs de serviço, onde se reconhece que tecnologias emergentes, como IA e análise de dados, impulsionam ganhos de produtividade e transformam modelos tradicionais de operação em múltiplos setores, incluindo a logística e a distribuição. (Gonzalez-Aguirre, et al., 2021)

Segundo Ellithy, Salah, Fahim, & Shalaby (2024), estudos recentes mostram que a integração dos AGVs com sistemas automáticos de armazenamento e tecnologias de identificação, como RFID, melhora substancialmente a rastreabilidade, a visibilidade do inventário e a eficiência dos processos de armazenamento e recolha.

Apesar dos seus benefícios, persistem desafios significativos. Destacam-se o investimento inicial elevado, a necessidade de integração com sistemas informáticos complexos, a dependência de layouts estruturados e a exigência de algoritmos de navegação mais robustos e adaptáveis. (Gonzalez-Aguirre, et al., 2021)

Em relação aos armazéns automatizados, Ellithy, Salah, Fahim, & Shalaby (2024) referem a necessidade de aumentar a flexibilidade dos AGVs, de forma a permitir uma adaptação mais rápida a variações no fluxo de trabalho e às exigências crescentes de personalização e rapidez de respostas.

2.2.5 Robôs Colaborativos (Cobots)

Os Robôs Colaborativos (Cobots) (Keshvarparast, Battini, Battaia, & Pirayesh, 2023) surgem como uma inovação disruptiva no âmbito da Indústria 4.0, permitindo uma interação segura e eficiente entre humanos e máquinas num espaço partilhado. Ao contrário dos robôs industriais tradicionais, que operam isolados e exigem barreiras de segurança, os cobots são projetados para trabalhar em proximidade direta com os operadores humanos, aproveitando o melhor de ambos os mundos: a inteligência, flexibilidade e criatividade humanas combinadas com a precisão e consistência robótica. Este modelo colaborativo contribui significativamente para o aumento da produtividade e para a melhoria das condições ergonómicas dos trabalhadores.

Segundo Weiss, Wortmeier, & Kubicek (2021), a introdução dos Cobots está ligada à transformação dos sistemas produtivos impulsionada pela Indústria 4.0, a qual promove a integração de sensores, sistemas ciberfísicos e automação avançada, permitindo maior flexibilidade e personalização nos processos industriais. Estes autores destacam ainda que os Cobots se diferenciam da automação tradicional, uma vez que deixam de ser meros executores de tarefas predefinidas e passam a integrar arranjos sociotécnicos complexos, nos quais humanos e não humanos (máquinas, sensores, softwares) partilham o controlo e a responsabilidade.

Os Cobots têm como características (Keshvarparast, Battini, Battaia, & Pirayesh, 2023) (Weiss, Wortmeier, & Kubicek, 2021):

- **Segurança integrada** – operam a velocidades moderadas, possuem sensores e sistemas de deteção de objetos que evitam colisões, permitindo a interação com humanos sem recurso a barreiras físicas;
- **Programação simples** – são concebidos para serem facilmente programados através de interfaces intuitivas;
- **Flexibilidade e mobilidade** – tornam possível a rápida reconfiguração de postos de trabalho e a adaptação a diferentes produtos;

- **Orientação colaborativa** – foram desenhados para cooperar com humanos e não para os substituir.

Do ponto de vista operacional, os Cobots podem colaborar com humanos em diferentes cenários, como descrito por Keshvarparast, Battini, Battaia, & Pirayesh (2023). Esses cenários são:

- **Independente**, ou seja, trabalham em paralelo;
- **Sequencial**, onde realizam tarefas seguidas no mesmo produto;
- **Simultâneo**, atuando em paralelo sobre o mesmo produto;
- **Apoio direto**, em que o Cobot e o humano atuam fisicamente sobre a mesma tarefa.

Weiss, Wortmeier, & Kubicek (2021) salientam que a adoção de Cobots envolve mais do que melhorias técnicas, exigindo compreender como estes sistemas afetam a organização do trabalho, a coordenação de tarefas e a distribuição de responsabilidades entre humanos e robôs.

Desta forma, os Cobots tornam-se elementos fundamentais das equipas de trabalho no futuro, influenciando as práticas laborais, as competências necessárias para trabalhar com eles e os modelos organizacionais.

2.3 O Lean e a Indústria 4.0

2.3.1 Lean Manufacturing

Lean Manufacturing constitui uma filosofia de gestão operacional orientada para a eliminação sistemática de desperdícios. A sua origem está associada ao Toyota Production System (TPS), que consolidou técnicas e princípios destinados a criar fluxos contínuos, reduzir variabilidade e melhorar a eficiência dos processos produtivos. Como referem Powell, Strandhagen, Tommelein, Ballard, & Rossi (2014), Lean deve ser entendido como uma filosofia e um conjunto de ferramentas e técnicas que visa identificar e eliminar todos os desperdícios nas operações de fabrico.

A fundamentação contemporânea de Lean é frequentemente sintetizada nos cinco princípios fundamentais descritos por Womack & Jones (2003):

1. **Especificar o valor** segundo a perspetiva do cliente;
2. **Identificar o fluxo de valor**, que engloba todas as ações necessárias para fazer chegar um produto ao cliente;
3. **Criar fluxo contínuo**, fazendo com que fluam as etapas que criam valor;

4. **Implementar o sistema Pull**, produzindo apenas aquilo que é necessário;
5. **Perseguir a perfeição**, eliminando todos os desperdícios e criando valor ao produto.

Estes princípios definem uma abordagem estruturada para transformar organizações, permitindo reduzir tempos de produção, minimizar inventários e aumentar a qualidade operacional.

Em termos práticos, Lean Manufacturing operacionaliza-se através de um conjunto de ferramentas e métodos que suportam a eliminação de atividades que não agregam valor. Segundo Sundar, Balaji, & Kumar (2014), técnicas como Value Stream Mapping (VSM), Cellular Manufacturing e Single Minute Exchange of Dies (SMED) constituem elementos essenciais para estruturar a melhoria contínua e criar sistemas produtivos alinhados com a procura real do cliente. Estas técnicas possibilitam a distinção entre atividades de valor acrescentado e de atividades que não acrescentam valor, facilitando a identificação de desperdícios.

A melhoria contínua constitui um elemento central da Lean Manufacturing. Sundar, Balaji, & Kumar (2014) consideram que esta melhoria envolve o desenvolvimento de competências, a resolução sistemática de problemas, o reforço da estabilidade dos processos e a criação de sistemas de trabalho que sirvam de base a ciclos contínuos de aperfeiçoamento.

Womack & Jones (2003) reforçam que a perfeição nunca é totalmente atingida, uma vez que é um objetivo que orienta as empresas para ciclos sucessivos de redução de desperdícios, aumento de qualidade e otimização do fluxo de valor.

2.3.2 Lean na Indústria 4.0

A relação entre Lean Manufacturing e Indústria 4.0 tem revelado um movimento de convergência entre filosofia organizacional e transformação digital. Lean Manufacturing assenta na eliminação de desperdícios, na definição de fluxo contínuo e na padronização de processos. Todavia, a implementação eficaz destas práticas encontra frequentemente barreiras relacionadas com a falta de integração de dados, dificuldade de monitorização em tempo real e ausência de previsibilidade operacional. (Medynski, et al., 2023)

É neste ponto que a Indústria 4.0 surge como elemento complementar. As tecnologias digitais, como IoT e Sistemas Ciberfísicos, proporcionam condições para ultrapassar as limitações tradicionais dos sistemas Lean. Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg (2016) demonstram que atividades de investigação associadas à digitalização funcionam como fatores que ajudam na implementação Lean, permitindo uma boa integração de dados, fluxos de informação em tempo real e uma tomada de decisão mais rápida e fundamentada.

A digitalização de ferramentas Lean constitui outro vetor importante desta complementaridade. Um exemplo relevante é apresentado por Medynski et al. (2023), que analisam a aplicação do sistema e-Lean desenvolvido para digitalizar ferramentas como o TPM (Total Productive Maintenance). Durante a implementação industrial observou-se redução significativa dos tempos de inspeção dos equipamentos, bem como maior padronização dos procedimentos, indicando que a digitalização não só suporta a filosofia Lean, mas aumenta a sua consistência operacional. A capacidade de recolher, tratar e interpretar dados em tempo real permite identificar anomalias de forma antecipada e prevenir falhas, reforçando a orientação Lean para a estabilidade dos processos e redução de desperdícios.

Outros estudos em contexto industrial também reforçam a tendência para a utilização combinada de Lean e Indústria 4.0. Marinelli, Deshmukh, Janardhanan, & Nielsen (2021), através de um inquérito a empresas que já adotaram ambas as abordagens, identificam combinações de grande importância, tais como análise avançada de dados para suportar melhoria contínua, robótica colaborativa aliada à padronização do trabalho e algoritmos preditivos integrados em TPM. Embora o impacto positivo do Lean seja amplamente reconhecido pelos inquiridos, os autores destacam que o efeito das tecnologias da Indústria 4.0 ainda não é plenamente percebido de forma uniforme, sugerindo que o grau de maturidade organizacional desempenha um papel determinante nos resultados alcançados.

Assim, Lean e Indústria 4.0 não devem ser entendidas como abordagens independentes ou concorrentes, uma vez que evidenciam um carácter sinérgico e complementar, onde o Lean fornece a base estrutural e disciplinar para a implementação eficaz de tecnologias digitais e a Indústria 4.0 expande as capacidades Lean aumentando a capacidade de resposta e a prevenção de falhas.

3 A EMPRESA: TRIDEC

Neste capítulo será apresentada uma descrição geral da empresa. A abordagem começa com o enquadramento, onde se dá a conhecer a sua história e o grupo empresarial a que pertence. Segue-se a descrição de alguns dos principais produtos e, por fim, é apresentada a estrutura organizacional da empresa, com destaque para os seus setores, o processo produtivo e o processo de negócio.

3.1 Enquadramento

A TRIDEC é uma empresa composta pela Transport Industry Development Centre, B.V. (TRIDEC Holanda) e pela TRIDEC - Sistemas Direcionais para Semi-Reboques, Lda. (TRIDEC Portugal), tendo atualmente cerca de 200 colaboradores.

A TRIDEC Holanda (Figura 1) nasceu em 1990, em Son na Holanda, com o objetivo de criar soluções inovadoras em sistemas de direção e suspensões especiais para o setor de transporte de mercadorias. Em 1993, a empresa já marcava presença nas principais feiras de transporte na Europa e, com seu o rápido crescimento, expandiu-se para Portugal em 2001, onde estabeleceu a TRIDEC Portugal (Figura 2), no Núcleo Industrial de Murte, Mealhada, Coimbra, consolidando a sua presença no mercado europeu.



Figura 1 - Complexo Industrial da TRIDEC Holanda



Figura 2 - Complexo Industrial TRIDEC Portugal

Em 2008, a empresa foi adquirida pelo Grupo JOST, que sendo líder mundial na produção de sistemas, módulos e componentes para veículos comerciais, ampliou as possibilidades de desenvolvimento e atuação da TRIDEC.

A JOST é uma empresa alemã fundada em 1952 que tem sede em Neu-Isenberg, Frankfurt. Desde a sua criação, a JOST foi-se expandindo internacionalmente, estabelecendo unidades de produção e escritórios de vendas em mais de 20 países nos cinco continentes. A empresa é reconhecida por fornecer produtos de alta qualidade e fiabilidade, mantendo um compromisso contínuo com a inovação.

Além da TRIDEC, a Quicke, a Rockinger e a Hyva também fazem parte do Grupo JOST.

- A **JOST** faz produtos para Camião e Reboque, equipamentos para Contentores e Transporte Intermodal e Sistemas de eixo. Na Figura 3 estão os produtos mais conhecidos fabricados pela JOST:



Figura 3 - Fifth Wheel Couplings, King Pins e Turntable bearings

- A **Quicke** produz Carregadores Frontais e os seus Implementos (Figura 4). A Quicke é amplamente reconhecida pelo seu trabalho no desenvolvimento e produção de carregadores frontais e implementos de alta qualidade, adaptados a diversas atividades. No entanto, é no setor agrícola que a marca se destaca com maior relevância e notoriedade. A empresa faz parte da JOST desde 2020.



Figura 4 – Carregadores Frontais e Implementos

- A **Rockinger** fabrica uma ampla variedade de componentes para reboques, com especialização em produtos desenvolvidos especificamente para os setores agrícola e florestal (Figura 5). A empresa faz parte da JOST desde 2001.

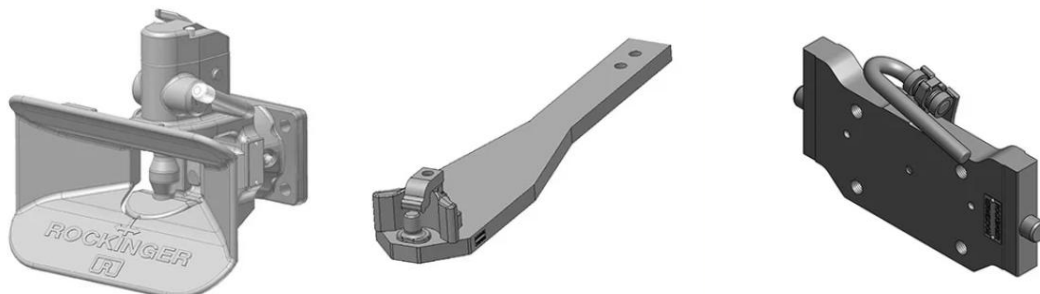


Figura 5 - Towing Hitch, Drawbar e Hitch Support

- A **Hyva** é uma referência no desenvolvimento e fabricação de soluções hidráulicas avançadas para veículos comerciais e aplicações industriais. A sua gama de produtos abrange cilindros hidráulicos, sistemas de elevação e equipamentos para movimentação de carga (Figura 6). Mas é no setor dos transportes e no setor da construção que a empresa se afirma com maior reconhecimento. A empresa faz parte da JOST desde o início do ano de 2025.



Figura 6 - Front-End Cylinders, Underbody Cylinders e Truck-Mounted Cranes

3.2 Produtos

Os produtos da TRIDEC enquadram-se num nicho de mercado no sector da indústria de transporte. São essencialmente desenvolvidos para o segmento do transporte especial e destacam-se pela elevada capacidade que a empresa tem de os adaptar às necessidades específicas de cada cliente, tornando-se muitas vezes em produtos únicos.

A TRIDEC desenvolve e produz sistemas direcionais mecânicos, hidráulicos e eletrônicos, bem como suspensões especiais de rodas e eixos para reboques de viaturas pesadas, independentemente do fabricante do eixo ou reboque. Com mais de 80.000 sistemas por todo o mundo, é líder de mercado.

Os seus produtos inovadores contribuem para a eficiência dos veículos, ou seja, para além da poupança de custo significativo, os sistemas são altamente sustentáveis, reduzindo o consumo de combustível, desgaste dos pneus, CO₂, gás de efeito de estufa e emissão de partículas.

A sede da TRIDEC permanece na Holanda, mas a produção e montagem dos seus produtos, com altos padrões de qualidade, acontece em Portugal.

