



Universidade de Aveiro
2022

**GIL COSTA JORGE ANÁLISE E MELHORIA DE MODOS DE
FUNCIONAMENTO COM CASO PRÁTICO NA
RENAULT CACIA**



Universidade de Aveiro
2022

GIL COSTA JORGE

**ANÁLISE E MELHORIA DE MODOS DE
FUNCIONAMENTO COM CASO PRÁTICO NA
RENAULT CACIA**

Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Professor Doutor José António de Vasconcelos Ferreira
professor associado da Universidade de Aveiro

Vogal (arguente principal)

Doutora Marlene Ferreira de Brito
professora Convidada, Isep - Cidem - Centro de Investigação e
Desenvolvimento em Engenharia Mecânica

Vogal (orientador)

Professora Doutora Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos
professora Auxiliar, Universidade de Aveiro

agradecimentos

À Renault Cacia, em especial para os orientadores de estágio, Eng. António José Ribeiro, Eng. David Borlido e Eng. Joaquim Falque, pela oportunidade de desenvolver este projeto, pelo exemplo e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Engenheiro e Amigo Rui Ferreira pela integração e pelos ensinamentos prestados desde o primeiro momento.

À Universidade de Aveiro, em particular à Professora Ana Luísa Ramos, pela disponibilidade, orientação e acompanhamento ao longo deste projeto.

Aos meus pais e à minha família pelo apoio incondicional, sem eles nada disto seria possível.

A todos os meus amigos por todos os momentos que vivemos juntos e o apoio dado nos últimos anos.

palavras-chave

Modos de Funcionamento, Indústria 4.0, Layouts, Sistema Industrial

resumo

Os avanços tecnológicos verificados nos últimos anos estão a desencadear uma 4ª Revolução Industrial, caracterizada pela conexão do mundo físico com o mundo digital na criação de ecossistemas digitais que interligam os diferentes elos da cadeia de valor, desde os clientes, aos fornecedores. As empresas têm redefinido as estratégias segundo este novo paradigma, de modo a obterem uma vantagem competitiva com processos produtivos mais eficientes e mais flexíveis.

Neste contexto, a Renault Cacia, uma das fábricas do Grupo Renault, inserido na Indústria Automóvel, tem procurado implementar projetos que visam acompanhar o elevado ritmo do mercado e a inovação tecnológica.

A linha de montagem da Caixa Diferencial, um dos componentes da Caixa de velocidades JT4, será sujeita a uma intervenção que procura aumentar a capacidade de produção e otimizar o fluxo da peça. Assim, foi necessário fazer um estudo, assente nas bases da Indústria 4.0, para redefinir todo o sistema industrial da Caixa Diferencial, com a criação de novos layouts, processos produtivos e fluxos. O meio utilizado para o estudo foram os Modos de Funcionamento (MdF) e o uso constante deste documento, permitiu também uma análise sobre a metodologia e constituição do mesmo. Isto possibilitou sugerir pontos de melhoria na sua elaboração, organização e utilização.

keywords

Information Systems, Scrum, agile methodologies, Agile, User Storie

abstract

The technological advances seen in recent years are triggering a 4th Industrial Revolution, characterized by the connection of the physical and digital world with focus on the creation of digital ecosystems, that connect the different links in the value chain, from customers to suppliers. Companies have redefined their strategies according to this new paradigm, to gain a competitive advantage with more efficient and more flexible production processes.

In this context, Renault Cacia, one of the factories of the Renault Group, part of the Automotive Industry, has been seeking to implement projects that aim to keep up with the high pace of the market and technological innovation.

The assembly line of the Differential Box, one of the components of the JT4 gearbox, will be subject to an intervention that seeks to increase the production capacity and optimize the flow of the part. Thus, it was necessary to conduct a study, based on the industry 4.0 principles, to redefine the entire industrial system of the Differential Box, with the development of new layouts, production processes and flows. The means used for the study were the Modes of Operation (MdF) and the constant use of this document allowed an analysis about its methodology and structure. This made it possible to suggest improvements in its elaboration, organization, and use.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Motivação e Contextualização	1
1.2. Grupo Renault	1
1.3. Renault Cacia	2
1.4. Âmbito e contexto de desenvolvimento do projeto.....	4
1.5. Objetivos e Metodologia	5
2. Enquadramento Teórico.....	7
2.1. Industria Automóvel.....	7
2.2. Industria 4.0	7
2.2.1. Princípios e Bases da Industria 4.0	8
2.3. <i>Lean Manufacturing</i>	17
2.4. Simulação	17
2.4.1. Vantagens e Desvantagens.....	18
3. Caso Prático.....	19
3.1. Apresentação do Projeto	19
3.2. Modos de Funcionamento	20
3.3. Caixa Diferencial.....	22
3.4. Componentes	22
3.5. Estudo de Hipóteses.....	23
3.5.1. Fluxo	23
3.5.2. Implantação da 4ª Retificadora.....	25
4. Resultados Obtidos.....	28
4.1. Situação Geográfica.....	28
4.2. Esquema Geral da Linha	28
4.3. Envolvente a Montante.....	30
4.4. Envolvente a Jusante.....	30
4.5. Dados Base	31

4.6.	Diversidades	32
4.7.	Organização do Trabalho	33
4.8.	Fluxo e Gestão de Peças	34
4.9.	Embalagens e Gestão dos Meios de Movimentação	39
4.10.	Modo Degradado	39
4.11.	Gestão da Qualidade de Produção.....	41
4.12.	Gestão de Ferramentas.....	43
5.	Conclusão	44
5.1.	Trabalho Futuro.....	44
5.2.	Propostas de Melhoria	45
6.	Referências.....	46
7.	Anexos	50

Índice de Figuras

Figura 1 - Principais áreas da fábrica Renault Cacia	3
Figura 2 - Caixa de Velocidades JT4.....	3
Figura 3 - Caixa Diferencial	4
Figura 4 - Fluxo Inicial entre Soldadura e Traço de Fogo	23
Figura 5 - Fluxo Inicial Caixa Diferencial JT4 - Depois do Traço de Fogo.....	23
Figura 6 - Fluxo Inicial Caixa Diferencial DBx - Depois do Traço de Fogo.....	24
Figura 8 - Fluxo WTB 2023 entre Soldadura e Traço de Fogo	24
Figura 9 - Fluxo WTB 2023 Caixa Diferencial DBx - Depois do Traço de Fogo	24
Figura 10 - Fluxo WTB 2023 Caixa Diferencial JT4 - Depois do Traço de Fogo.....	24
Figura 11 - Layout da Hipótese 1 para as 4 Retificadoras	25
Figura 12 - Layout da Hipótese 2 para as 4 Retificadoras	26
Figura 13 - Layout da Hipótese Escolhida para as 4 Retificadoras.....	27
Figura 14 - Situação Geográfica das Linhas de Montagem MD81 da Caixa Diferencial Esférica JT4/DB35/DB45	28
Figura 15 - Esquema Geral da Linha Inicial.....	28
Figura 16 - Esquema Geral da Linha Ago_Dez 2022	29
Figura 17 - Esquema Geral da Linha WTB 2023	29
Figura 18 - Esquema de Fluxos da Linha Atual	35
Figura 19 - Esquema de Fluxos da Linha Ago_Dez 2022	36
Figura 20 - Esquema de Fluxos da Linha WTB 2023	38
Figura 21 - Modo Degradado Paragem do Robot	40
Figura 22 - Modo Degradado Paragem do Pórtico.....	41
Figura 23 - Esquema de Reintrodução de Peças	42