A Figura 7 apresenta a gama de produtos fabricados pela TRIDEC:

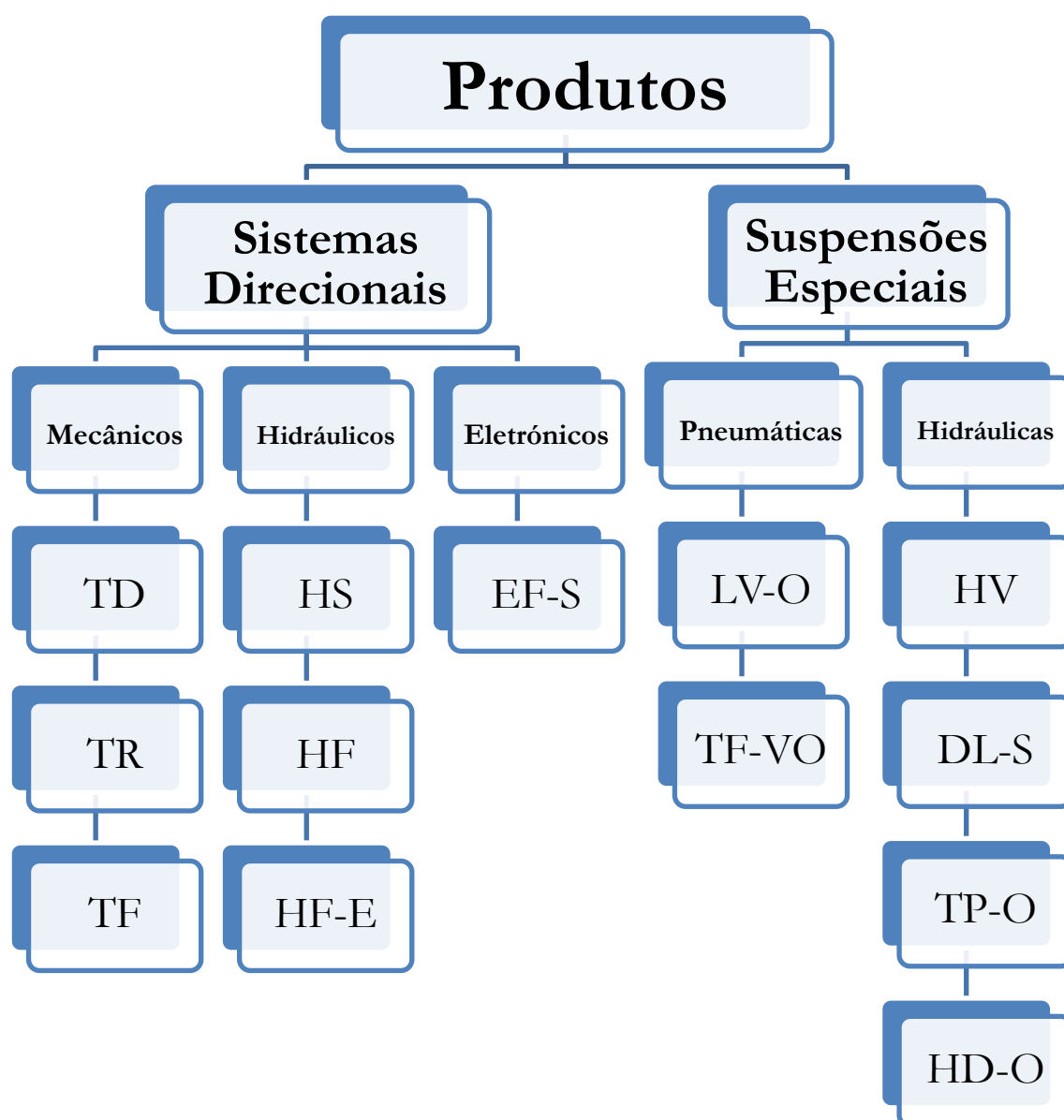


Figura 7 – Produtos da TRIDEC

Estes produtos oferecem vários benefícios tais como:

➤ **Direção Segura**

Os sistemas de direção TRIDEC oferecem controlo total e a máxima segurança nas curvas. Compreendem perfeitamente os desafios existentes: destinos mais difíceis de alcançar, trânsito intenso, áreas urbanizadas e o crescente número de rotundas. Estas soluções inovadoras e robustas fazem da TRIDEC o líder de mercado em sistemas de direção.

➤ **Fiabilidade Comprovada**

Os sistemas TRIDEC acumulam anos de experiência em diversas aplicações e nas mais variadas condições de estrada e clima. São fabricados na Europa, cumprindo os mais exigentes padrões de qualidade, garantindo uma fiabilidade incomparável. Além disso, em caso de avaria inesperada, são fáceis de reparar.

➤ **Redução de Custos**

Destinos anteriormente inacessíveis podem agora ser alcançados com cargas maiores. A redução do número de viagens diminui significativamente os custos. A melhoria na manobrabilidade também reduz o consumo de combustível e o desgaste dos pneus.

➤ **Soluções Personalizadas**

Cada combinação de camião e reboque é única. A TRIDEC dispõe de conhecimento especializado e anos de experiência para produzir soluções personalizadas. Os seus sistemas são modulares, oferecendo uma solução para qualquer tipo de reboque. Ao trabalhar em estreita colaboração com cada cliente, garantem uma boa abordagem colaborativa e, por isso, resultados excelentes.

Ou seja, as suas vantagens são Redução de custos, otimização da manobrabilidade, raios de viragem mais reduzidos, menor desgaste dos pneus, redução do consumo de combustível, aumento da capacidade de carga, maior segurança e soluções personalizadas.

3.2.1 Sistemas Direcionais Mecânicos

Estes sistemas permitem uma maior facilidade de manobra do veículo, resultando numa poupança significativa de tempo e combustível. Ao mesmo tempo, contribui para a diminuição do desgaste dos pneus. Graças a esta tecnologia, é agora possível aceder a locais anteriormente difíceis, transportando cargas de maior dimensão. Assim, estes sistemas podem representar uma economia de até 30% e proporcionam uma experiência de condução mais confortável.

A necessidade de manutenção é muito reduzida, limitando-se essencialmente à lubrificação ocasional das turntables e inspeções visuais regulares. Muitos dos pontos de articulação utilizam rolamentos patenteados “selados para toda a vida”. Além

disso, a maioria das ligações aparafusadas recorre a parafusos estriados especiais da TRIDEC, concebidos para evitar que se soltem com o tempo.

Entre os sistemas direcionais mecânicos produzidos pela TRIDEC, destaca-se o TD, uma vez que foi concebido para controlar a direção de um ou dois eixos em reboques utilizados para a distribuição. Graças à sua estrutura económica, montagem simples, versatilidade de utilização e manutenção reduzida, é o sistema de direção mais vendido (Figuras 8 a 10).



Figura 8 - Sistema Direcional Mecânico TD (Product Overview, TRIDEC, 2024)



Figura 9 - Exemplo de um camião equipado com o Sistema Direcional Mecânico TD (Product Information, TRIDEC, 2023)

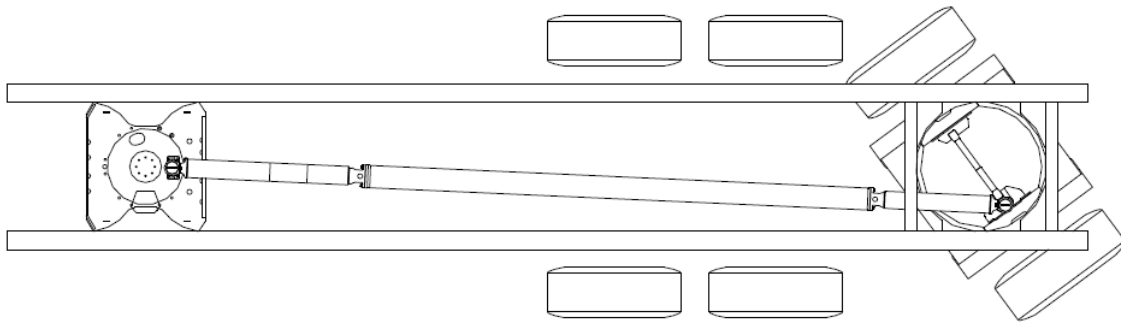


Figura 10 - Esquema dos eixos e da quinta roda de um Sistema Direcional Mecânico TD (Product Information, TRIDEC, 2023)

3.2.2 Sistemas Direcionais Hidráulicos

Os sistemas de direção hidráulica da TRIDEC são especialmente indicados para veículos de grandes dimensões, sendo muitas vezes essenciais para cumprir requisitos legais. São ideais para reboques extensíveis, pois dispensam ligação mecânica entre a quinta roda e o eixo, permitindo maior liberdade de design. A sua manutenção é mínima, sendo praticamente igual à dos Sistemas Mecânicos.

O sistema hidráulico HF, em particular, é amplamente utilizado em reboques de distribuição de combustível ou de mercadorias a granel, por exemplo. Este sistema dirige um único eixo com pivô central (kingpin), ocupa pouco espaço e é compatível com reboques de plataforma baixa. Além de melhorar a manobrabilidade, o sistema HF reduz o desgaste dos pneus e aumenta a eficiência (Figuras 11 a 13).

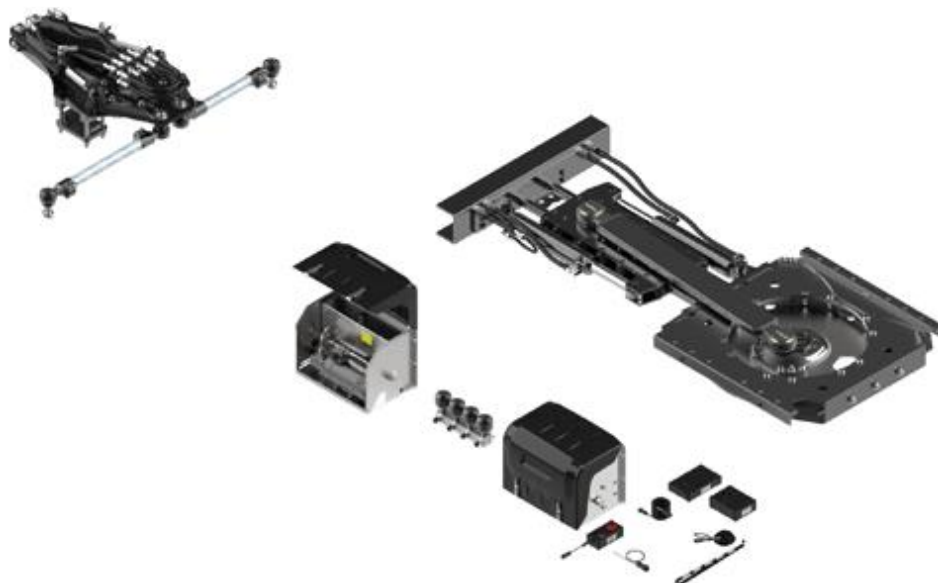


Figura 11 - Sistema Direcional Hidráulico HF (Product Overview, TRIDEC, 2024)



Figura 12 - Exemplo de um camião equipado com o Sistema Direcional Hidráulico HF (Product Information, TRIDEC, 2023)

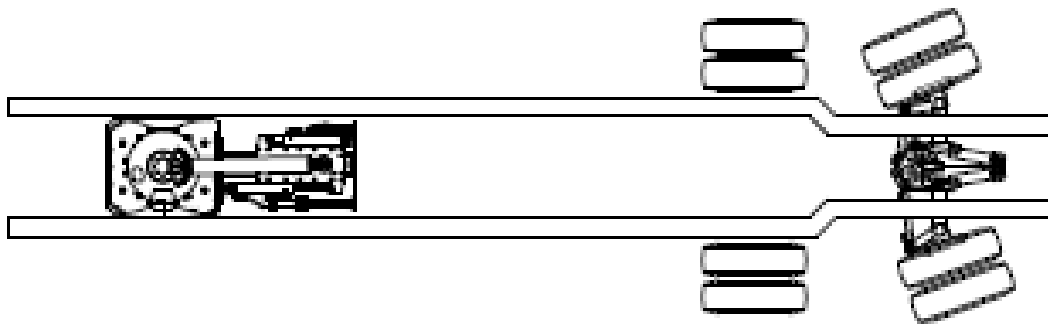


Figura 13 - Esquema dos eixos e da quinta roda de um Sistema Direcional Hidráulico HF (Product Information, TRIDEC, 2023)

3.2.3 Sistemas Direcionais Eletrônicos

O Sistema de direção EF-S da TRIDEC foi desenvolvido para ser instalado em reboques com pescoços particularmente baixos, como é o caso de cisternas de leite ou reboques para transporte de produtos a granel.

Com um design leve, que ocupa pouco espaço e de fácil instalação, este sistema é também ideal para reboques de plataforma baixa. Permite a direção de até três eixos com pivô central (kingpin), sendo que o ângulo de viragem pode ser ajustado conforme o espaço disponível e o nível de manobrabilidade exigido.

Altamente sensível aos movimentos do volante, o sistema EF-S responde de forma imediata, acompanhando com fluidez o movimento do camião e evitando danos estruturais. Durante a condução em linha reta ou a altas velocidades, as rodas

mantêm-se bloqueadas na posição central, assegurando uma posição estável e segura (Figuras 14 a 16).

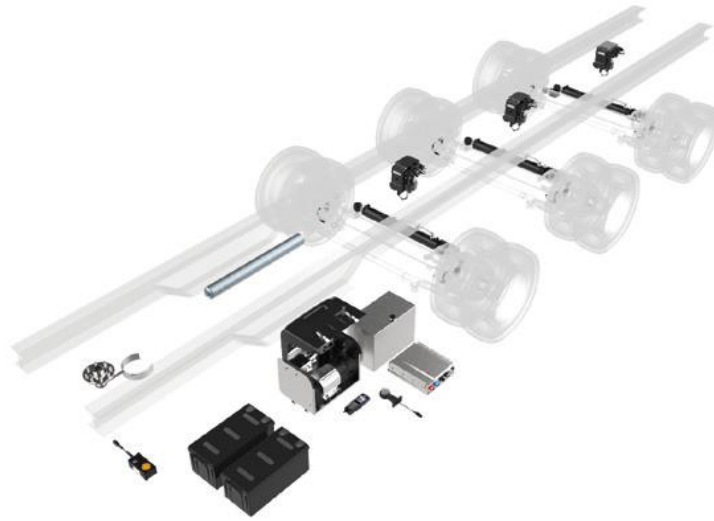


Figura 14 - Sistema Direcional Eletrónico EF-S (Product Overview, TRIDEC, 2024)



Figura 15 - Exemplo de um camião equipado com o Sistema Direcional Eletrónico EF-S (Product Information, TRIDEC, 2023)

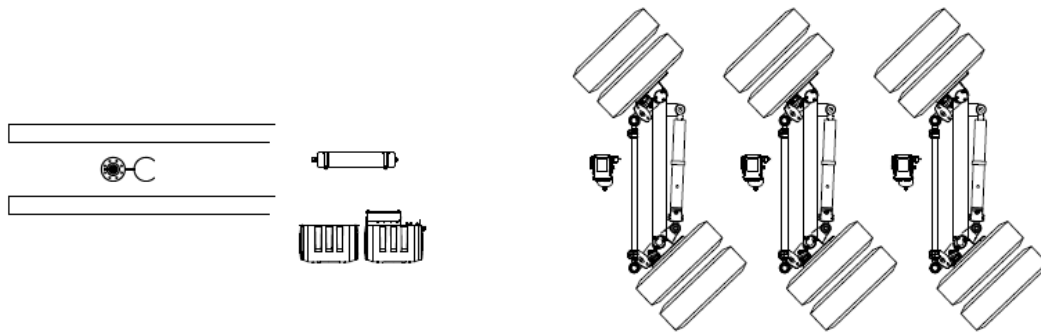


Figura 16 - Esquema dos eixos e da quinta roda de um Sistema Direcional Eletrônico EF-S (Product Information, TRIDEC, 2023)

3.2.4 Suspensões Especiais

As suspensões especiais da TRIDEC são concebidas para uma ampla variedade de aplicações, desde reboques de grande capacidade até veículos que transportam cargas muito pesadas. Caracterizam-se pela sua fácil montagem, baixa necessidade de manutenção e elevado nível de estabilidade durante a condução.

Estas suspensões dividem-se em duas categorias:

- As suspensões pneumáticas independentes da TRIDEC maximizam o espaço útil do reboque, já que eliminam a presença de um eixo entre rodas.
- As suspensões hidráulicas foram desenhadas para aplicações exigentes, tanto em estrada como fora de estrada, estando preparadas para suportar cargas muito pesadas.

Suspensões Pneumáticas

Uma das suspensões pneumáticas fabricada na TRIDEC é a suspensão independente de rodas LV-O, que foi desenvolvida para maximizar o espaço de carga nos reboques. Ao otimizar a zona em redor das rodas, permite aumentar a capacidade de carga em 60% quando utilizada com um segundo piso. Esta solução reduz significativamente o número de viagens necessárias, uma vez que dois reboques com dois pisos podem transportar o mesmo volume de mercadoria que três reboques tradicionais. Assim, torna-se uma alternativa de transporte mais ecológica e económica (Figuras 17 a 19).