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Princípios e Bases da Industria 4.0	8
Tabela 2 - H1: Vantagens de Desvantagens	25
Tabela 3 - H2: Vantagens de Desvantagens	26
Tabela 4 - Hipótese Escolhida: Vantagens de Desvantagens	27
Tabela 5 - Envolvente a Montante	30
Tabela 6 - Gama Operatória Inicial.....	31
Tabela 7 - Gama Operatória WTB 2023.....	32
Tabela 8 - Diversidades.....	32
Tabela 9 - Distribuição de Efetivos	33
Tabela 10 - Embalagens.....	39

Lista de Acrónimos e Siglas

AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i> (Veículo guiado automaticamente)
CAMI	<i>Chargè d'Affaire Moyen Industriel</i> (Gestor Industrial Médio Empresarial)
CP	<i>Conceitor de Processo</i>
CPS	<i>Cyber Physical System</i> (Sistemas Cibe-físicos)
CSI	<i>Concepteur Système Industriel</i> (Conceptor de Sistema Industrial)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
I4.0	Industria 4.0
Máq	Máquina
MAL	Máquina de Lavar
MDF	Modos de Funcionamento
OE	<i>Organisateur d'Exploitation</i> (Organizador de Exploração)
OP	Operação
PC	<i>PréContrat</i> (Pré-Contrato)
PFI	<i>Pilote Fonction Industrialization</i> (Piloto da Função de Industrialização)
RO	Rendimento Operacional
SD	<i>System Dynamics</i> (Dinâmica de Sistemas)
SI	Sistema Industrial
TCy	<i>Temps de Cycle</i> (Tempo de Ciclo)
TGA	<i>Tooling Go-Ahead</i> (Ferramentas para Frente)
TMO	Taxa média de ocupação
TI	Tecnologias de Informação
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação
UET	Unidade Elementar de Trabalho

1. Introdução

1.1. Motivação e Contextualização

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da Unidade Curricular Dissertação/Projeto/Estágio, do curso de Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Aveiro e tem como tema central o estudo e descrição de um dos objetivos da fábrica Renault Cacia: garantir um fluxo simplificado, com visão comum para 2 projetos:

- **Projeto *Lean* na Caixa Diferencial:** automatização do controlo traço de fogo e descarga automática da coroa DB.
- **Projeto de aumento da capacidade da coroa DB:** implantação de uma retificadora e automatização da carga nas quatro retificadoras.

A Renault Cacia, parte constituinte da multinacional Renault S.A., tem como principal objetivo marcar posição no mercado competitivo, tendo em conta diversos fatores, tais como, a segurança, a qualidade dos seus produtos e a inovação. Consequentemente, de modo a corresponder às exigências do mercado, aposta em estratégias de melhoria contínua dos seus processos, através de métodos apresentados no presente trabalho.

1.2. Grupo Renault

O Grupo Renault, fundado em 1899 por Louis Renault e os irmãos, é uma multinacional francesa construtora de automóveis e está presente em 134 países, onde produz atualmente automóveis ligeiros e comerciais. Durante a primeira guerra mundial, a empresa transformou camiões, macas, ambulâncias e tanques FT17 que deram um contributo decisivo para a vitória final.

Nos anos seguintes, modernizou as suas instalações, iniciando a primeira linha de produção em Billancourt em 1929. Devido à crise económica da época e às exigências das forças alemãs na segunda guerra mundial, a Renault foi nacionalizada em 1945, tornando-se a Régie Nationale des Usines Renault (RNUR). Nesse momento, como empresa nacional, modernizou as suas fábricas e construiu novos locais de produção.

A empresa continuou a crescer até ao início da década de 1980. A renovação da gama automóvel ganhou ritmo com o lançamento de dois modelos de topo de gama: Renault 25 e Espace. Com o sucesso conquistado em anos anteriores nos desportos motorizados, a marca acabou por entrar na Fórmula 1. Ao iniciar uma política drástica de redução de custos e ao recentrar-se nas suas competências nucleares, a Renault iniciou uma má fase em 1987.

O grupo considerou uma fusão com a Volvo, mas o projeto foi abandonado em 1993. A privatização da empresa em julho de 1996 foi um grande marco na sua história. Tirando partido da sua nova autonomia, assumiu uma participação na Nissan em 1999. Nos anos seguintes continuou a inovar e a renovar a sua gama com veículos, incluindo a Mégane e a Laguna. O sucesso na Fórmula 1 elevou o perfil da marca. A Aliança Renault-Nissan consolidou a sua estrutura e continuou a desenvolver novas sinergias. Com a aquisição da Samsung Motors e da Dacia, o grupo acelerou a sua expansão internacional. O lançamento do Logan foi uma parte fundamental da estratégia de conquista de mercados emergentes.

1.3. Renault Cacia

A Renault Cacia, fábrica do Grupo Renault, produz atualmente caixas de velocidades assim como vários componentes para motores, nomeadamente bombas de óleo, árvores de equilibragem e outros componentes em ferro fundido e alumínio. A totalidade dos produtos destina-se a fábricas RENAULT e NISSAN de montagem veículos e de mecânica situadas em países como Espanha, França, Roménia, Turquia, Eslovénia, Brasil, Chile, Marrocos, África do Sul, Irão e Índia.

A empresa está dividida em 2 polos, um que produz caixas de velocidades e outro que produz componentes motores. A imagem seguinte apresenta a forma de divisão das principais áreas da fábrica de Cacia.

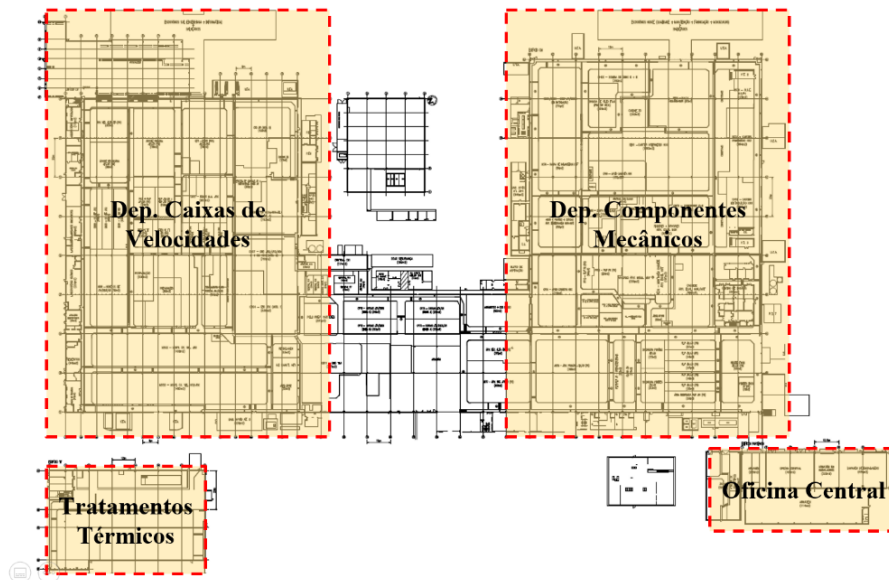


Figura 1 - Principais áreas da fábrica Renault Cacia

O elevado controlo de qualidade e ensaios altamente sofisticados permitiram reafirmar a sua posição e ganhar projetos como a produção da nova caixa de 6 velocidades JT4 e da nova peça Cárter Chapéu, um componente mecânico a ser integrado aos motores HR12VDV dos carros de cilindrada 1000.