Figura 17 - Suspensão LV-O (Product Overview, TRIDEC, 2024)



Figura 18 - Exemplo de um camião equipado com Suspensões Pneumáticas LV-O (Product Information, TRIDEC, 2023)



Figura 19 - Esquema dos eixos traseiros equipados com Suspensões Pneumáticas LV-O (Product Information, TRIDEC, 2023)

Outro exemplo é a suspensão pneumática independente direcionável TF-VO, que junta uma tecnologia de suspensão pneumática avançada a um sistema de direção mecânico resistente. Esta combinação permite que o reboque mantenha uma excelente capacidade de manobra, enquanto possibilita o aproveitamento de espaço extra coma integração de um segundo piso de carga, tal como acontece no LV-O.

O sistema TF-VO tem-se destacado no setor da distribuição, onde muitos operadores já beneficiam das suas vantagens, nomeadamente o aumento da capacidade de carga e a facilidade de acesso a zonas urbanas, resultando em ganhos económicos significativos (Figuras 20 a 22).



Figura 20 - Suspensão TF-VO. (Product Information, TRIDEC, 2023)



Figura 21 - Exemplo de um camião equipado com Suspensões Pneumáticas TF-VO (Product Information, TRIDEC, 2023)

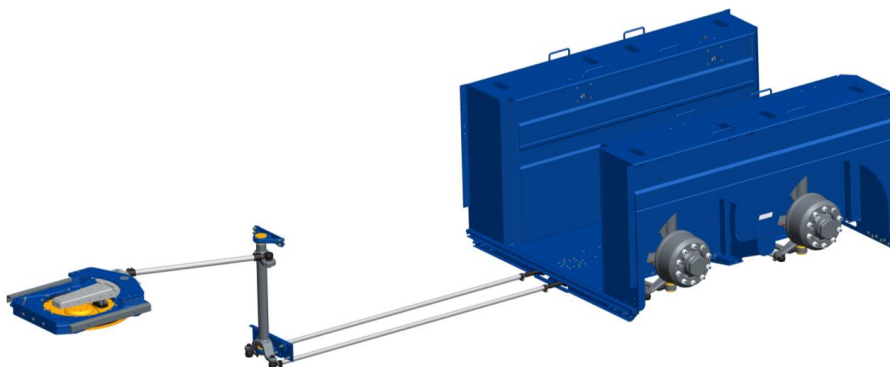


Figura 22 - Esquema da quinta roda e dos eixos equipados com Suspensões Pneumáticas TF-VO (Product Information, TRIDEC, 2023)

Suspensões hidráulicas

O sistema de suspensão TP-O da TRIDEC foi desenvolvido para operações de transporte extremo, como o transporte de secções de pontes, maquinaria pesada ou veículos militares. Trata-se de uma suspensão ideal para reboques especiais com várias linhas de eixos, onde são exigidos elevados níveis de capacidade, curso de suspensão e estabilidade (Figuras 23 a 25).

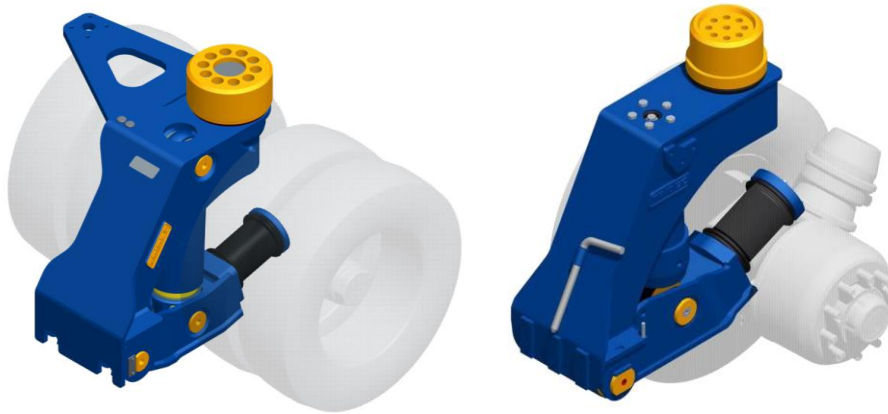


Figura 23 - Sistema de Suspensão Hidráulica TP-O (Product Information, TRIDEC, 2023)



Figura 24 - Exemplo de um camião equipado com o Sistema de Suspensão Hidráulica TP-O (Product Information, TRIDEC, 2023)



Figura 25 - Esquema dos eixos e da quinta roda de um Sistema Suspensão Hidráulica TP-O (Product Overview, TRIDEC, 2024)

3.3 TRIDEC Portugal

3.3.1 Organização

A TRIDEC Portugal está dividida em vários Departamentos. Cada Departamento tem o seu responsável e estão divididos entre duas Direções, a Direção Operacional e a Direção Administrativa e Financeira. Cada uma destas Direções também tem o seu responsável, sendo que acima destes está o CEO da empresa.

As atividades realizadas ao longo do estágio feito na empresa foram desenvolvidas no Departamento de Engenharia.

É no Departamento de Engenharia que tem início o processo produtivo da TRIDEC. Este Departamento é responsável pela criação de novos BOMs (Bill of Materials), pelo desenvolvimento de programas CAD/CAM (Computer-aided Design / Computer-aided Manufacturing), pela definição de novos processos produtivos e pela melhoria continua dos processos já existentes, com foco na eficiência financeira e na melhoria da qualidade.

Além disso, o Departamento de Engenharia, em colaboração com o Departamento de Qualidade, presta apoio na resolução de problemas identificados ao longo da produção, contribuindo para garantir a eficácia e a fiabilidade do processo produtivo, ajudando também, deste modo, o Departamento da Produção.

A Figura 26 apresenta a organização dos departamentos da TRIDEC:

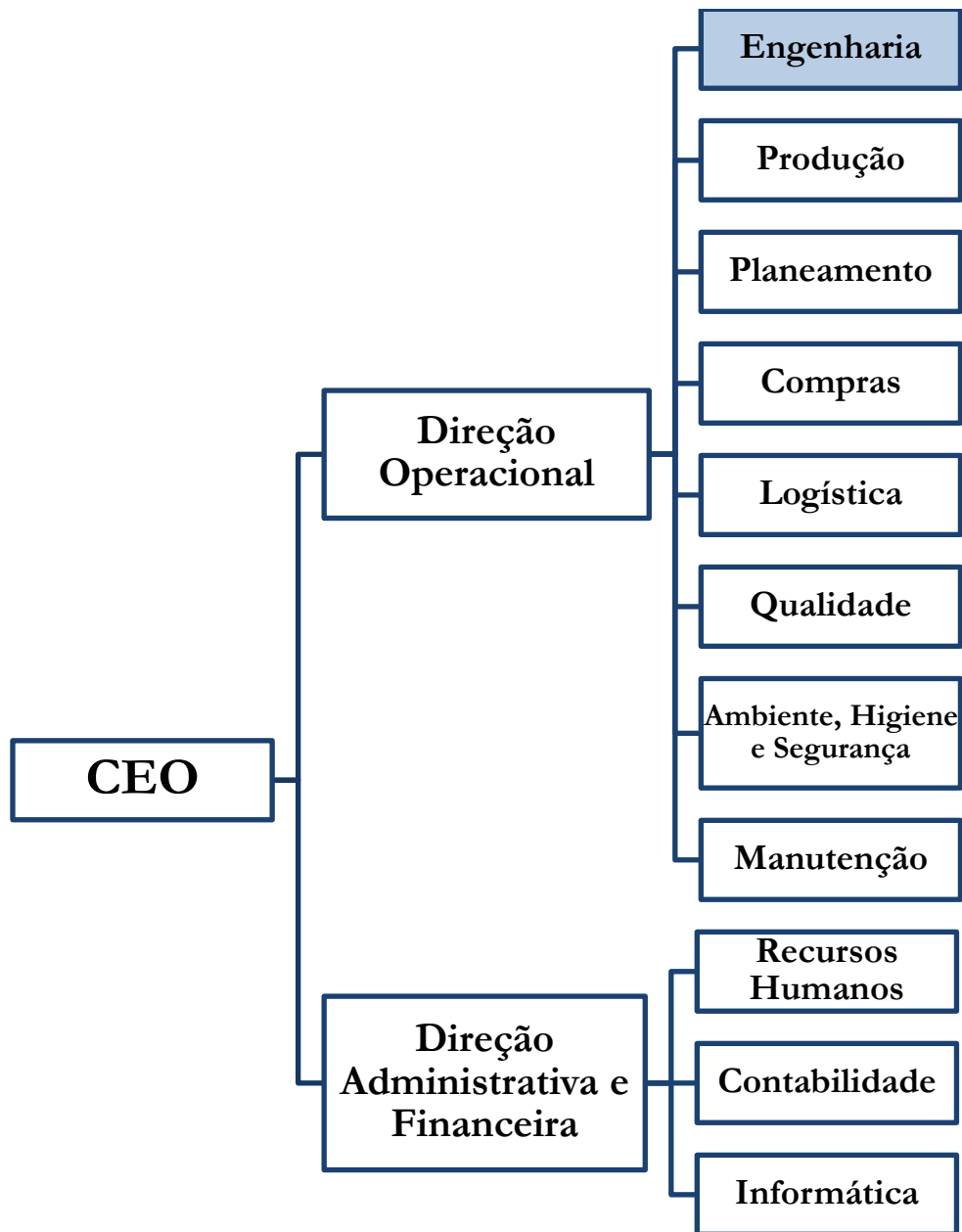


Figura 26 - Organização da TRIDEC Portugal

3.3.2 Processo Produtivo, Processo de Negócio e ERP

A TRIDEC tem como principal objetivo a produção de componentes para sistemas de direção utilizados em camiões, sendo que a montagem e expedição destes produtos é realizada na TRIDEC Portugal. Este processo envolve um elevado grau de complexidade no planeamento, devido à grande variedade de referências existentes e à diversidade de sequências de fabrico associadas a cada produto.

Dada a quantidade significativa de jobs em curso e de encomendas a processar semanalmente, o chão de fábrica encontra-se dividida em seis áreas operacionais (Departamento da Produção):

- Corte e preparação;
- Soldadura;
- Maquinação;
- Controlo de qualidade;
- Montagem;
- Armazém.

Todo o processo tem início na TRIDEC Holanda, onde são registadas as encomendas dos clientes. A partir daí são verificadas as quantidades necessárias, revistos ou criados os desenhos técnicos e definida a data de entrega. O departamento de Planeamento lança então uma ordem de compra no sistema Epicor (ERP – Enterprise Resource Planning), sendo neste momento discutidos todos os parâmetros relevantes da encomenda.

De seguida, é verificada a existência do BOM (Bill of Materials) do produto no sistema, que detalha a sequência de operações e os materiais necessários à produção, dividindo a produção pelas várias secções da fábrica. Cada *job* inclui operações específicas, materiais a utilizar, tempos de execução, desenhos CAD/CAM e planos de controlo de qualidade, sempre que aplicável.

Após a criação dos *jobs*, estes são impressos e distribuídos por cada secção produtiva, facilitando a calendarização e a organização de trabalho. Cada setor tem um responsável, ou “team leader”, que coordena os trabalhos e supervisiona a sua equipa.

Muitas das peças têm início na área de Corte e preparação, ou chegam através de ordens de compra externas. A partir daí, seguem para as secções de soldadura ou maquinação, sendo que a maioria passa primeiro pela soldadura, que pode ser realizada manualmente ou por robôs. Assim, a maquinação depende em parte da soldadura, o que pode causar alterações no planeamento caso ocorram atrasos.

Durante o processo de fabrico das peças, as mesmas vão sendo controladas pelo departamento da Qualidade. Se houver uma não-conformidade, as peças ou são retrabalhadas ou seguem para sucata.

Com a produção concluída, as peças seguem para montagem, mas algumas ainda são preparadas para levarem um tratamento superficial (galvanização ou pintura KTL), para se garantir proteção contra a corrosão.

Por fim, quando se conclui a montagem, os produtos finais passam por uma última inspeção de qualidade, seguindo depois para o armazém ou logo para expedição.

A TRIDEC utiliza o sistema ERP Epicor tanto em Portugal como na Holanda, permitindo a partilha e o acesso contínuo à informação entre ambas as unidades, sem interrupções ou perdas de dados. O Epicor é um software empresarial

desenvolvido pela empresa americana Epicor Software Corporation, fundada em 1972, sendo direcionado para os setores da indústria, distribuição e serviços.

4 TRABALHO DESENVOLVIDO

Neste capítulo será descrito o trabalho desenvolvido pelo estagiário ao longo do seu período na empresa, com foco nas atividades ligadas à otimização e automação do chão de fábrica. Em particular, destaca-se o estudo de viabilidade para a implementação de um AGV (Automated Guided Vehicle ou, em português, Veículo Guiado Automaticamente) e de um Cobot (Robô Colaborativo), com o objetivo de automatizar tarefas repetitivas e melhorar a eficiência dos processos produtivos. Foram igualmente realizados trabalhos no âmbito da melhoria contínua, nomeadamente o controlo de tempos nas operações de corte da máquina Laser e de maquinação nos tornos CNC (Computer Numerical Control ou, em português, Controlo Numérico Computadorizado), permitindo identificar oportunidades de redução de tempos improdutivos e/ou de corrigir esses mesmos tempos. Adicionalmente, o estagiário acompanhou o processo de introdução de uma nova montagem final, tendo desenvolvido a respetiva Instrução de Trabalho, redigida em português e inglês, para facilitar a compreensão e correta execução dos operadores.

4.1 Estudo de Implementação de um AGV

Num contexto industrial cada vez mais orientado para a eficiência, automação e redução de custos operacionais, a utilização de tecnologias inteligentes para a movimentação de materiais tem vindo a ganhar destaque. Uma dessas soluções tecnológicas é o AGV, cuja implementação pode representar um avanço significativo na logística interna de uma empresa.

A TRIDEC tem vindo a procurar formas de tornar os seus processos logísticos mais eficientes, seguros e sustentáveis. Um dos principais objetivos passa por reduzir a utilização de empilhadores, dado que estes representam um custo significativo – tanto ao nível do aluguer e da manutenção, como também em termos de segurança, devido ao risco de acidentes em áreas movimentadas. Neste sentido, surge a proposta de introduzir um AGV para automatizar parte das movimentações internas de materiais.

A solução proposta será implementada por fases, começando pela ligação entre os dois armazéns (principal e intermédio), onde existe um elevado volume de movimentação diária, e também no corredor de montagem para a expedição de *Spare Parts* (peças de reposição). Esta primeira fase permitirá testar o desempenho do sistema em ambiente real, mas controlado, antes de considerar uma extensão para outras zonas da fábrica.

O estudo começa com a análise da situação atual de movimentação de peças, considerando os percursos realizados, o meio de transporte utilizado, a capacidade de carga, a manutenção e os custos envolvidos. Com base nessa avaliação, é

explorada a possibilidade de automatização através da implementação de um AGV, abordando-se aspetos como o tipo de veículo, os trajetos previstos, a sua capacidade de carga e velocidade, bem como os requisitos de segurança, manutenção e os custos do investimento. A análise inclui ainda uma estimativa do retorno económico, com o objetivo de avaliar a viabilidade da solução proposta.

Este subcapítulo pretende contribuir para a decisão sobre a adoção desta tecnologia, alinhando as exigências operacionais da empresa com as vantagens proporcionadas pela automação inteligente.

4.1.1 Análise da situação inicial

De forma a ajudar a perceber melhor os percursos que vão ser estudados e os possíveis percursos que podem ser percorridos pelo AGV, apresenta-se na Figura 27 o layout da fábrica.