Neste momento, a Renault Cacia dedica-se essencialmente a produção em massa da caixa de velocidade JT4. Este novo projeto exigiu que as antigas linhas de montagem da JR e ND fossem desativadas, reconfiguradas e alteradas. Este processo está localizado no Edifício das Caixas de Velocidades. Os componentes sofrem um conjunto de operações, como maquinação, soldadura, fresagem e ou torneamento.

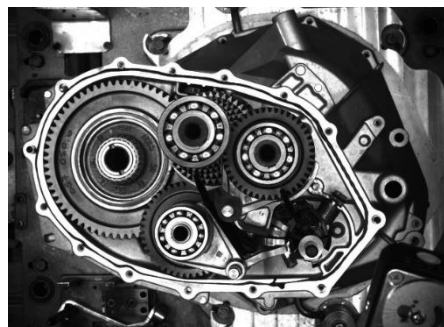


Figura 2 - Caixa de Velocidades JT4

1.4. Âmbito e contexto de desenvolvimento do projeto

Este projeto será desenvolvido com principal foco no processo de montagem das caixas diferenciais JT4, DB35 e DB45. Este processo inclui várias operações, sendo as principais a Soldadura, Quarentena e Traço de Fogo, a Retificação, a Montagem de POE's e a Soldadura da *Cible* no caso das caixas diferenciais DB 35 e DB 45.



Figura 3 - Caixa Diferencial

No início do projeto o fluxo das peças entre estas operações era o seguinte:

1. As coroas, provenientes do Torneamento Duro e os Diferenciais, provenientes da Maquinação, são carregadas nas Ilhas de Soldadura 1 e 2;
2. Após a "rodage" e a lavagem, as peças soldadas são descarregadas por um colaborador do transportador para o carro e transportadas, via AGV, para a Gare 2 onde fazem quarentena de 2 (JT4) ou 5 (DB35 e DB 45) dias;
3. As peças passam um controlo ultrassons e voltam, via AGV para junto das retificadoras onde são carregadas por um colaborador;
4. Depois de retificadas as caixas diferenciais são colocadas no transportador de entrada do pórtilco que faz o transporte para a máquina de lavar;
5. De seguida as peças são descarregadas automaticamente da máquina de lavar e transportadas para o controlo traço de fogo;
6. As caixas diferenciais JT4 seguem para a montagem de POE's e as DB35 e DB45 são embaladas e exportadas para França onde era soldada uma *cible*.

Tendo em conta o potencial de melhoria deste fluxo e os objetivos da Renault, foi definido intervir neste processo com a automatização do controlo traço de fogo e a descarga automática da coroa DB e implantar uma nova retificadora com automatização da carga nas quatro retificadoras.

1.5. Objetivos e Metodologia

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho passou por efetuar, em primeiro lugar, uma revisão bibliográfica que permitiu, ao mesmo tempo, aumentar o leque de conhecimentos na área, bem como sustentar as implementações práticas.

O desafio proposto foi desenvolvido principalmente no setor das caixas de velocidades, no departamento de Engenharia.

Numa fase inicial passou pela familiarização com a empresa e respetivos departamentos, com a análise, atualização e desenvolvimento dos modos de funcionamento. Este documento standard descreve o sistema industrial de produção de uma peça e tem presente elementos como a descrição do fluxo produtivo, logístico, maquete de efetivos com as análises ergonómicas, controlos de qualidade e gestão de ferramentas. A evolução e alteração constantes das linhas exige que estes documentos estejam permanentemente atualizados. Ao iniciar um novo projeto de uma linha inexistente, é necessário criar um documento de origem, para com ele iniciar esse mesmo projeto. A presença em vários projetos permitiu-me aumentar o conhecimento dos vários processos pois foi necessário analisar várias linhas existentes e posteriormente recolher informações e dados para atualizar os respetivos modos de funcionamento. Para além disso, estive responsável pela atualização de modos de funcionamento de linhas onde estavam a decorrer projetos de alteração de diversidades ou aumentos de capacidade.

Ao longo de todo o estágio foi imprescindível participar em reuniões e discussões dos mais variados projetos e inevitavelmente ter contacto constante com vários intervenientes como:

- CSI's (Concessor do Sistema Industrial): responsáveis por estudar layouts, condução de trabalhos, elaboração de Modos de Funcionamento, embalagens, entre outros.

- Manut's: responsáveis por todos os sistemas de transporte e manipulação de peças como ilhas robotizadas, pórticos e transportadores;
- PFI (Piloto de Função Industrial): responsável por gerir tudo o que envolve o projeto;
- CA (Chefe de Atelier): responsável por um atelier da fábrica;
- CUET's: responsáveis de linha;
- Entre outros.

2. Enquadramento Teórico

2.1. Indústria Automóvel

Em todo o mundo, as empresas do setor automóvel cresceram de forma exponencial e para se manterem competitivas contrataram outras empresas (Lars Holmqvist, 2006).

Este desenvolvimento, associado ao aumento de consumo no sector, obrigou os fornecedores a consolidar competências baseadas em qualidade, custos e prazos, assim como desenvolver capacidades de engenharia. Os fabricantes recorrem cada vez mais a estratégias de outsourcing no desenvolvimento dos seus produtos, tornando os seus fornecedores membros ativos (INTELI, 2005).

Os prazos de entrega muito apertados e a necessidade de praticar preços reduzidos formataram as empresas para uma produção *just-in-time* e para a adoção de técnicas de produção *Lean*. Verificou-se que muitos produtores não foram capazes de acompanhar esta evolução, surgindo assim um grupo reduzido de fornecedores, com capacidades tecnológicas e meios industriais capazes de produzir peças e componentes de alta qualidade, tornando este mercado extremamente competitivo (Oliveira, 2009).

2.2. Indústria 4.0

Os avanços tecnológicos foram extremamente importantes para a evolução da Indústria. As revoluções industriais, acompanhadas dos grandes avanços tecnológicos culminaram no aparecimento da Indústria 4.0. Este novo modelo de indústria é a combinação das conquistas tecnológicas dos últimos anos com a visão de um futuro com sistemas de produção inteligentes e automatizados, no qual o mundo real é ligado a virtual. A característica principal da Indústria 4.0 é interligar máquinas e sistemas permitindo criar redes inteligentes e assim controlar a produção de forma mais rápida e eficaz.

O maior impacto produzido pela Indústria 4.0 são as mudanças que a mesma irá trazer. Essas mudanças consistem por exemplo, em novos modelos de negócio e um mercado cada vez mais exigente. Devido ao fator de rapidez da automação os produtos podem ser customizados, e esse fator tende a ser uma variável a mais no processo de produção, mas

as fábricas inteligentes serão capazes de levar a personalização de cada cliente em consideração, adaptando-se às preferências (Sakurai & Zuchi, 2018).

2.2.1. Princípios e Bases da Indústria 4.0

Após a leitura de vários artigos, concluí que a Indústria 4.0 rege-se por 15 princípios e bases que permitem analisar e planejar os cenários mais apropriados para cada empresa.

Princípios e Bases da Indústria 4.0
Eficiência e Produtividade
Integração
Flexibilidade e adaptabilidade
Arquitetura descentralizada e distribuída
Satisfação do cliente através da personalização
Visão Global
Colaborativa
Virtualização
Modelação
Robusta e confiável
Gestão de informações em tempo real
Tomada de decisão otimizada por dados
Segurança e proteção
Serviço ao Cliente
Autonomia e inteligência

Tabela 1 - Princípios e Bases da Indústria 4.0

- **Eficiência e produtividade**

O aumento da produtividade tem acompanhado as alterações potenciadas por cada revolução industrial (Pereira & Romero, 2017).

Um dos principais desafios da Indústria 4.0 é demonstrar que os recursos investidos na implementação de tecnologia com a infraestrutura existente podem otimizar a produtividade e eficiência. (Kagermann & Technik, 2017)

- **Integração**

A Indústria 4.0 permite-nos fazer uma integração de sistemas de tecnologias de informação nas empresas. Podemos ter uma integração horizontal ou vertical. (Pereira & Romero, 2017).

- Integração horizontal: integração de sistemas de tecnologias de informação (TI) nas diferentes fases do processo e planeamento de negócios que envolvem troca de materiais, energia e informações dentro de uma empresa;
- Integração vertical: integração de diferentes sistemas de TI em diferentes níveis hierárquicos.

A integração vertical é provavelmente a área mais ativa nesta revolução industrial pois permite integrar máquina a máquina no chão de fábrica e integrar os clientes no sistema de produção. Isto permite obter feedback dos clientes e a integração de produtos e serviços onde as condições do produto em uso podem ser geridas diretamente pelos produtores. Desta forma, a cadeia de valor é estendida ao atendimento ao cliente (Chen, 2017).

No entanto, os sistemas existentes não podem ser substituídos de forma repentina por sistemas orientados a serviços. É essencial integrar novos sistemas e tecnologias com os existentes e atualizar os sistemas antigos para sistemas que funcionem em tempo real (Kagermann et al., 2013).

- **Flexibilidade e adaptabilidade**

A visão da Indústria 4.0 implica o uso da IoT dentro do contexto das fábricas para realizar uma maior flexibilidade e adaptabilidade dos sistemas de produção (Weyer et al., 2015). Por sua vez, a alta variabilidade nos pedidos de produtos e a necessidade de ciclos de vida mais curtos exigem uma estrutura de produção ágil, flexível e que possa ser rapidamente reconfigurada para novos pedidos.

A Indústria 4.0 baseada em CPS permite a configuração dinâmica de diferentes aspetos dos processos de negócios, como qualidade, tempo, risco, robustez, preço e respeito ao meio ambiente. Permite também que os processos de engenharia possam ser executados com mais agilidade e os processos de fabricação possam ser alterados ou reconfigurados de forma flexível (Kagermann et al., 2013).

- **Arquitetura descentralizada e distribuída**

A Indústria 4.0 dita o fim de aplicações centralizadas no controlo de produção. A visão de ecossistemas dentro de fábricas inteligentes que incluem objetos autónomos e inteligentes nas áreas de produção é inerentemente descentralizada. A combinação de CPS e CPPS trouxe mudanças significativas no controlo de produção, movendo-a para sistemas completamente descentralizados. A descentralização não precisa ser necessariamente física, mas sim lógica, por exemplo, podemos ter um produto inteligente ou um CPS, com capacidade de se identificar e conectar implementado num sistema fisicamente centralizado (Almada-Lobo, 2015). A computação em nuvem fornece uma solução eficaz para esses desafios. Todos os dados podem ser armazenados em servidores. (Xu et al., 2018).

- **Satisfação do cliente através da personalização**

À medida que a saturação do mercado aumenta, os mercados têm-se transformando em mercados compradores, forçando a indústria a diferenciar seus produtos. (Keller et al., 2014).

Na Indústria 4.0, a mudança da produção em massa para a personalização em massa desempenha um papel fundamental. Cada produto, no final da cadeia de abastecimento, possui características únicas definidas pelo cliente final.

Assim, cada serviço individual prestado por CPPS estará disponível para realizar as atividades necessárias à criação de produtos personalizados (Almada-Lobo, 2015).

- **Visão Global**

A Indústria 4.0 procura alcançar uma visão global das operações fabris, o que só pode acontecer integrando dados de várias fontes diferentes, o que por sua vez gera grandes quantidades de informação (Almada-Lobo, 2015).

O objetivo de uma fábrica digital na Indústria 4.0 é o planeamento, avaliação e melhoria contínua de todas as principais estruturas, processos e recursos da fábrica real em conjunto com o produto. Com o surgimento da IoT, passou a existir uma circulação de dados, hardware, software e inteligência, que permitem interação, armazenamento, análise e visualização de dados adquiridos por meio de máquinas e redes inteligentes para

ajudar a tomada de decisão. Todo o potencial da IoT é alcançado por meio da integração de três componentes: equipamentos inteligentes, sistemas inteligentes e decisão inteligente. (Sczyrba et al., 2017).

A produção inteligente permite que todos os processos físicos e fluxos de informações estejam disponíveis quando e onde forem necessários, desde pequenas e médias empresas até grandes empresas (Sczyrba et al., 2017). Assim, a Indústria 4.0, por meio da IoT e da computação em nuvem, permite uma visão global de todos os processos de produção, e por meio de dispositivos móveis é possível obter acesso independente, de forma temporal e espacial, a processos e serviços de sistemas autônomos (Jazdi, 2014).

- **Colaborativa**

Hoje, numa fábrica da Indústria 4.0, tanto as máquinas como os processos, os sistemas e as pessoas estão conectados como uma comunidade colaborativa (Lee et al., 2015), capaz de trocar informações em tempo real, desencadear ações e controlar-se de forma autônoma, conseguindo tomar decisões.

No entanto, a promoção da aprendizagem orientada para a Indústria 4.0 e a cooperação entre todas as hierarquias (por exemplo, engenheiros de fabricação, engenheiros de automação, engenheiros de TI, entre outros) é recomendada para poder oferecer uma abordagem de engenharia de sistemas. Isso exigirá que as diferentes camadas tenham uma compreensão mútua da posição e abordagem de cada uma, adotando uma visão integrada da estratégia e dos processos de negócios (Kagermann et al., 2013).

Para aumentar a produtividade, a colaboração é uma das principais fontes de crescimento da Indústria 4.0. Implica trabalhar em conjunto nas diferentes dimensões homem-homem, homem-máquina e máquina-máquina (Schuh et al., 2014).

Clusters, por exemplo, são um método útil para a implementação da Indústria 4.0. Clusters são concentrações geográficas de empresas interconectadas, fornecedores especializados, fornecedores de serviços e instituições associadas num determinado negócio e estão presentes na mesma área ou região (Porter, 2000).

Os clusters oferecem centros de excelência onde o conhecimento é desenvolvido num ambiente propício para testar as tecnologias da Indústria 4.0, proporcionando uma incubadora para o desenvolvimento da Indústria 4.0.

- **Virtualização**

A virtualização nos processos de fabricação refere-se à identificação da lógica das operações em recursos físicos para sua tradução para o mundo virtual.

A virtualização também é uma simulação virtual dos dados reais de um processo, produto ou serviço para evitar erros, modificar parâmetros e prever comportamentos. Permite conectar o mundo físico com o digital, permitindo que ambos trabalhem como se fossem um. (Sczyrba et al., 2017).

A virtualização pode ser implementada desenvolvendo de sistemas CPS, que são a principal tecnologia da Indústria 4.0 (Kagermann et al., 2013). No CPS, componentes físicos e de software estão profundamente interligados, representando um nível superior de integração e coordenação entre os elementos físicos e computacionais. Através da virtualização com desenvolvimento do CPS, as máquinas poderão comunicar entre si e consequentemente otimizar a produção (Xu et al., 2018).