Legenda: Armazém Principal → 
 Armazém Intermédio → 
 Zona de preparação dos *kits de Spare Parts* → 
 Zona de Expedição → 
 Zona de Carregamento/Descanso → 

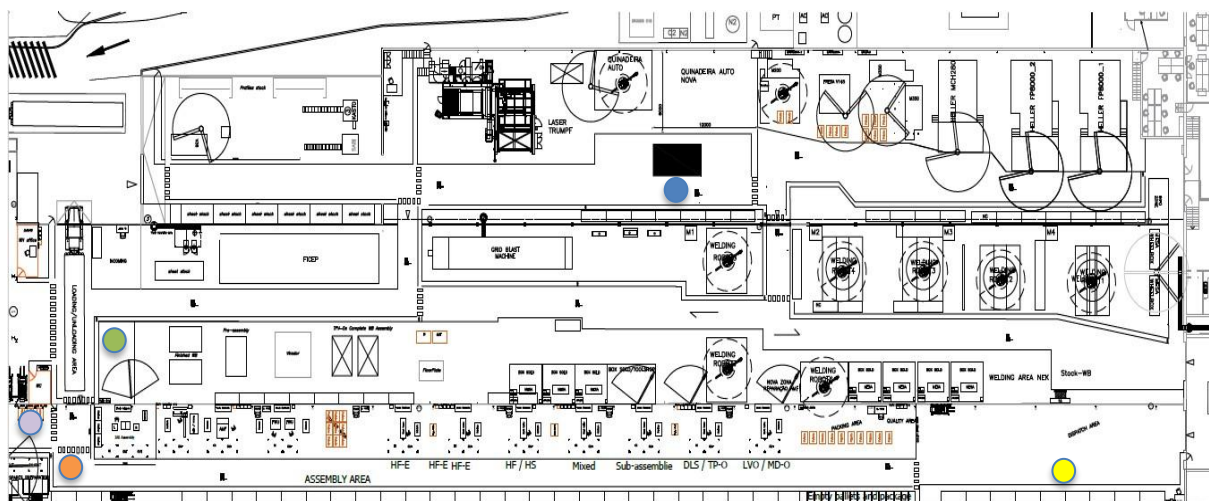


Figura 27 – Layout da fábrica da TRIDEC

Com o objetivo de identificar as rotas mais frequentes e relevantes para a futura implementação de um AGV, foi realizado um levantamento detalhado dos percursos atualmente realizados pelos empilhadores, com base nos dados operacionais da empresa. O estudo teve como referência os primeiros 5 meses do ano de 2024,

correspondentes a aproximadamente 105 dias úteis de trabalho. Através de documentos internos (ficheiros Excel) e da base de dados da empresa, foi possível estimar o número médio de viagens realizadas por dia em cada percurso.

- **Armazém Principal → Armazém Intermédio**

Este percurso, com uma distância aproximada de 85 metros, corresponde ao transporte de peças provenientes do exterior, nomeadamente da subcontratação, como peças de fundição que necessitam de operações de maquinação ou soldadura. A identificação destes movimentos foi feita com base nos registos de *jobs* que têm como origem a “Logística de Subcontratação”. Após a contagem dos registos e calculada a média diária sobre o total de dias úteis analisados, apurou-se que são realizadas em média, 28 viagens por dia neste trajeto.

- **Armazém Intermédio → Armazém Principal**

Com a mesma distância de 85 metros, este percurso representa o fluxo inverso ao anterior, correspondendo ao transporte de peças já acabadas, após processos produtivos, com destino ao stock final. Os dados foram recolhidos com base nos *jobs* que terminam em “Logística de stock”. A média diária apurada para este percurso é de 32 viagens por dia.

- **Zona de preparação de Kits de Spare Parts → Zona de Expedição**

Este percurso tem uma extensão de 140 metros e refere-se à movimentação de *kits* de peças de reposição (*Spare Parts*) já preparados, com destino à expedição. A análise baseou-se nos registos associados aos *jobs* de preparação desses *kits*. Com base nas contagens realizadas e na média diária correspondente aos 105 dias úteis, determinou-se que este trajeto é realizado, em média, 18 vezes por dia.

Estes 3 percursos apresentados foram os únicos estudados neste projeto, por representarem os fluxos logísticos mais relevantes e recorrentes dentro da operação diária da empresa. Com um total médio de 78 viagens por dia, considera-se que estes trajetos devem ser prioritários e constituem as rotas ideais para serem assumidas pelo AGV na fase inicial da sua implementação.

O empilhador usado pela TRIDEC nestes percursos é o EFG 218 da Jungheinrich (Figura 28):



Figura 28 – Empilhador utilizado na TRIDEC

A Tabela 1, apresenta algumas das características relevantes do empilhador:

Tabela 1 – Características do empilhador

Carga máxima	1800 Kg
Altura de elevação	até 7000 mm
Comprimento dos garfos	1600 mm
Velocidade (sem carga)	até 16 Km/h
Velocidade de elevação (sem carga)	até 0,74 m/s
Peso	3191 Kg

A Manutenção é anual, onde também se faz uma Verificação de Segurança e um Serviço de Óleo Hidráulico, e tem um custo anual de 469,02€.

Além disso, tem um custo fixo de 500€ por mês, ou seja, 6000€ por ano. Assim, o custo total anual será $6000 + 469,02 = 6469,02\text{€}$.

O salário anual de um operador ronda os 19260€, com um aumento estimado de 3% ao ano. Este valor foi calculado tendo em conta um salário mensal de 1000€ mais 25%, correspondente a Seguros e TSU (Taxa Social Única), além de 8€ de Subsídio de Alimentação para uma média de 220 dias úteis.

$$\text{Salário Anual} = (1000 * 14) + (1000 * 0,25 * 14) + (8 * 220) = 19260\text{€}$$

Como o operador trabalha em média 220 por ano e faz 8 horas por dia, trabalha um total de 1760 horas por ano. O seu salário por hora será:

$$\text{Salário por hora} = \frac{19260\text{€}}{1760h} \approx 11\text{€/h}$$

Daqui para a frente será sempre usado o valor de 11€/h nas contas relacionadas com os salários.

4.1.2 Estudo de movimentação de cargas com a utilização de um AGV

Entre as várias propostas apresentadas à empresa, a que melhor respondeu às necessidades da TRIDEC foi a da STILL. (Figura 29)



Figura 29 – AGV STILL EXV 16 iGO

A Tabela 2, apresenta algumas das características relevantes deste AGV:

Tabela 2 - Características do AGV

Carga máxima	1600 Kg
Altura de elevação	até 3100 mm
Velocidade (sem carga)	2 m/s
Velocidade (com carga)	1.7 m/s
Tipo de navegação	Laser
Sistema de segurança	Sim
Manual de operação	Sim
Sistema de interface	Software

O AGV selecionado utiliza navegação por laser, um sistema avançado que permite ao veículo deslocar-se de forma autónoma e precisa, recorrendo a sensores laser para mapear o ambiente e identificar obstáculos ou alterações no trajeto. No que diz respeito à segurança, o equipamento possui sensores que garantem a deteção de pessoas e objetos no percurso, prevenindo colisões e assegurando uma operação segura no ambiente industrial. O AGV inclui ainda um manual de operação, essencial para orientar os utilizadores na configuração, utilização e manutenção do equipamento. Por fim, o seu sistema de interface via software permite a integração com os sistemas de gestão da fábrica, facilitando o controlo das tarefas, a monitorização em tempo real e a comunicação com outros equipamentos.

Com base no layout da fábrica e nas medições realizadas no terreno, será possível programar o AGV para executar com precisão os trajetos predefinidos. Estes dados, incluindo os pontos de carga e descarga, as rotas pretendidas e a zona de carregamento/descanso, serão introduzidos no software do AGV permitindo a sua configuração.

A Figura 30 apresenta os trajetos que serão realizados pelo AGV:

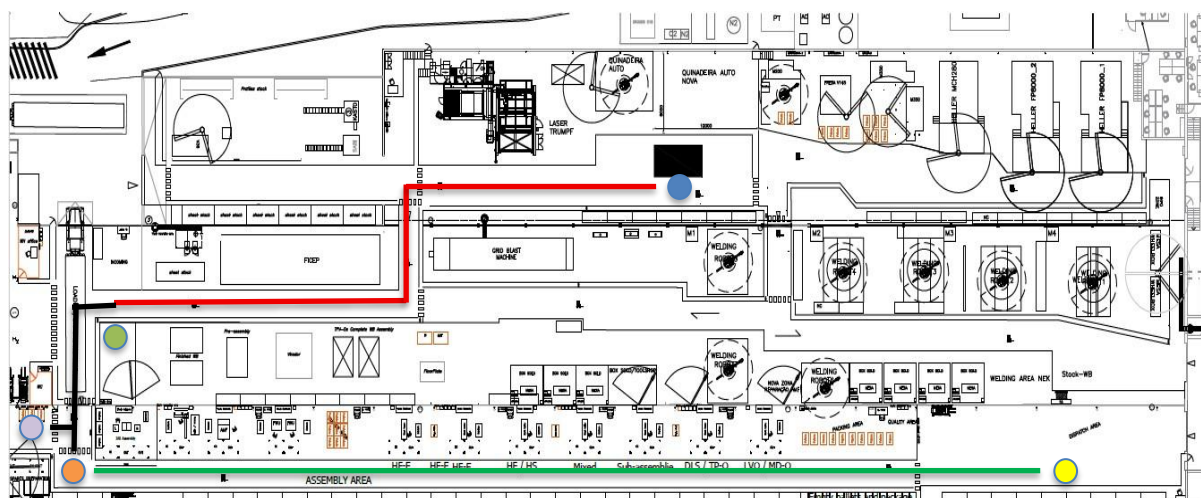


Figura 30 – Trajetos do AGV

A vermelho estão os 2 trajetos entre os Armazéns. A verde será o trajeto entre a zona de preparação dos *kits de Spare Parts* e a zona de expedição. Já a preto, os trajetos de ligação entre a zona de carregamento/descanso e os trajetos definidos.

O investimento previsto para a implementação do AGV é de 144000€ (preço do AGV e da realização do projeto, de acordo com o orçamento obtido do fornecedor).

Para compreender melhor o impacto da substituição do empilhador por um AGV, foi realizado um levantamento detalhado dos trajetos que estão a ser estudados, considerando as distâncias percorridas, o número de viagens, a velocidade média e o tempo gasto.

Detalhes dos percursos:

- **Percurso 1:** 28 viagens diárias com uma distância de 85 metros (170 metros, ida e volta) e mais 20 metros de ligação entre a zona de carregamento/descanso e o ponto inicial do trajeto (40 metros, ida e volta). No total, 210 metros por viagem.
- **Percurso 2:** 32 viagens diárias também com uma distância de 85 metros (170 metros, ida e volta) e mais 20 metros de ligação entre a zona de carregamento/descanso e o ponto final do trajeto (40 metros, ida e volta). No total, 210 metros por viagem.
- **Percurso 3:** 18 viagens diárias com uma distância de 140 metros (280 metros, ida e volta) e mais 5 metros de ligação entre a zona de carregamento/descanso e o ponto inicial do trajeto (10 metros, ida e volta). No total, 290 metros por viagem.

Na totalidade das 78 viagens diárias e com uma velocidade média de 11 km/h, a distância total percorrida diariamente atinge os 17,82 km, o que representa 1,62 horas de condução por dia, para os empilhadores atualmente utilizados.

Adicionalmente, é necessário considerar o tempo de carga e descarga dos materiais, estimado em 10 segundos por viagem (5 segundos para cada tarefa). Este tempo, para as 78 viagens, corresponde a 780 segundos por dia, ou seja, 13 minutos, equivalentes a 0,217 horas.

Somando os tempos de condução e de carga/descarga, o empilhador exige 1,837 horas de operação por dia. Tendo em conta 220 dias úteis por ano, o tempo total anual de operação do empilhador corresponde a 404,07 horas.

Assumindo um custo de 11€ por hora de trabalho, o custo total anual associado apenas à operação do empilhador (relativamente ao tempo de trabalho do operador) é de aproximadamente 4444,73€.

Considerando o custo anual associado à utilização do empilhador (custo fixo e manutenção), 6469,02€, a poupança no primeiro ano será de 10913,75€, considerando que os restantes gastos são semelhantes nas duas situações.

Com base nestes valores, é possível calcular indicadores financeiros como o Payback (tempo de retorno do investimento), essencial para apoiar a tomada de decisão relativamente à viabilidade económica do projeto. Dado os valores calculados, cerca de 144000€ de investimento e cerca de 11000€ de poupança de gastos estimados por ano, parece evidente que o investimento neste projeto tem uma viabilidade financeira limitada.

Sendo o Payback o indicador normalmente utilizado na empresa para avaliar a viabilidade económica dos investimentos, pode estimar-se o seu valor para cerca de 13 anos (144000€/11000€), calculado a preços constantes sem considerar a influência do valor temporal do dinheiro.

O ROI também é um indicador financeiro essencial na avaliação de projetos de investimento, pois mede a rentabilidade obtida em relação ao capital aplicado. No entanto, neste caso específico, a poupança anual estimada revela-se relativamente baixa face ao montante necessário para o investimento, resultando num retorno pouco atrativo.

4.1.3 Decisão

Apesar de a empresa estabelecer como referência um período de Payback de 3 anos para novos investimentos, a decisão de avançar com a implementação do AGV justifica-se pela natureza estratégica e pelos benefícios operacionais da solução.

De acordo com os cálculos, o investimento inicial de 144000€ será recuperado ao longo de aproximadamente 13 anos. Embora estes valores estejam fora dos parâmetros financeiros de referência, existem vários fatores qualitativos e estratégicos que tornam este projeto vantajoso:

- O AGV irá assumir percursos logísticos repetitivos e padronizados, libertando os operadores para tarefas de maior valor acrescentado, melhorando, assim, a eficiência operacional.
- Redução da dependência de empilhadores alugados e dos custos associados à sua manutenção, operação e riscos de acidente.
- Aumento da segurança no ambiente fabril, ao eliminar a circulação intensiva de empilhadores em zonas de trabalho com operadores.
- Modernização do processo logístico interno, promovendo a automação.

Fazendo os cálculos para o AGV nos mesmos trajetos atualmente realizados pelo empilhador, verifica-se que, percorrendo a mesma distância diária (17,82 km), a sua menor velocidade média de 6,66 km/h, aliada ao maior tempo de carga e descarga (10 segundos por operação, ou seja, 20 segundos por trajeto), resulta num tempo total diário de operação de 3,109 horas. Este valor corresponde a 683,98 horas anuais, ou seja, 279,92 horas a mais do que o tempo despendido pelo empilhador.

Apesar do tempo adicional, é importante reforçar que o AGV executa este trabalho de forma autónoma, sem necessidade de um operador, permitindo assim realocar recursos humanos a tarefas de maior valor acrescentado e garantindo uma operação mais segura.

Neste contexto, mesmo que o retorno financeiro direto ultrapasse o limite definido, os ganhos logísticos, a melhoria da segurança, a redução da dependência de mão de obra e o avanço tecnológico justificam plenamente o avanço com o projeto. Trata-se de uma decisão alinhada com a visão de longo prazo da empresa, focada na modernização e competitividade industrial.

Além disso, a empresa prevê expandir a utilização do AGV para novos trajetos, como por exemplo o percurso entre a Serra e o Armazém Intermédio (Figura 31), o que contribuirá ainda mais para o aumento da utilização do equipamento.

Legenda: Serra → ●

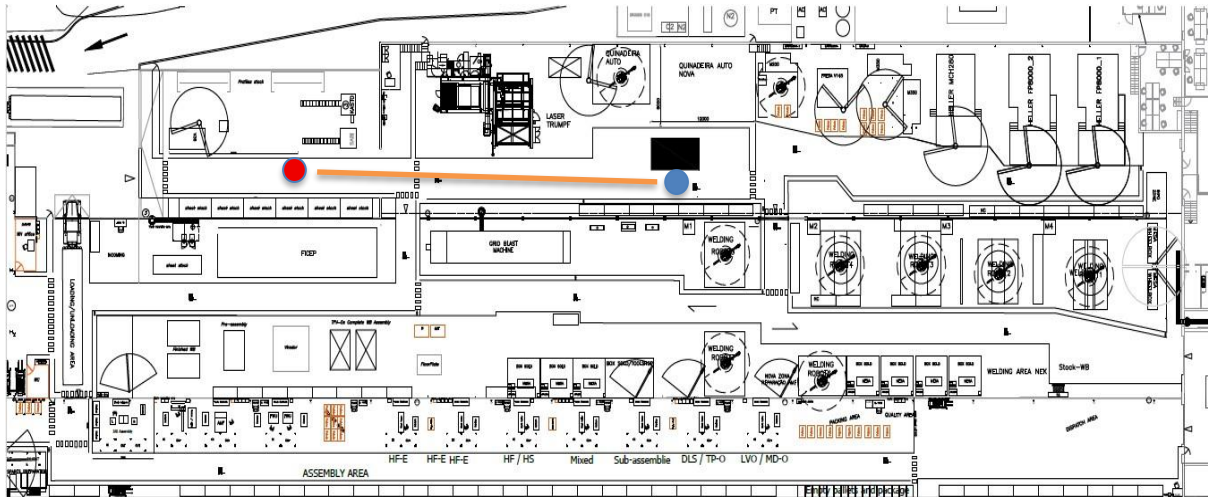


Figura 31 – Percurso entre a Serra e o Armazém Intermédio

4.2 Estudo de Implementação de um Robô Colaborativo

Algumas referências ou peças são produzidas várias vezes ao longo do ano, mas apresentam uma montagem tão simples que não se justifica a alocação de um operador exclusivamente para a execução dessa tarefa. Em muitos casos, estas montagens podem ser facilmente automatizadas, permitindo uma redistribuição mais eficiente do trabalho.