- **Modelação**

Os sistemas modulares são capazes de se adaptar de forma flexível às mudanças de requisitos, substituindo ou expandindo módulos individuais. Portanto, os sistemas modulares podem ser facilmente ajustados em caso de flutuações sazonais ou mudanças nas características do produto (Hermann et al., 2015).

A modelação é um meio que permite aumentar a variedade de produtos, que são produzidos por tecnologias baseadas em ferramentas. Para uma modelação bem-sucedida, a arquitetura do produto deve ser separada em subsistemas com poucas interdependências. (Keller et al., 2014).

As técnicas de modulação e simulação permitem que as unidades descentralizadas alterem os produtos de forma flexível, beneficiando a rápida inovação do produto (Keller et al., 2014).

- **Robusta e confiável**

Na Indústria 4.0, as empresas devem ser operacionalmente robustas e confiáveis. Esses requisitos dependem do bom funcionamento do sistema. Os elementos necessários para fornecer segurança operacional são: taxas de falhas muito baixas, alta tolerância a falhas (ou seja, a capacidade de continuar a trabalhar corretamente mesmo quando ocorrem falhas), robustez e confiabilidade (Kagermann et al., 2013).

Desde o desenvolvimento do conceito de manutenção preventiva e manutenção produtiva total em 1951, as práticas de manutenção evoluíram não apenas com foco em questões de qualidade, mas também com foco na criação de valor e serviços inteligentes (Lee et al., 2015).

Essa evolução levou ao desenvolvimento de serviços inteligentes de diagnóstico e manutenção, bem como ferramentas para gerir e controlar o estado dos processos (Caggiano, 2018);

É muito importante poder detetar o desgaste dos ativos sem interromper a produção ou prever falhas de componentes e outras interrupções (Kagermann et al., 2013).

O diagnóstico e a previsão de falhas de equipamentos serão uma prática comum na produção inteligente (Tao et al., 2018). Com base em dados sensoriais adquiridos na fábrica, o diagnóstico inteligente pode exibir informações sobre degradação de ativos, vida útil, prever falhas de ativos ou descobrir inconsistências ou ineficiências do processo. (Caggiano, 2018).

- **Gestão de informações em tempo real**

A Indústria 4.0 é baseada nas oportunidades oferecidas pela disponibilidade de informações relevantes de qualquer lugar em tempo real (Rossaint et al., 2016). Implica o uso de análise de dados em tempo real de várias máquinas, processos e sistemas para posteriormente automatizar a fabricação (Xu et al., 2018).

Além disso, os dados recolhidos e analisados em tempo real permitem acompanhar e analisar permanentemente o estado da fábrica. Assim, a fábrica poderá reagir à falha de uma máquina e redirecionar os produtos para outra.

Além disso, diagnósticos em tempo real sobre as condições dos ativos permitem otimizar a vida útil dos equipamentos, por meio da implementação de estratégias de administração, manutenção e monitorização de forma inteligente (Caggiano, 2018).

- **Tomada de decisão otimizada por dados**

Para ter sucesso num mercado global, é essencial ser capaz de tomar as decisões certas, num período de tempo muito curto. A Indústria 4.0 fornece transparência de ponta a ponta em tempo real, permitindo a verificação antecipada de decisões de engenharia, respostas mais flexíveis a interrupções e otimização global no nível de produção (Kagermann et al., 2013).

Os dados tornaram-se parte integrante da tomada de decisões na fabricação. O aumento no volume, variedade e velocidade de dados foi desencadeado pela IoT, pelo aumento do uso de sensores inteligentes e tecnologia sem fio nas linhas de produção. Os dados recolhidos por meio de redes IoT ajudam a acelerar a tomada de decisões oportunas (Xu et al., 2018).

O crescente volume de dados na Indústria 4.0 abre as portas para a entrega de valor a partir dos dados. Em geral, existem dois componentes principais que suportam a gestão de dados na Indústria 4.0, a infraestrutura do sistema e a análise de dados.

A infraestrutura do sistema permite conectividade e garante a comunicação em tempo real entre instalações e dispositivos, incluindo componentes relacionados à recolha, transferência, armazenamento e computação de dados num ambiente distribuído.

O outro componente importante é a análise de dados, que permite obter informações a partir dos dados elaborados pela infraestrutura do sistema e pode ser classificada em três tipos: análise descritiva baseada em funções estatísticas, análise preditiva e análise prescritiva (Xu & Duan, 2019).

A análise preditiva tornou-se a melhor fonte para extrair conhecimento relacionado à produção (Tao et al., 2018). Os métodos preditivos podem ser categorizados em 5 tipos: regressão, árvores de decisão, redes neurais artificiais, máquinas de vetores de suporte e análise *Bayesiana*. As análises prescritivas são importantes porque procuram o plano ótimo com o menor custo total, e existem dois tipos principais: programação matemática e estudos heurísticos.

Com a chegada do *Big Data*, são necessárias novas técnicas de análise e tratamento de dados, pois os métodos tradicionais podem falhar ao tentar extrair informações úteis de estruturas complexas (Najafabadi et al., 2015).

- **Segurança e proteção**

Segurança e proteção são dois aspetos fundamentais para o sucesso dos sistemas de produção inteligentes, das instalações de fabricação e dos produtos que fabricam. É importante garantir que as próprias instalações de produção, máquinas e produtos não representam perigo para as pessoas ou para o meio ambiente. Ao mesmo tempo, tanto as instalações de produção, como os produtos e o próprio sistema devem ser protegidos contra uso indevido e acesso não autorizado (proteção de acesso, segurança contra ataques, segurança de dados, informações e o conhecimento que estes contêm). Isso exigirá a implantação de arquiteturas que integrem estratégias de proteção, segurança e identificadores exclusivos, juntamente com melhorias relevantes em formação e desenvolvimento profissional contínuo.

Os objetivos das medidas de segurança são aumentar a confidencialidade (a restrição de acesso a dados ou serviços para máquinas e utilizadores específicos), integridade (precisão e integridade dos dados e o correto funcionamento dos serviços) e disponibilidade (um meio de medir a capacidade de um sistema para executar uma função em um determinado momento) (Kagermann et al., 2013).

- **Serviço ao Cliente**

A orientação para o serviço e o estabelecimento de novos modelos de negócios colaborativos são pré-condições para que as indústrias se mantenham competitivas no contexto global (Wiesner et al., 2016).

A Indústria 4.0 abre novas formas de criar valor e como usá-lo, por exemplo, por meio de serviços. Algoritmos inteligentes podem ser aplicados a grandes quantidades de dados registados por dispositivos inteligentes para fornecer serviços inovadores. Existem oportunidades importantes para que *startups* e pequenas e médias empresas possam desenvolver serviços *business to business* para a Indústria 4.0 (Kagermann et al., 2013).

- **Autonomia e inteligência**

O conceito "inteligente" é central na estrutura da Indústria 4.0. Embora não haja uma definição precisa, uma definição que vá ao encontro da visão de vários autores está associada a dispositivos independentes e autônomos que podem comunicar em tempo real e cooperar num ambiente inteligente com outros dispositivos inteligentes, tomar decisões e agir com base nas informações obtidas. (Pereira & Romero, 2017).