Com esta abordagem, os operadores podem dedicar-se a tarefas mais complexas, críticas ou exigentes, especialmente em situações onde não seja viável a utilização de um Cobot (Robô Colaborativo) para substituir a intervenção humana de forma integral.

Contudo, mesmo com a automatização, continua a ser necessário contar com um operador para complementar o funcionamento do Cobot. Este operador desempenha funções essenciais, como abastecer o robô com os materiais necessários para o processo de montagem e retirar as peças finalizadas. Apesar de estas intervenções serem pontuais, são indispensáveis para garantir a continuidade e a eficiência do processo.

O trabalho conjunto entre o Cobot e o operador resulta numa sinergia que melhora a produtividade sem comprometer a qualidade. Por exemplo, enquanto o Cobot realiza a montagem de um lote pré-definido de peças – como no caso do *Guidance Support* –, o operador pode, em paralelo, realizar outras tarefas ou *jobs* que exigem mais atenção ou que não podem ser automatizados. Esta dinâmica permite maximizar o tempo disponível do operador, reduzindo o desperdício de recursos e aumentando a eficiência global.

Além disso, a implementação desta metodologia pode apresentar benefícios adicionais. Por um lado, pode reduzir os custos operacionais associados ao emprego exclusivo de operadores para tarefas de baixa complexidade e, por outro, pode promover uma maior otimização dos recursos humanos e tecnológicos, ao garantir que tanto o Cobot como os operadores estejam continuamente envolvidos em atividades produtivas.

Este equilíbrio entre automação e intervenção humana é uma abordagem estratégica para responder às exigências da produção moderna, assegurando a flexibilidade e a eficiência necessárias para enfrentar os desafios industriais.

4.2.1 Características das peças

No âmbito da busca contínua por soluções que aumentem a eficiência e reduzam o esforço manual na linha de montagem, foi realizada uma análise à viabilidade de automatização da montagem de três referências específicas, conhecidas internamente como *Guidance Support*. Estas peças apresentam um design simples e padronizado, com processos de montagem repetitivos e de baixa complexidade, o

que as torna candidatas ideais à integração da sua montagem com a ajuda de um Cobot.

As três peças partilham uma estrutura muito semelhante, distinguindo-se apenas por detalhes geométricos ou componentes adicionais. Esta uniformidade favorece a criação de um processo automatizado comum, capaz de se adaptar às diferentes versões com pequenas alterações de parametrização ou configuração do sistema robótico.

A seguir, na Figura 32, são apresentadas imagens das três variantes da peça:

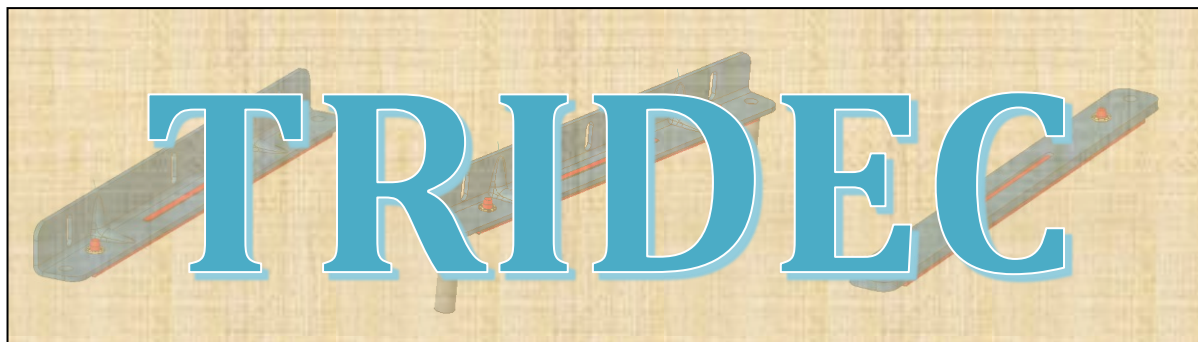


Figura 32 – Referências/Peças 619135, 619134 e 619136 (Guidance Support)

Na tabela 3 são apresentadas algumas características das peças apresentadas acima:

Tabela 3 – Características das peças Guidance Support

Referência/peça	Dimensões (mm)	Peso (Kg)
619135	50x55x520	1,92
619134	50x142x520	2,1
619136	50x21x520	1,62

Para a montagem final de cada uma das referências, são necessárias três componentes distintas que, quando unidas, formam a peça final completa.

O que difere entre as três referências é a peça metálica (peça azul na Figura 27, ou cantoneira como é conhecida internamente):

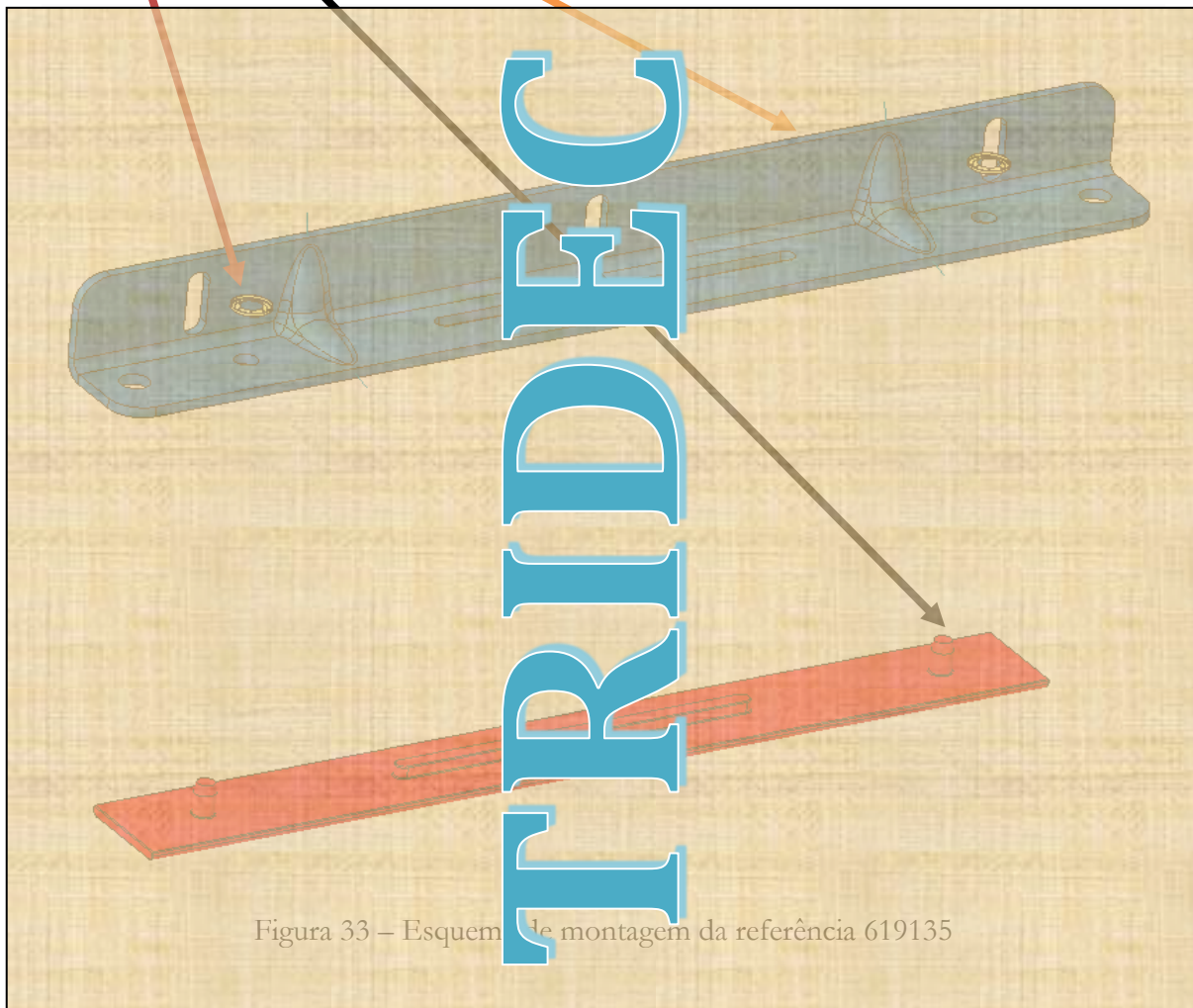
- Na referência 619135, a cantoneira é primeiro cortada na máquina Laser e, posteriormente, quinada.

- Na referência 619134, a cantoneira é idêntica à anterior, mas tem ainda um processo de soldadura antes da montagem, no qual são soldados dois tubos metálicos de 87mm de comprimento.
- Já a referência 619136 utiliza uma peça metálica com geometria distinta, que é apenas cortada na máquina Laser, sem qualquer processo de quinagem ou de soldadura.

As outras duas componentes – a peça de plástico (619127) e as anilhas (311378) – são comuns às três referências.

Abaixo, na Figura 33, é apresentado um esquema de montagem da referência 619135 (sendo que o das outras referências é semelhante):

1. 619125
2. 619127
3. 311378 (2x)



A análise do volume de produção anual das três referências do Guidance Support permite compreender melhor o impacto e a relevância destas peças no contexto produtivo da empresa. No último ano, 2024, o consumo anual foi:

- Referência 619135 → 6200 unidades.
- Referência 619134 → 7200 unidades.
- Referência 619136 → 1000 unidades.

Em média, o tempo necessário para montar cada uma das três variantes da peça, desde a preparação até à obtenção da peça final, é de aproximadamente 1 minuto por peça. Este valor já estava se encontrava registado no sistema Epicor, tendo sido posteriormente confirmado através de medições realizadas pelo estagiário.

4.2.2 Processo de Montagem – Situação Inicial

A montagem das peças Guidance Support segue uma sequência de passos bem definida, que garante a correta junção dos componentes e a qualidade do produto final. Abaixo descreve-se detalhadamente cada uma das etapas envolvidas neste processo:

1º Preparação das Peças Metálicas – Limpeza dos Furos

O processo tem início com a remoção de resíduos ou excesso de material nos furos com 11mm de Diâmetro. Estes resíduos resultam do tratamento superficial que a peça leva (galvanização) e podem interferir com a montagem.

Para fazer a limpeza, utiliza-se uma parafusadora equipada com uma broca, garantindo que os furos estejam desobstruídos e aptos para receber os componentes de fixação. (Figura 34, esquerda)

2º Encaixe da Peça Metálica com a Peça de Plástico

De seguida, procede-se ao encaixe da peça de ferro com a peça de plástico. À medida que são combinadas, estas são dispostas em cima da mesa de trabalho, criando a estrutura sobre a qual as anilhas serão montadas. (Figura 34, direita)

3º Colocação das anilhas

Com as bases preparadas e dispostas na bancada de trabalho, são colocadas duas anilhas em cada base. Estas anilhas são essenciais para garantir a fixação da peça metálica à peça de plástico. (Figura 35, esquerda)

4º Cravação das anilhas

Por fim, é feita a cravação das anilhas. Este processo é feito com o auxílio de uma ferramenta específica e um martelo, garantindo que a anilha fique corretamente alojada e firmemente presa na posição designada. (Figura 35, direita)

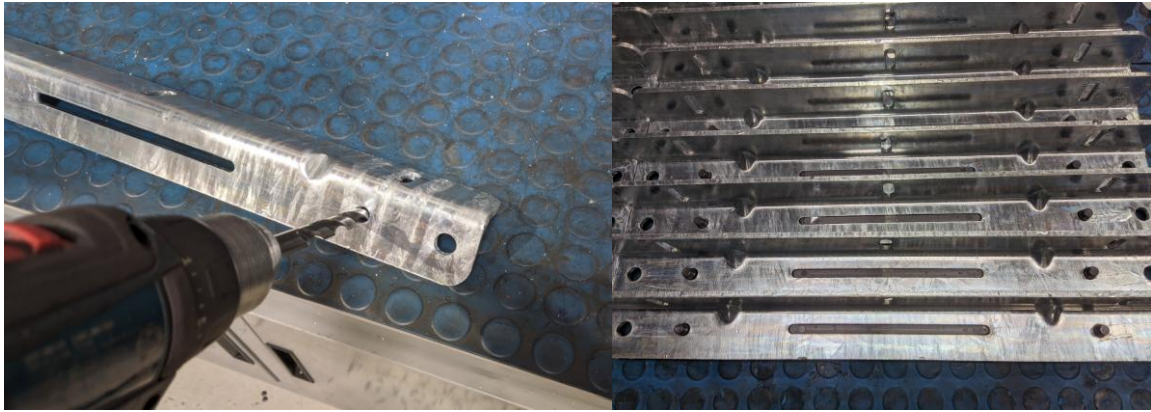


Figura 34 – Passos 1 e 2 do Processo de Montagem do Guidance Support



Figura 35 - Passos 3 e 4 do Processo de Montagem do Guidance Support

A galvanização, processo utilizado em grande parte das peças produzidas pela empresa, é um revestimento metálico de zinco aplicado sobre peças de aço ou ferro com o objetivo principal de protegê-las contra a corrosão (ferrugem).

4.2.3 Estudo da montagem do Guidance Support através de um Cobot

Para automatizar este processo de montagem, foi concebido um sistema baseado na integração de um Cobot com um conjunto de equipamentos e ferramentas auxiliares, permitindo realizar as operações de forma eficiente, segura e com a mínima intervenção humana.

Além disso, foi também realizada uma análise financeira com o objetivo de avaliar a viabilidade do investimento na aquisição deste novo equipamento, tendo por base as poupanças operacionais relativas ao salário médio anual de um operador.

O sistema proposto para o Cobot é constituído pelos seguintes elementos (Figura 36):

1. Ferramenta de manipulação multifuncional

O Cobot estará equipado com uma ferramenta de manipulação para manusear diferentes componentes necessários à montagem: a base de plástico, as três variantes da cantoneira, as anilhas e a peça final montada. Esta ferramenta garante precisão e fiabilidade durante as operações de manuseamento, posicionamento e encaixe dos componentes.

2. Tapete motorizado para alimentação de bases de plástico

As bases de plástico são colocadas manualmente pelo operador num tapete motorizado que as transporta até à zona de trabalho. Este tapete possui autonomia para cerca de 20 peças, assegurando um fornecimento contínuo e sem necessidade de reabastecimento frequente.

3. Tapete motorizado para alimentação das cantoneiras

Cada uma das três variantes da cantoneira é igualmente alimentada por um tapete motorizado com capacidade para cerca de 20 peças. Estas peças já devem ter os seus furos limpos antes da alimentação no sistema.

4. Alimentador vibratório para as anilhas

As anilhas são fornecidas por um alimentador vibratório com autonomia para 200 unidades, garantindo o ritmo necessário à produção sem interrupções frequentes.

5. Estação de montagem e cravação

A estação de montagem e cravação está composta por uma estrutura de suporte, um JIG de posicionamento, que assegura a correta orientação dos componentes, e um sistema de cravação pneumático para a fixação das anilhas. Esta estação inclui ainda uma barreira de segurança, visto que terá de fazer movimentos de pressão para obter a peça final.

6. Rampa de saída

As peças montadas são colocadas numa rampa de saída com capacidade para cerca de 20 unidades, sendo a sua descarga realizada pelo operador.

7. Sistema de controlo e interface de operação

O Cobot será controlado por uma interface simples e intuitiva, que permite ao operador iniciar, pausar ou parar o processo conforme necessário.

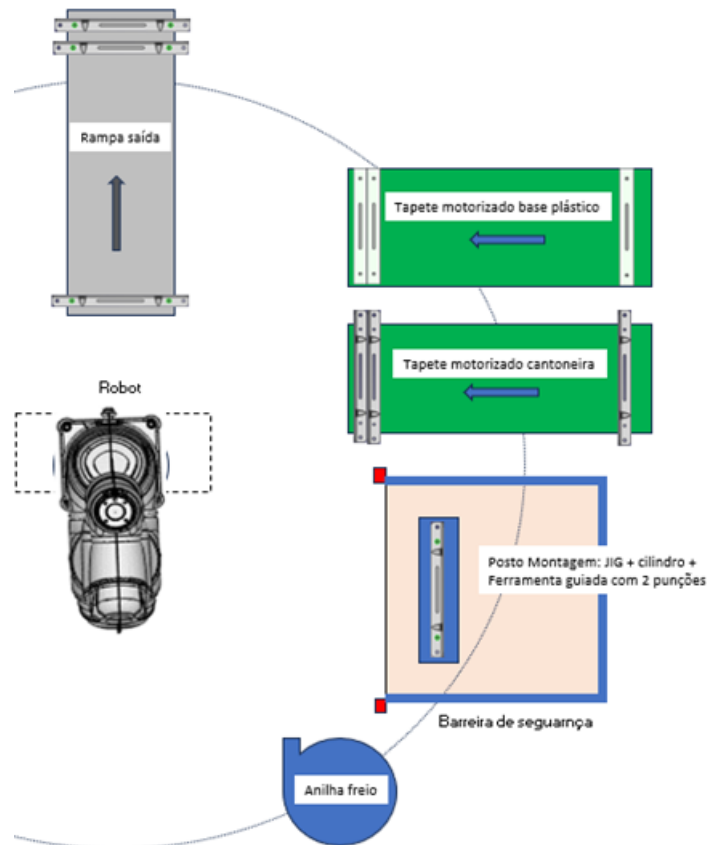


Figura 36 – Esquema do Cobot

O investimento total necessário para a aquisição deste novo equipamento é de 57000€, de acordo com o orçamento obtido.

Dado que a capacidade dos tapetes motorizados e da rampa de saída é de cerca de 20 unidades, foi feita a análise com base num lote de 20 peças. Considerando que o operador demora, em média, 1 minuto a montar cada peça manualmente, a execução de um lote completo requer aproximadamente 20 minutos.

Com a introdução do Cobot, estima-se que o operador necessite apenas de cerca de 5 minutos para apoiar o processo de montagem de um lote de 20 peças. Durante esse tempo, operador deverá realizar as seguintes tarefas: limpar os furos das cantoneiras, colocá-las no respetivo tapete, alimentar o tapete com as peças de plástico e, por fim, retirar as peças montadas da rampa de saída.

Adicionalmente, como o alimentador vibratório das anilhas tem capacidade para 200 unidades, o reabastecimento só será necessário a cada 10 lotes.

Se ao longo do ano são produzidas no total 14400 peças *Guidance Support* (considerando as 3 referências), são necessários 14400 minutos para as produzir. Fazendo a conversão para horas, são 240 horas de produção destas peças num ano.

Considerando o Salário por hora corresponde a 11€, enquanto monta estas peças o operador recebe 2640€.

Se antes demorava 20 minutos para produzir um lote de 20 peças e passa a necessitar de apenas 5 minutos, terá uma poupança de:

$$\text{Poupança (tempo)} = \left(\frac{20 - 5}{20} \right) * 100 = 75\%$$

Com isto, irá passar apenas 60 horas de trabalho por ano a ajudar o Cobot a produzir as 3 referências do *Guidance Support*. Assim, vai receber apenas 660€ enquanto ajuda o Cobot a produzir estas peças.

Portanto, a Poupança Anual será:

$$\text{Poupança Anual} = 2640 - 660 = 1980\text{€}$$

Com base nestes valores, foi possível calcular o Payback (tempo de retorno do investimento), essencial para apoiar a tomada de decisão relativamente à viabilidade económica do projeto.

Atendendo à poupança de 1980€ por ano, o investimento demoraria cerca de 29 anos a ser recuperado (57000€/1980€), sem considerar o efeito do valor temporal do dinheiro.

4.2.4 Decisão

Com base na Análise Financeira efetuada e nos valores acima apresentados, importa agora avaliar a viabilidade do projeto tendo em conta os critérios internos da TRIDEC e tomar uma decisão fundamentada quanto à sua aprovação.

A análise considerou diversos fatores, como os tempos de ciclo, o impacto dos operadores no processo e os custos operacionais, com o objetivo de avaliar se esta solução tecnológica poderia trazer benefícios reais e sustentáveis para a empresa.

Apesar das vantagens associadas à automatização – como a melhoria da eficiência, a repetibilidade do processo e a redução do esforço físico do operador – a análise económico-financeira revelou resultados pouco favoráveis.

Com base nos valores do investimento total necessário e da poupança anual, foi estimado um Payback de cerca de 29 anos, significativamente superior ao limite de referência de 3 anos estabelecido pela TRIDEC para a aprovação de novos investimentos.

Face a estes resultados, e tendo em conta que o Cobot estaria inativo grande parte do tempo devido à baixa cadência do processo, conclui-se que não se justifica avançar com a implementação do equipamento nas condições atuais.

A empresa poderá, no entanto, reavaliar esta solução futuramente, caso se verifiquem alterações significativas no volume de produção, nas condições de operação ou nos custos da tecnologia.

4.3 Análise de Tempos

A análise de tempos é uma prática importante na engenharia industrial, inserida nos métodos da gestão da produção. O seu objetivo principal é estimar de forma rigorosa a duração necessária para executar uma tarefa, permitindo uma organização equilibrada dos recursos humanos e técnicos. Para além de contribuir para a definição precisa da capacidade produtiva, esta análise é indispensável no cálculo dos custos de fabrico, assegurando que o valor atribuído a cada peça reflete verdadeiramente o esforço produtivo envolvido.

A existência de tempos incorretos, seja devido a erros de medição ou a simulações imprecisas de programas, pode gerar consequências significativas, tais como desajustes no planeamento, sobrecarga de operadores, desperdício de recursos e até distorções na análise de rentabilidade. Por este motivo, a medição e revisão contínua dos tempos constituem uma etapa crítica no processo produtivo.

No contexto industrial em estudo, destacam-se dois tipos de produção: corte a Laser e maquinação em tornos CNC. No primeiro, os tempos de corte estão diretamente relacionados com fatores como a espessura e o tipo de material, o que torna essencial a sua monitorização para otimizar o planeamento e reduzir tempos de inatividade. Nos tornos CNC, a variabilidade temporal depende da complexidade geométrica da peça, da natureza do material e da sequência de operações necessárias, exigindo uma análise cuidada.

Deste modo, a análise de tempos não deve ser encarada apenas como um procedimento técnico de medição, mas como uma ferramenta estratégica para a otimização dos processos, a melhoria da produtividade e o controlo rigoroso de custos.

4.3.1 Corte a Laser (TRUMPF)

O corte a laser constitui um dos processos mais avançados e precisos na indústria metalomecânica, permitindo a separação de materiais metálicos e não metálicos com elevada qualidade e precisão. Este processo baseia-se na utilização de um feixe de laser altamente concentrado, o qual é guiado, moldado e focalizado num ponto extremamente reduzido (com menos de 0,5mm de diâmetro). Quando incide sobre a peça, o feixe aquece o material até ao ponto de fusão ou vaporização, possibilitando a sua remoção através da ação de um gás auxiliar. Ao contrário de processos mecânicos de corte, o laser atua sem contacto físico, evitando desgaste da ferramenta e deformação da peça.

A escolha do gás de corte depende da espessura e do tipo de chapa a processar. Na TRIDEC são usados dois para diferentes situações:

- **Oxigénio:** utilizado em chapas mais espessas (10, 12 e 15mm). O oxigénio não só remove o material como também provoca uma reação química que auxilia o corte.
- **Nitrogénio:** aplicado em chapas mais finas (4, 5, 6 e 8mm). Proporciona cortes mais rápidos e com melhor qualidade superficial, uma vez que evita oxidações na zona de corte.

A TRIDEC utiliza chapas metálicas com espessuras entre 4 e 15mm na máquina de corte a laser TRUMPF. Os materiais processados são:

- **S420MC:** aços de elevada resistência, adequados para aplicações estruturais exigentes.
- **S355J2:** aços com boa tenacidade, amplamente utilizados em estruturas metálicas.
- **S460NL:** aços indicados para ambientes de elevada exigência.

O corte a laser apresenta diversas vantagens em relação a outros processos de fabrico:

- **Versatilidade de materiais:** permite cortar aços, alumínio, inox e até materiais não metálicos como plásticos, vidro ou cerâmica, com espessuras entre 0,5 e 30mm.
- **Elevada precisão e liberdade de contorno:** possibilita cortes complexos e com elevada qualidade, reduzindo ou eliminando a necessidade de retrabalho.
- **Qualidade superior de corte:** permite cortes sem zonas afetadas pelo calor, garantindo bordas lisas e sem rebarbas.
- **Processo sem contacto:** elimina o desgaste de ferramentas e reduz os riscos de deformações nas peças.

Assim, o corte a laser combina flexibilidade, precisão e qualidade, sendo um recurso fundamental para o fabrico de peças metálicas de diferentes graus de complexidade e exigência.

Exemplo: Axle Mounting Frame 1200-100 (208083)

No âmbito do estágio foram efetuadas diversas contagens de tempo das operações de corte a Laser. Um dos exemplos analisados durante o estágio, fazendo a contagem dos tempos e as alterações necessárias no sistema da empresa, foi a Axle Mounting Frame 1200-100. As Frames localizam-se no eixo traseiro e servem de suporte ao

sistema que permite o movimento lateral das rodas traseiras, de forma semelhante às rodas dianteiras, facilitando assim a direção do caminhão.

A Figura 37 apresenta um esquema da Axle Mounting Frame 1200-100 e as suas referência/peças.

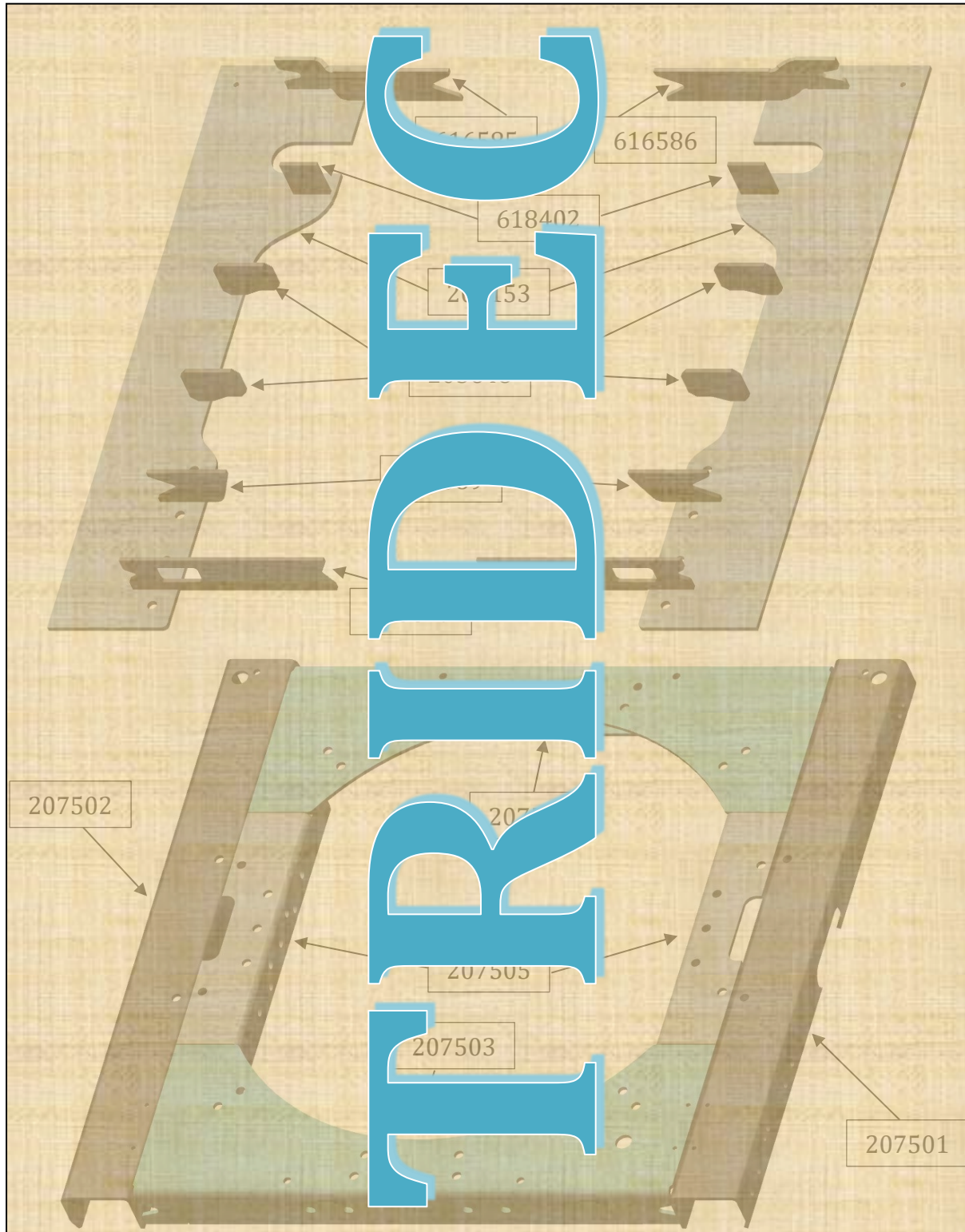


Figura 37 – Axle Mounting Frame 1200-100 e as suas referências/peças

Normalmente são feitos jobs de 20 Frames de cada vez, logo as contas apresentadas serão relativas a essa quantidade. A referência 205153 é cortada em chapa S420MC com 10mm de espessura, enquanto a referência 618402 é produzida em chapa S460NL de 15mm. As restantes referências são todas cortadas em chapa S420MC de 8mm de espessura.

As tabelas 4 e 5 apresentam os tempos necessários para o corte das referências/peças que integram a Axle Mounting Frame 1200-100, bem como o tempo necessário para produzir um job de 20 Frames, antes e depois da análise.

Tabela 4 – Tempos de corte antes da análise

Frame 1200-100			
Antes da contagem e alteração de tempos			
Referência	Quantidade	Tempo de corte (min)	Tempo total por peça (min)
205153	2	2	4
205589	2	0.25	0.5
205648	4	0.2	0.8
205649	2	0.4	0.8
207501	1	1.25	1.25
207502	1	1.25	1.25
207503	1	3.05	3.05
207504	1	1.25	1.25
207505	2	0.95	1.9
616585	1	0.4	0.4
616586	1	0.45	0.45
618402	2	0.2	0.4

Tempo Total	16.05	min
20 Frames	321	min
	5.35	h

Tabela 5 – Tempos de corte após a análise

Frame 1200-100			
Depois da contagem e alteração de tempos			
Referência	Quantidade	Tempo de corte (min)	Tempo total por peça (min)
205153	2	2.05	4.1
205589	2	0.15	0.3
205648	4	0.2	0.8
205649	2	0.4	0.8
207501	1	1.15	1.15
207502	1	1.15	1.15
207503	1	1.2	1.2
207504	1	1.15	1.15
207505	2	0.75	1.5
616585	1	0.3	0.3
616586	1	0.3	0.3
618402	2	0.2	0.4

Tempo Total	13.15	min
20 Frames	263	min
	4.38	h

A comparação dos tempos de corte antes e depois da análise evidencia a importância de uma medição rigorosa dos processos de produção. Verifica-se uma diferença de 0,97h (58 minutos) no processo de corte de 20 Frames, o que representa uma redução de aproximadamente 18% no tempo total de operação (de notar que não inclui tempos de preparação, de alimentação da máquina com o material, de retirada do material cortado e o desperdício e também da separação das várias referências). Este resultado demonstra que pequenos desvios no registo ou na simulação dos tempos podem gerar impactos significativos quando projetados para grandes volumes de produção.