Lee et al. (2015) apresentaram dois níveis de inteligência:

- O nível cognitivo gera um conhecimento profundo do sistema, dando suporte na tomada de decisão correta, gera diagnósticos e previsões, bem como mostrar o conhecimento adquirido aos utilizadores. Uma vez que as informações e o estado das máquinas estão disponíveis, as pessoas podem tomar melhores decisões, por exemplo, sobre a prioridade das tarefas para otimizar processos (Lee et al., 2015)
- O nível de configuração é o *feedback* do ciberespaço para o espaço físico e atua como um controlo de supervisão para as máquinas se autoconfigurarem. Esta fase atua como um meio de controlo que aplica decisões corretivas e preventivas ao sistema monitorizado, que foram tomadas no nível cognitivo (Lee et al., 2015)

O nível de configuração representa a visão mais profunda, completa e inteligente da Indústria 4.0, caracterizada por redes de recursos de fabricação (máquinas de fabricação, robôs, sistemas de armazenamento, transporte e instalações de produção) que são autônomos, capazes de se autocontrolar em resposta a diferentes situações, com capacidade de se configurarem com base no conhecimento, dotados de sensores dispersos espacialmente que incorporam a informação aos sistemas de planeamento e administração mais relevantes.

As cadeias de valor serão organizadas e otimizadas em tempo real com base numa variedade de critérios, como custo, disponibilidade ou consumo de recursos (Kagermann et al., 2013).

Para realizar processos de fabricação eficientes e flexíveis, sistemas, máquinas e processos precisam da capacidade de autoconfiguração e otimização. Isso requer um grau

de habilidades cognitivas que permitem que máquinas e processos se adaptem às mudanças e otimizem seus parâmetros em tempo real (Rossaint et al., 2016).

O CPS, estando em intensa ligação com o mundo físico envolvente e com os seus processos em curso, através dos serviços de acesso e tratamento de dados, tem capacidade para atingir as finalidades acima referidas. Com a introdução do CPS, as máquinas poderão comunicar entre si e os sistemas de controle descentralizados poderão otimizar a produção (Xu et al., 2018).

2.3. Lean Manufacturing

Com o processo de globalização, o mercado mundial tornou-se ainda mais competitivo, exigindo a redução de custos e melhores níveis de produtividade e qualidade, sem prejudicar a saúde e a segurança dos trabalhadores.

O sistema de *Lean Manufacturing*, surgiu da necessidade das empresas japonesas do setor automobilístico, em especial a Toyota Motor Company, desenvolverem métodos diferentes de fabricar veículos em relação aos utilizados pela indústria americana, onde o destaque era o sistema de produção em massa da Ford Company e General Motors, pois perceberam que não conseguiriam competir com base nos mesmos conceitos. Daí resultou um novo modelo de sistema de produção, conhecido como *Lean Manufacturing* (Riani, 2006).

Lean é uma filosofia de fabricação que reduz o tempo de espera entre o pedido do cliente e o envio dos produtos ou peças através da eliminação de todas as formas de desperdício. Esta metodologia permite reduzir custos, tempos de ciclo e atividades desnecessárias e sem valor acrescentado, tornando as empresas mais competitivas, ágeis e versáteis no mercado (Bhamu & Sangwan, 2013).

2.4. Simulação

Uma vez que os Sistemas Industriais estão cada vez mais complexos é crucial simular e modelar o mundo físico para analisar seus outputs e reduzir o tempo de desenvolvimento e produção (Prist et al., 2020). A Simulação vai tirar vantagem dos dados fornecidos num modelo virtual a partir da comparação com um modelo físico constituído por máquinas,

produtos e até mesmo recursos humanos, que vem trazer formas de otimização e aumento de qualidade significativos (Kamarul Bahrin et al., 2016). A recolha dos inputs corretos é crucial para que o modelo gerado seja o mais real e próximo da realidade que se espera. Para se obter o sistema desejado é essencial ter a informação e dados corretos de modo que a análise dos outputs do modelo seja o pretendido (Tao et al., 2019).

2.4.1. Vantagens e Desvantagens

A simulação tem aplicação na indústria, nos serviços e em todas áreas de negócio que apresentam algumas incertezas nos seus processos. Existem vantagens e desvantagens nesta abordagem.

Este estudo tem vantagens como a previsão da performance do sistema real e a informação sobre a interação que as diferentes variáveis têm pode ser retirada. Para além disso, possibilita compreender como os diferentes elementos do modelo interagem e analisa diferentes hipóteses do sistema podem ser testadas, apresentando-se assim como uma excelente forma de comunicação de medidas de desempenho e análises estatísticas. Permite também testar Sistemas de transporte, layouts e elementos físicos, antes mesmo de serem comprados e implementados (Hocaoğlu & Genç, 2019); (Morgan et al., 1984)).

É notório que um estudo de simulação traz um vasto leque de vantagens para a empresa, no entanto, existem também algumas limitações e desvantagens como a prática exigida para construir um bom modelo. Por vezes, os resultados dos relatórios são difíceis de compreender, uma vez que a simulação opera com variáveis aleatórias e a construção do modelo e a sua análise pode exigir muito tempo (Morgan et al., 1984).

3. Caso Prático

3.1. Apresentação do Projeto

Com o objetivo de acompanhar as exigências do mercado a Renault Cacia apostam estratégias de melhoria contínua dos seus processos. Foi definido uma intervenção na caixa diferencial. O desafio passava por aumentar a capacidade de produção anual da linha e melhorar o fluxo geral da peça.

Fases do processo:

- **Prensagem:** a coroa e a caixa diferencial nua sofrem uma prensagem para juntar as duas peças;
- **Soldadura a Laser:** após a prensagem as peças são juntas em definitivo por uma soldadura a laser;
- **Arrefecimento:** para evitar fissuras na soldadura a peça passa por um processo de arrefecimento;
- **Controlo 100% Ultrassons:** todas as peças são sujeitas a um controlo ultrassons para verificar a qualidade da soldadura;
- **Lavagem:** para eliminar a possível presença de gralha e óleo das operações anteriores, a caixa diferencial passa por uma máquina de lavar onde sofre uma lavagem;
- **Retificação do Dentado:** a coroa da caixa diferencial passa por uma das três retificadoras presentes na linha para retificar o dentado;
- **Lavagem Final:** a peça volta a passar por uma lavagem antes de avançar para o controlo final;
- **Traço de Fogo:** controlo que confere a conformidade da caixa diferencial final.

Como a retificação é o processo tampão da linha foi definido como principal prioridade de intervenção e aquisição de uma nova retificadora.

O *Want To Be* é uma metodologia utilizada pela Renault onde define estratégias sequenciadas em várias etapas para alcançar os objetivos propostos para um determinado projeto. Neste caso, foi definida como meta final 2023 onde os principais objetivos são

automatizar o controlo traço de fogo, a descarga da coroa DB e a implantação de uma retificadora e automatização da carga nas quatro retificadoras.

Com isto, foi-me proposto que desenvolvesse um estudo para redefinir o novo modo de funcionamento para a linha.

3.2. Modos de Funcionamento

Documento standard obrigatório que descreve o sistema industrial de produção de uma peça, neste caso é a descrição do fluxo produtivo, logístico, maquete de efetivos com as análises ergonómicas, controlos de qualidade e gestão de ferramentas. A evolução e alteração constantes das linhas exige que estes documentos estejam permanentemente atualizados. Ao iniciar um novo projeto de uma linha inexistente, é necessário criar um documento de origem para com ele iniciar esse mesmo projeto.

O Modo de Funcionamento (MDF) é indispensável para validar a produção de qualquer peça, isto é, antes mesmo de uma linha começar a sua produção, um estudo da forma como a linha irá comportar-se desde o abastecimento de brutos para a linha fabricar o produto final a todos recursos que processam ou contribuem para que a peça seja moldada até chegar ao cliente final. Em suma, o MDF é um documento físico que evidencia a maneira como a linha se comporta.