Este desfasamento entre tempos, compromete não só a fiabilidade do planeamento, mas também a gestão dos recursos, podendo originar atrasos na produção e custos adicionais. Assim, a ausência de precisão no controlo de tempos traduz-se em ineficiências que afetam diretamente a capacidade de resposta da fábrica às exigências do mercado.

Por outro lado, a correção dos tempos permite melhorar a produtividade e a eficiência operacional neste setor. Ao corrigir os tempos simulados para os reais, reduz-se a margem de erro do planeamento e criam-se condições para um fluxo produtivo mais estável e previsível.

Em suma, esta análise reforça a necessidade de atualizar regularmente os tempos de corte e de inserir esses dados reais no ERP da empresa, de forma a garantir maior precisão, eficiência e competitividade no processo produtivo.

4.3.2 Maquinação em tornos CNC (Mazak)

A tecnologia CNC revolucionou os processos de fabrico ao introduzir automação, precisão e repetibilidade na maquinaria de peças. Nos tornos CNC, a produção é controlada digitalmente através de programas desenvolvidos em linguagens específicas, eliminando grande parte das operações manuais e aumentando a eficiência global do processo.

Estes equipamentos permitem o fabrico de peças complexas com tolerâncias rigorosas, assegurando uniformidade entre lotes de produção e reduzindo significativamente o tempo de maquinaria. Para além disso, a versatilidade da programação possibilita a realização de operações que seriam muito difíceis de executar em tornos convencionais.

O processo de maquinaria em tornos CNC pode ser descrito em três etapas fundamentais:

1. **Programação:** o engenheiro responsável desenvolve o programa, especificando as operações, ferramentas, velocidades, avanços e percursos da ferramenta.
2. **Configuração da máquina:** consiste na montagem das ferramentas pelo operador.
3. **Execução:** o controlo CNC interpreta os comandos e aciona os movimentos da máquina, produzindo a peça pretendida.

Na fase de programação, são seleccionadas ferramentas específicas de acordo com a operação a executar:

- **Ferro de desbaste:** utilizado para remover grandes volumes de material de forma rápida.
- **Broca:** responsável pela execução de furos precisos.
- **Macho:** ferramenta utilizada para criar roscas internas.
- **Escareador:** serve para alisar bordos e entradas de furos, melhorando o acabamento.
- **Batente:** auxilia no correto posicionamento do material, especialmente útil na maquinaria de *rounds* ou tubos, quando a mesma barra é utilizada para várias peças.

Na TRIDEC, os tornos CNC Mazak fazem maquinaria de materiais metálicos como ferro, aço inoxidável e cobre, na forma de *rounds*, barras redondas maciças, e tubos com diferentes dimensões. Estas barras ou tubos passam sempre por um

processo de corte numa serra, para terem o comprimento específico, antes de serem maquinados nos tornos CNC.

O investimento em equipamentos CNC representa um custo elevado, mas os seus benefícios justificam amplamente a sua adoção:

- **Automação e eficiência:** minimiza erros humanos e reduz o tempo de produção.
- **Precisão e repetibilidade:** garante tolerâncias rigorosas e elevada qualidade de peças.
- **Flexibilidade:** permite a execução de geometrias complexas e a adaptação à produção de diferentes peças.
- **Otimização de custos:** menor necessidade de retrabalho e redução de desperdícios.

Assim, a maquinação em tornos CNC junta inovação tecnológica, precisão e produtividade, constituindo uma ferramenta essencial na indústria moderna. O seu impacto vai além da melhoria da qualidade final das peças, representando também um aumento significativo da eficiência operacional e da competitividade industrial.

Exemplo: Bearing pin TF-VO (622549)

No âmbito do estágio foram efetuadas diversas contagens de tempo das operações de maquinação CNC. Um dos exemplos analisados durante o estágio, fazendo a contagem dos tempos e as alterações necessárias no sistema da empresa, foi o Bearing pin TF-VO (Figura 38).



Figura 38 – Bearing pin TF-VO

Normalmente são feitos jobs de 20 peças de cada vez, logo as contas apresentadas serão relativas a essa quantidade. O material destas peças é Round S355J2 de 120mm de diâmetro. Este material vem com um comprimento de cerca de 5m, o que faz com que antes da maquinação nos tornos exista uma operação de corte numa serra em partes com 305mm de comprimento. Na maquinação CNC a peça passa por 3 operações até chegar ao produto final.

Na tabela 6, podemos ver os tempos de cada operação de maquinação necessária para produzir o Bearing pin TF-VO, bem como o tempo necessário para produzir um job de 20 peças, antes e depois da análise.

Tabela 6 – Tempos de maquinação antes e depois da análise (Bearing pin TF-VO)

Referência	Tempo (min)	Análise (min)	Setup (min)	Análise (min)
622549 (OP1)	6.90	4.50	18.00	18.00
622549 (OP2)	13.225	12.50	0	0
622549 (OP3)	5.75	3.00	0	0
Total	25.875	20.00	18.00	18.00

20 peças	517.5	400	min
Tempo Total job	535.50	418.00	min
Diferença	117.5	min	
	1.96	h	

O tempo de Setup refere-se à preparação inicial que o operador necessita de fazer, tal como procurar o programa de maquinação desta peça na máquina CNC, colocar as ferramentas necessárias nas posições certas e fazer as devidas calibrações.

Conforme se pode ver na Tabela 6, o tempo de Setup continua igual mas o tempo das três operações necessárias para chegar ao produto final são, na verdade, mais baixos.

Os tempos dessas operações são contabilizados desde o momento em que o operador retira a peça da paleta para a colocar na máquina, até ao momento em que a volta a posicionar na paleta após a conclusão da operação. Na empresa, a maquinação é realizada sequencialmente por operação, ou seja, o operador só começa a segunda operação quando tiver executado a primeira operação em todas as peças, e assim sucessivamente, até completar as operações necessárias para cada peça. Este método permite um fluxo de trabalho mais organizado e um controlo rigoroso dos tempos de maquinação de cada fase, tal como dos requisitos de qualidade.

A análise dos tempos de maquinação da referência 622549 permitiu identificar uma diferença de 1,96 horas (117,5 minutos) entre os tempos inicialmente registrados e os tempos reais observados. Esta diferença corresponde a uma redução de aproximadamente 22% no tempo total de operação. Esta discrepância é significativa e evidencia a importância de uma medição rigorosa e atualizada dos tempos de operação.

Diferenças desta magnitude têm um impacto direto no planejamento da produção, uma vez que os tempos incorretos comprometem a fiabilidade das previsões e a organização das cargas de trabalho. Quando os tempos registrados são diferentes dos reais, neste caso superiores, o planejamento torna-se menos eficiente, podendo resultar em períodos de inatividade das máquinas ou dos operadores.

A redução de quase duas horas no tempo total de produção de um job destas peças representa um ganho significativo na produtividade, permitindo uma maior capacidade de resposta às necessidades da produção.

Em suma, esta análise reforça a necessidade de atualizar regularmente os tempos de maquinação e de inserir esses dados reais no ERP da empresa, de forma a garantir maior precisão, eficiência e competitividade no processo produtivo.

4.4 Instrução de Trabalho LV-O

A implementação de uma nova montagem em ambiente produtivo exige um acompanhamento rigoroso, de forma a garantir que cada etapa decorra de maneira eficiente e controlada. Este processo envolve não só a preparação técnica, mas também a boa integração de todos os intervenientes, desde a equipa de engenharia até aos operadores responsáveis pela execução direta.

Para tal, é necessário que as instruções de trabalho estejam corretamente elaboradas, claras e acessíveis a todos os colaboradores envolvidos. Estas instruções não se devem limitar a indicar a sequência de atividades, devem também transmitir com objetividade os requisitos de qualidade e segurança que cada fase de montagem necessita.

Além de orientar a execução das atividades, as instruções de trabalho asseguram a padronização dos procedimentos, permitindo que todos os operadores atuem de forma uniforme e alinhada com as expectativas da produção. Esta padronização é essencial para minimizar riscos de erro, reduzir desperdícios e facilitar a identificação de potenciais melhorias ao longo da linha de montagem.

Outro aspeto relevante é a rápida estabilização do processo, objetivo que só pode ser atingido quando a informação transmitida é clara e facilmente compreensível por todos. A tradução e disponibilização das instruções em português e inglês assumem, nesse sentido, uma importância estratégica, garantindo que não existem barreiras de comunicação e que todos os colaboradores possam desempenhar as suas funções de forma eficaz, independentemente da sua origem.

Neste contexto, este capítulo aborda o acompanhamento de uma nova montagem e, conseqüentemente, a elaboração, validação e tradução da sua instrução de trabalho, de modo a assegurar uma comunicação eficaz e alinhada com as necessidades da produção.

4.4.1 Acompanhamento do Processo

O acompanhamento da montagem do LV-O constituiu uma etapa essencial para garantir que todas as fases do processo produtivo fossem executadas de forma correta e consistente. Este acompanhamento foi realizado de forma rigorosa, envolvendo a observação detalhada de cada passo e a recolha de informações relevantes que permitissem compreender facilmente a execução.

Até então, esta montagem era realizada apenas pelos clientes nas suas próprias instalações. A TRIDEC limitava-se a fornecer todos os componentes e peças necessárias para a montagem final, ficando o cliente responsável por concluir o processo. No entanto, foi tomada a decisão estratégica de começar a realizar essa montagem final na fábrica da empresa. Esta mudança tem como objetivo não só

ampliar o processo produtivo, mas também criar uma nova oportunidade de aumento de rentabilidade para a empresa.

Neste novo contexto, tornou-se ainda mais importante monitorizar cuidadosamente cada etapa, assegurando que os parâmetros técnicos fossem respeitados. Entre eles destacam-se os torques aplicados, a sequência correta de apertos e os cuidados específicos associados a cada operação. Estes detalhes, muitas vezes decisivos para a qualidade final do produto, foram registados com rigor, constituindo a base para a elaboração da instrução de trabalho.

Paralelamente, o acompanhamento do processo garantiu que todas as atividades estivessem em conformidade com os padrões de qualidade definidos. Isso significa não apenas confirmar que o produto final cumpre os requisitos estabelecidos, mas também que o método de execução segue práticas consistentes, repetíveis e alinhadas com as normas internas.

Assim, o acompanhamento deixa de ser apenas uma observação passiva e assume um papel ativo como ferramenta de melhoria contínua, permitindo identificar e corrigir possíveis falhas. Este trabalho cuidadoso garantiu que a transição da montagem do LV-O, do cliente para a fábrica, decorresse de forma controlada e eficiente, reforçando a capacidade produtiva da empresa.

Esta nova montagem teve início em julho de 2024, ano em que foram produzidas 73 unidades. Este primeiro ciclo produtivo permitiu testar e consolidar o processo dentro da fábrica. Para o ano de 2025 a previsão estabelecida foi de alcançar uma produção de 120 unidades, refletindo a confiança adquirida com a experiência inicial e a expectativa de crescimento da empresa.

A figura 39 mostra a nova montagem feita na TRIDEC:

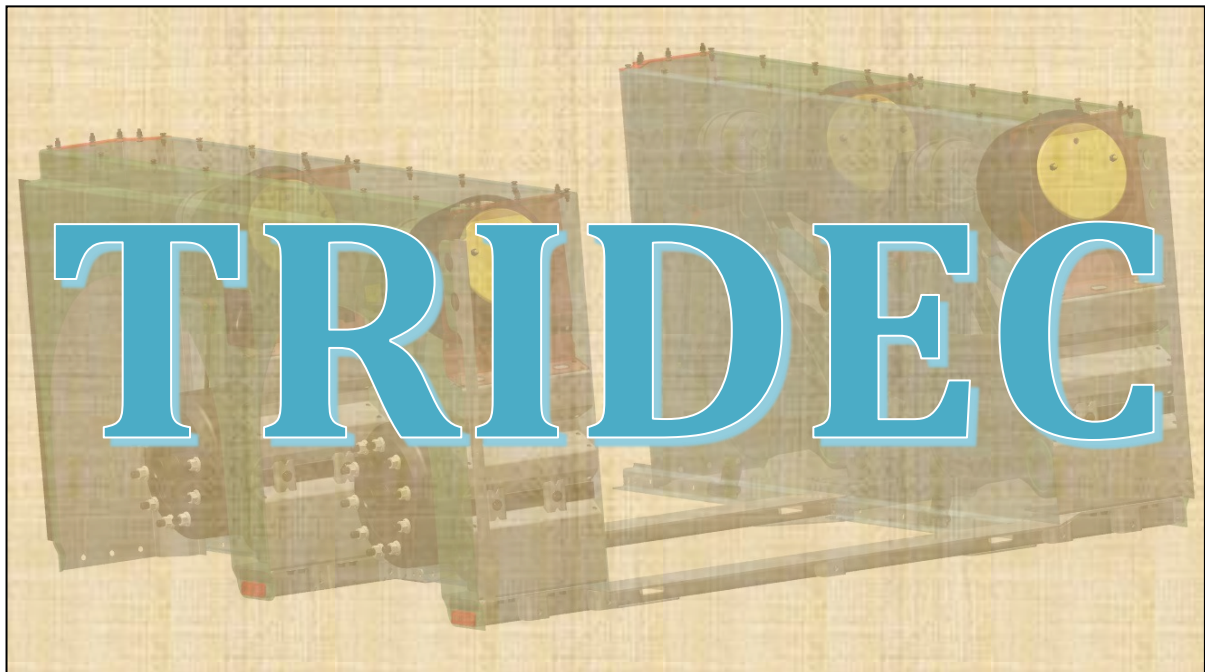


Figura 39 – A nova montagem feita na TRIDEC (LV-O)

4.4.2 Elaboração e Validação da Instrução de Trabalho

Após o acompanhamento inicial do processo, o passo seguinte consistiu na elaboração da instrução de trabalho detalhada e adaptada à montagem do LV-O. Este documento tem como função principal orientar os operadores em todas as etapas da atividade, descrevendo com clareza a sequência de operações, os parâmetros técnicos a respeitar e os cuidados específicos a considerar.

A instrução de trabalho foi elaborada pelo estagiário, com o objetivo de transformar a experiência prática recolhida no acompanhamento em informação estruturada, simples e acessível. Para além de apresentar o passo a passo da montagem, a instrução também inclui referências visuais, como imagens, que facilitam a compreensão e reduzem as dúvidas. Quanto mais clara e objetiva for a informação transmitida, maior será a consistência na execução do trabalho.

Nas Figuras 40 a 45, serão apresentados alguns exemplos, presentes na instrução de trabalho, de passos ou cuidados a ter aquando da montagem final do LV-O.