Tópicos:

- **Contexto da linha:** envolvente a montante, envolvente a jusante, situação geográfica e esquema geral da linha;
- **Dados de base:** gama de fabricação do produto, diversidade produto, quantidade/distribuição da diversidade, capacidades de produção, evolução da capacidade previsional;
- **Organização do trabalho:** maquete efetivos, aspetos sócios técnicos;
- **Gestão dos fluxos logísticos:** esquema geral dos fluxos logísticos, acondicionamento e modos de aprovisionamento na linha, acondicionamento e fluxos logísticos específicos;
- **Gestão dos fluxos de peças:** esquema geral dos fluxos de peças, modos de lançamento da produção, gestão da diversidade, transporte de peças interoperações;

- **Integração de um produto novo na linha:** princípio de integração;
- **Gestão dos meios de produção:** modos de produção normais, modos de produção degradados
- **Gestão do estado dos meios de fabricação e da manutenção:** organização da manutenção, processo de preparação da manutenção num projeto industrial, manutenção autónoma, organização da manutenção preventiva/ curativa;
- **Gestão da qualidade de produção:** objetivos e política técnica, meios de controlo e medição, tratamento das peças aguardando uma decisão da qualidade, tratamento de peças declaradas sucata, tratamento de peças para retrabalho, recolha /reintegração das peças nos meios e manipulação, rastreabilidade;
- **Gestão das ferramentas:** objetivos e política técnica, mudança das ferramentas, organização das ferramentas, preparação/regulação/afiamento das ferramentas;
- **Gestão dos efluentes e resíduos:** gestão de derrames, gestão de aerossóis, gestão de resíduos;
- **Gestão do fluxo de informação:** clientes, descrição das necessidades, descrição dos sistemas de informação;

Metodologia:

1. **Apresentação do projeto:** nesta fase o responsável pelo novo projeto apresenta a linha em causa e as principais alterações;
2. **Análise dos Modos de Funcionamento:** é feita uma primeira análise à versão mais recente do documento da linha em causa. Daí são anotadas as principais falhas, incoerências e informações desatualizadas.
3. **Recolha de informação dos vários stakeholders:** individualmente são recolhidas informações sobre o processo a partir dos responsáveis pelo respetivo assunto;
4. **Organização e atualização:** após uma primeira recolha de informação, é feita uma organização e atualização do documento.
5. **Elaboração de várias hipóteses:** em equipa, tendo em conta o funcionamento à altura e os objetivos do projeto, são debatidas diferentes hipóteses de alteração para ser apresentada à Direção;

6. **Escolha final:** após apresentação do responsável do projeto à Direção, é definida uma hipótese para seguir com os trabalhos;
7. **Reorganização de toda a informação:** com a hipótese escolhida são definidos novos modos de funcionamento;
8. **Partilha com os responsáveis:** o documento atualizado é enviado a todos os responsáveis pelo projeto, com o objetivo de obter feedback;
9. **Validação:** com o documento finalizado, passamos à fase de validação. O documento é assinado de forma física, digitalizado e enviado para todos os intervenientes com o objetivo de dar conhecimento;
10. **Entrega ao fornecedor:** o modo de funcionamento pretendido é enviado a vários fornecedores que enviam propostas de novos meios a implementar.

3.3. Caixa Diferencial

A caixa diferencial é uma componente imprescindível da caixa de velocidades. É normalmente composta por uma caixa diferencial nua, soldada à coroa diferencial. Dependendo da diversidade da caixa de velocidades pode incorporar outros componentes.

Com automóveis e outros veículos com rodas, a caixa diferencial, permite que a roda externa gire mais rápido do que a roda interna durante uma curva. Isso é necessário quando o veículo muda de direção, fazendo com que a roda que está percorrendo a parte externa da curva rode mais rápido que a outra. Um aumento na velocidade de uma roda é compensado por uma diminuição na velocidade da outra.

3.4. Componentes

A caixa diferencial é composta por três peças:

- **Caixa Diferencial Nua:** fornecida por uma empresa externa e sofre uma pré maquinação antes de ser soldada à coroa diferencial.
- **Coroa Diferencial:** o bruto da coroa diferencial é entregue por um fornecedor externo e maquinada numa das quatro linhas presentes na fábrica Renault Cacia. A maquinação da coroa confere-lhe o dentado e algumas características necessárias antes de ser soldada com a caixa diferencial nua.

- **Cible:** as coroas diferenciais DB35 e DB45 sofrem ainda um processo de soldadura especial. Antes de serem enviadas para as linhas de montagem da coroa diferencial, são soldadas com uma *cible*. Esta pequena coroa é utilizada para uma leitura infravermelhos na caixa de velocidades.

3.5. Estudo de Hipóteses

3.5.1. Fluxo

Como mencionado anteriormente, os objetivos deste projeto são a alteração geral do fluxo e introdução de uma nova retificadora. Neste tópico vou apresentar as principais alterações no fluxo. De notar que as caixas diferenciais têm fluxos diferentes, dependendo da sua família.

A principal alteração do fluxo prende-se com a alteração da sequência de operações, nomeadamente da quarentena e do controlo US.