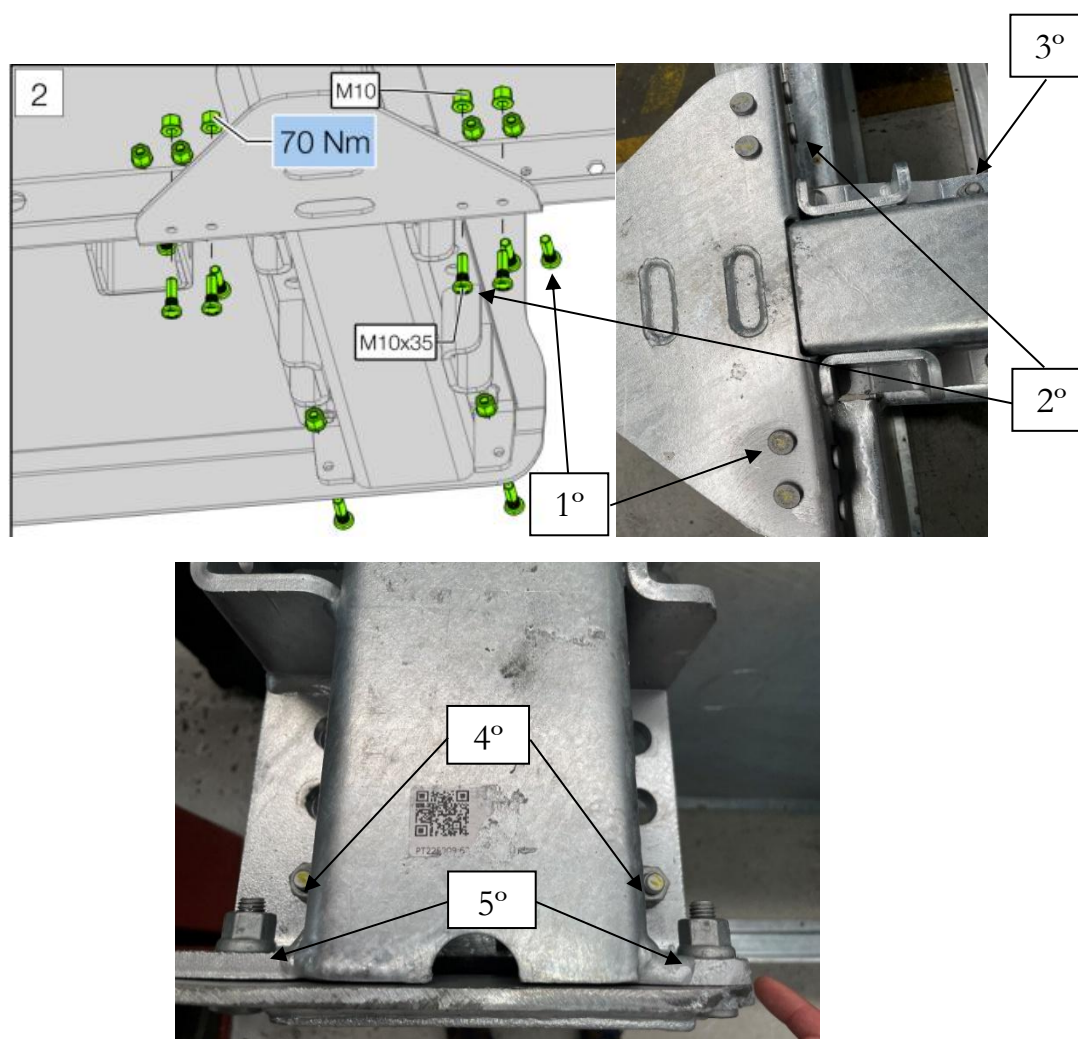


Figura 40 – Sequência de aperto de parafusos (de dentro para fora)

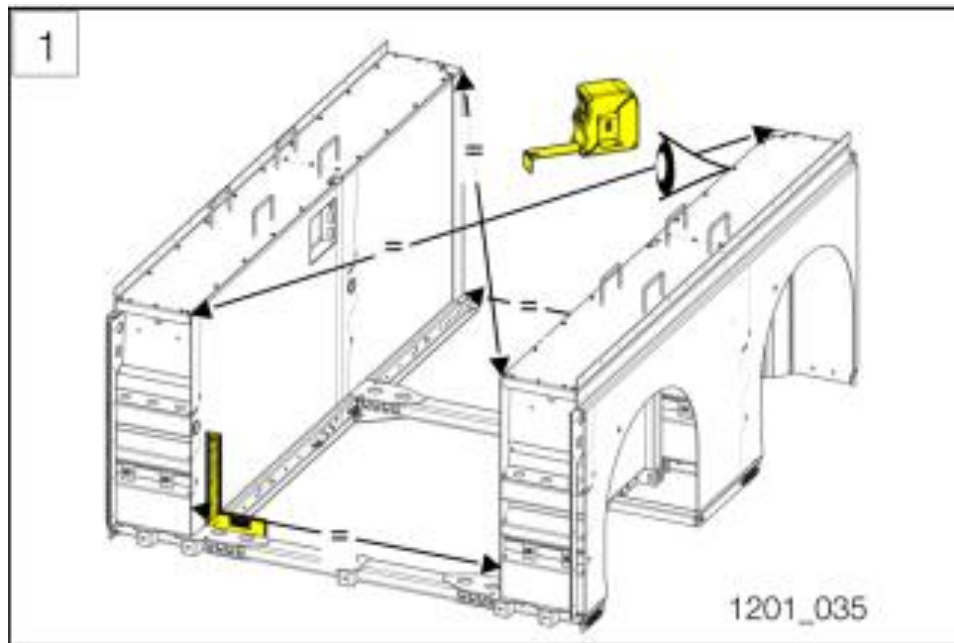


Figura 41 – Garantir a Esquadria



Figura 42 – Segurança (não tocar no conjunto Parafuso+Porca assinalado)



Figura 43 – Uso da grua para auxiliar no processo

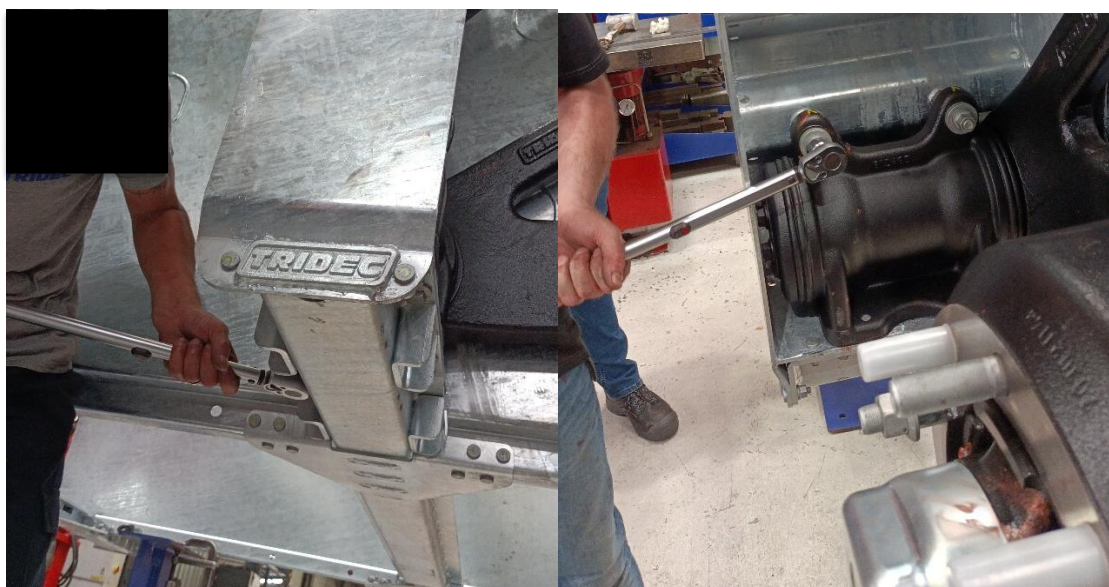


Figura 44 – Apertar os parafusos com o seu respetivo torque (neste caso 300 N.m)



Figura 45 – Marcar os parafusos a amarelo depois de apertados

Uma vez concluída a elaboração do documento, tornou-se essencial realizar a sua validação prática. Este processo consistiu em testar a instrução diretamente na linha de produção, assegurando que todos os passos descritos eram compreensíveis. Durante esta fase, é importante recolher a opinião dos operadores, uma vez que são eles os principais utilizadores da instrução de trabalho e podem identificar melhorias ou pontos que precisam de maior detalhe.

A validação prática não só garantiu que a instrução cumpria a sua função, como também promoveu a construção de um documento que reflete a experiência real da produção. Assim, a instrução de trabalho deixa de ser apenas um registo formal e passa a ser uma ferramenta dinâmica que apoia a padronização, a qualidade e a eficiência do processo produtivo.

Concluída a elaboração e validação da instrução de trabalho do LV-O, foi necessário assegurar a sua tradução para inglês. Esta etapa teve como principal objetivo manter a consistência técnica, garantindo que o documento fosse igualmente acessível a todos os colaboradores, independentemente da sua língua materna.

Sendo a empresa sediada na Holanda e integrada num grupo internacional, a disponibilização de documentação técnica em inglês torna-se uma necessidade estratégica para facilitar a comunicação e a colaboração entre diferentes equipas e unidades. A tradução exigiu especial atenção para que todos os termos técnicos fossem corretamente adaptados, evitando incertezas e garantindo que as instruções mantivessem o mesmo nível de clareza e rigor presentes na versão em português.

Desta forma, a disponibilização da instrução de trabalho em duas línguas reforça a padronização e a fiabilidade do processo, além de contribuir para a integração internacional da empresa.

5 CONCLUSÃO

O estágio realizado na TRIDEC permitiu acompanhar diversas atividades ligadas à melhoria contínua e à automação dos processos produtivos, proporcionando uma visão prática das dinâmicas industriais da empresa. O trabalho desenvolvido contribuiu para a análise cuidada de operações existentes e para o apoio a decisões relacionadas com a automatização das operações do chão de fábrica.

No estudo de implementação do AGV, foi analisada a movimentação interna de materiais, identificando-se os trajetos mais percorridos, os veículos utilizados e os custos associados. A partir dessa avaliação, foi estudada a possibilidade de automatizar os três trajetos mais utilizados, explorando o tipo de AGV, a velocidade, os requisitos de segurança e os custos envolvidos. Este trabalho permitiu à empresa decidir avançar com o projeto apesar do elevado investimento inicial e do longo período de Payback, uma vez que traz benefícios significativos, como o aumento da segurança no chão de fábrica e a redução da dependência de empilhadores.

Relativamente ao estudo de implementação do Cobot, o trabalho incidiu na análise das características das peças do *Guidance Support*, na descrição do seu processo de montagem e na avaliação da execução desta operação através de um Robô Colaborativo. A análise incluiu as ferramentas e acessórios do Cobot, os tempos de produção e também o investimento inicial e a poupança anual, segundo o salário médio de um operador da TRIDEC. Apesar do projeto não seguir em frente, foi possível fornecer à empresa um enquadramento sobre as condições necessárias para considerar esta tecnologia noutras montagens no futuro.

A análise dos tempos de corte e maquinação revelou discrepâncias significativas entre os valores registados e os tempos reais das operações. Essa observação reforçou a necessidade de atualizar sistematicamente os tempos de produção no ERP da empresa (Epicor), de modo a garantir maior rigor no planeamento.

O acompanhamento da nova montagem LV-O permitiu observar detalhadamente todas as etapas do processo, registando os requisitos necessários à sua correta execução, como sequências de aperto, torques e cuidados a ter. A elaboração da instrução de trabalho e a sua validação em ambiente produtivo, garantiu que o documento mostrasse corretamente o método de execução.

Concluindo, os projetos desenvolvidos ao longo do estágio permitiram compreender com maior profundidade o funcionamento dos processos produtivos da TRIDEC e reforçaram a importância de atividades de análise, documentação e melhoria contínua. O estágio representou assim uma oportunidade relevante de aprendizagem, contribuindo para o desenvolvimento de competências técnicas e para a realização de trabalhos com utilidade efetiva para a empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al Naqbi, H., Bahroun, Z., & Ahmed, V. (2024). Enhancing Work Productivity through Generative Artificial Intelligence: A Comprehensive Literature Review. *Sustainability*, 16(3), 1166. doi:<https://doi.org/10.3390/su16031166>
- Ellithy, K., Salah, M., Fahim, I., & Shalaby, R. (2024). AGV and Industry 4.0 in warehouses: a comprehensive analysis of existing literature and an innovative framework for flexible automation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 134(1-2), 15-38. doi:<https://doi.org/10.1007/s00170-024-14127-0>
- Farooq, M., Waseem, M., Mazhar, S., Khairi, A., & Kamal, T. (2015). A Review on Internet of Things (IoT). *International Journal of Computer Applications*, 113(1).
- Gohari, H., Hassan, M., Shi, B., Sadek, A., Attia, H., & M'Saoubi, R. (2024). Cyber-Physical Systems for High-Performance Machining of Difficult to Cut Materials in I5.0 Era—A Review. *Sensors*, 24(7), 2324. doi:<https://doi.org/10.3390/s24072324>
- Gonzalez-Aguirre, J., Osorio-Oliveros, R., Rodríguez-Hernández, K., Lizárraga-Iturralde, J., Morales Menendez, R., Ramírez-Mendoza, R., . . . Lozoya-Santos, J. (2021). Service Robots: Trends and Technology. *Applied Sciences*, 11(22), 10702. doi:<https://doi.org/10.3390/app112210702>
- Holmes, W., & Tuomi, I. (2022). State of the art and practice in AI in education. *European Journal of Education*, 57(4), 542-570. doi: <https://doi.org/10.1111/ejed.12533>
- Islam, M., Sepanloo, K., Woo, S., Woo, S., & Son, Y.-J. (2025). A Review of the Industry 4.0 to 5.0 Transition: Exploring the Intersection, Challenges, and Opportunities of Technology and Human-Machine Collaboration. *Machines*, 13(4), 267. doi:<https://doi.org/10.3390/machines13040267>
- Keshvarparast, A., Battini, D., Battaia, O., & Pirayesh, A. (2023). Collaborative robots in manufacturing and assembly systems: literature review and future research agenda. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 35, 2065-2118. doi:<https://doi.org/10.1007/s10845-023-02137-w>
- Kolasani, S. (2024). Unleashing Exponential Intelligence: Transforming Businesses through Advanced Technologies. *International Journal of Sustainable Development Through AI, ML and IoT*, 3(1), 1-18. Obtido de <https://ijsdai.com/index.php/IJSDAI/article/view/42>
- Laghari, A., Wu, K., Laghari, R., Ali, M., & Khan, A. (2022). A Review and State of Art of Internet of Things (IoT). *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29, 1395-1413. doi:<https://doi.org/10.1007/s11831-021-09622-6>
- Marinelli, M., Deshmukh, A., Janardhanan, M., & Nielsen, I. (2021). Lean manufacturing and Industry 4.0 combinative application: Practices and perceived benefits. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 288-293. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.034>

- Medynski, D., Bonarski, P., Motyka, P., Wysoczanski, A., Gnitecka, R., Kolbusz, K., ... Machado, J. (2023). Digital Standardization of Lean Manufacturing Tools According to Industry 4.0 Concept. *Applied Sciences*, 13(10), 6259. doi:<https://doi.org/10.3390/app13106259>
- Mohajan, H. (2021). Third Industrial Revolution Brings Global Development. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 7(4), 239-251. Obtido de <https://mpr.aub.uni-muenchen.de/110972/>
- Pasquini, N. C. (2020). AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS: UMA ABORDAGEM CONCEITUAL. *Revista Tecnológica da Fatec Americana*, 8(1), 29-44. doi:10.47283/244670492020080129
- Petroni, B. C., Jr., I. G., & Gonçalves, R. F. (2018). *Indústria 4.0: conceitos e fundamentos*. Editora Blucher.
- Powell, D., Strandhagen, J. O., Tommelein, I., Ballard, G., & Rossi, M. (2014). A New Set of Principles for Pursuing the Lean Ideal in Engineer-to-Order Manufacturers. *Procedia CIRP*, 17, 571-576. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.137>
- Sakurai, R., & Zuchi, J. D. (2018). AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS ATÉ A INDÚSTRIA 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, 15(2), 480-491. doi: <https://doi.org/10.31510/infa.v15i2.386>
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(3), 811-833. doi:<http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1940>
- Sundar, R., Balaji, A., & Kumar, R. (2014). A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques. *Procedia Engineering*, 97, 1875-1885. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>
- Szeszák, B. M., Kerékjártó, I. G., Soltész, L., & Galambos, P. (2025). Industrial Revolutions and Automation: Tracing Economic and Social Transformations of Manufacturing. *Societies*, 15(4), 88. doi:<https://doi.org/10.3390/soc15040088>
- TOTVS. (2025). *Automação de processos: tipos, exemplos e como fazer*. Obtido em 20 de Janeiro de 2025, de <https://www.totvs.com/blog/gestao-para-assinatura-de-documentos/automacao-de-processos/>
- Weiss, A., Wortmeier, A.-K., & Kubicek, B. (2021). Cobots in Industry 4.0: A Roadmap for Future Practice Studies on Human-Robot Collaboration. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 51(4), 335-345. doi:<https://doi.org/10.1109/thms.2021.3092684>
- Womack, J., & Jones, D. (2003). Lean Thinking : Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148. doi:10.1038/sj.jors.2600967



**Instituto Superior
de Engenharia**

Politécnico de Coimbra