- **Inicial**
 - **Entre Soldadura e Traço de Fogo**

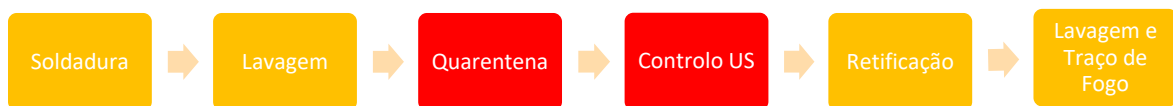


Figura 4 - Fluxo Inicial entre Soldadura e Traço de Fogo

- **Depois do Traço de Fogo**
 - **Caixa Diferencial JT4**



Figura 5 - Fluxo Inicial Caixa Diferencial JT4 - Depois do Traço de Fogo

- **Caixa Diferencial DBx**



Figura 6 - Fluxo Inicial Caixa Diferencial DBx - Depois do Traço de Fogo

- **Want To Be 2023**

- **Entre Soldadura e Traço de Fogo**



Figura 7 - Fluxo WTB 2023 entre Soldadura e Traço de Fogo

- **Depois do Traço de Fogo**

- **Caixa Diferencial JT4**



Figura 9 - Fluxo WTB 2023 Caixa Diferencial JT4 - Depois do Traço de Fogo

- **Caixa Diferencial DBx**



Figura 8 - Fluxo WTB 2023 Caixa Diferencial DBx - Depois do Traço de Fogo

3.5.2. Implantação da 4ª Retificadora

a) H1: 3 máquinas em linha e pórtico + 1 máquina fora de linha

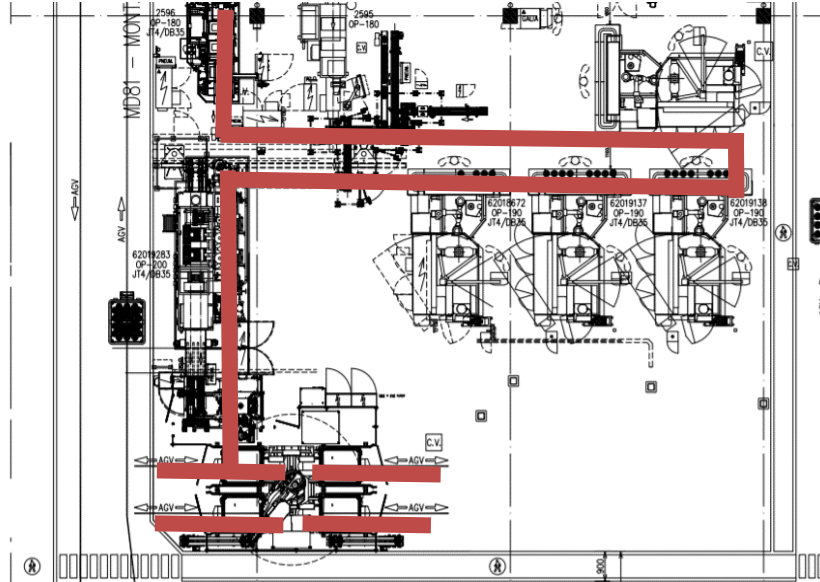


Figura 10 - Layout da Hipótese 1 para as 4 Retificadoras

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Fluxo direto;• VA / NVA baixo por evitar deslocações• Manter o modo de exploração atual que garante o modo alternativo no futuro;• Melhoria da cotação ergonómica atual: parcial;• Pórtico atual poderia trabalhar sem modificações.	<ul style="list-style-type: none">• Não permite trabalhar com pórticos;• Solução de automatização complexa/ impossível;• Necessidade de trabalhar com carro;• Impossível aceder com recurso a contentores à máquina do corredor;• 1 máquina com carga/ descarga manual.

Tabela 2 - H1: Vantagens de Desvantagens

Nesta primeira hipótese podemos ver as 3 máquinas em linha e uma fora. De destacar que tem como desvantagem a impossibilidade de automatização (1 dos principais objetivos do projeto).

b) H2: Máquinas em linha 2 a 2

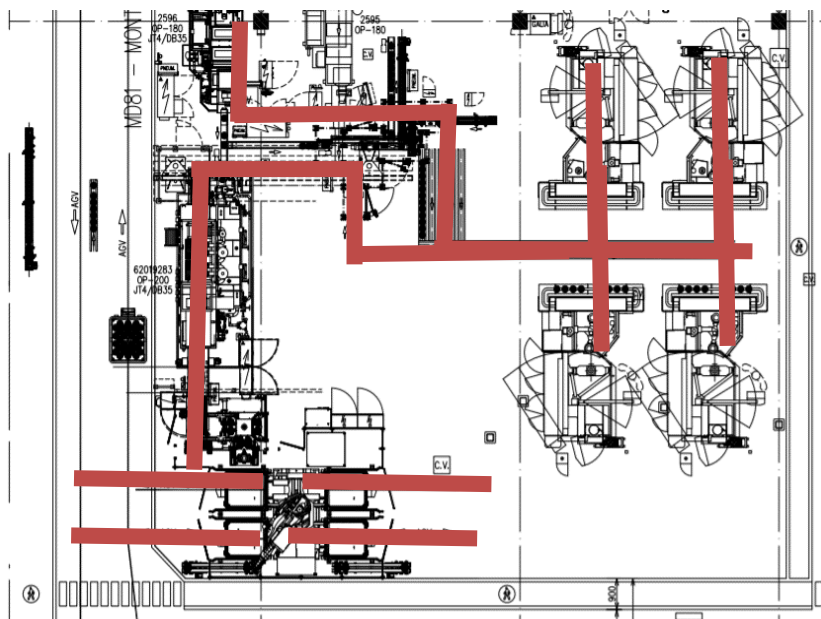


Figura 11 - Layout da Hipótese 2 para as 4 Retificadoras

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Fluxo direto;• VA / NVA baixo por evitar deslocções;• Manter o modo de exploração atual;• Elimina a cotação ergonómica atual: vermelha;	<ul style="list-style-type: none">• Não permite trabalhar com pórticos.• Solução de automatização complexa ou impossível.• Necessidade de trabalhar com carros (atualmente contentores);• Reimplantação das Retificadoras.<ul style="list-style-type: none">○ Custo de implementação estimado: 400 Keur.• Prazo estimado: mínimo 5 semanas de trabalho.

Tabela 3 - H2: Vantagens de Desvantagens

Nesta segunda hipótese temos as máquinas em linha 2 a 2. De destacar que, tal como na primeira hipótese, tem como desvantagem a impossibilidade de automatização.

c) Hipótese Escolhida: 4 máquinas em linha

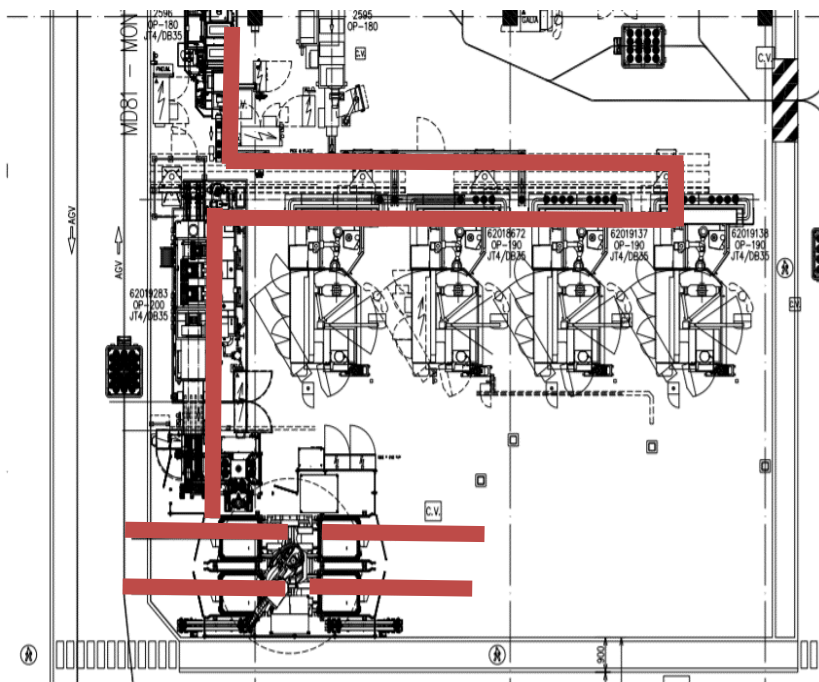


Figura 12 - Layout da Hipótese Escolhida para as 4 Retificadoras

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Fluxo direto;• VA / NVA baixo por evitar deslocações;• Manter o modo de exploração atual;• Elimina a cotação ergonómica atual: vermelha;• Eliminação de óleos no solo.	<ul style="list-style-type: none">• TCY pórtico atual não responde ao aumento de capacidade para a coroa DBx;• Necessárias reimplantações• Necessária adaptação dos transportadores;• Custo estimado de implementação + pórtico: 550Keur.• Prazo estimado: mínimo 5 semanas de trabalho.

Tabela 4 - Hipótese Escolhida: Vantagens de Desvantagens

Como a automatização era um dos principais objetivos deste projeto e seria muito difícil ou impossível nas Hipóteses 1 e 2, esta foi a escolhida. Para além disso, apenas será necessário reimplantar uma retificadora o que permite reduzir custos e não parar a linha por um tempo muito prolongado.

4. Resultados Obtidos

O perímetro deste estudo, consiste nos modos de funcionamento das linhas de Montagem MD81 da Caixa Diferencial Esférica JT4/DB35/DB45, da fábrica Renault CACIA (Edifício Caixas de Velocidade – Atelier 2).

4.1. Situação Geográfica

Na figura abaixo está marcada a localização do projeto na fábrica Renault Cacia.

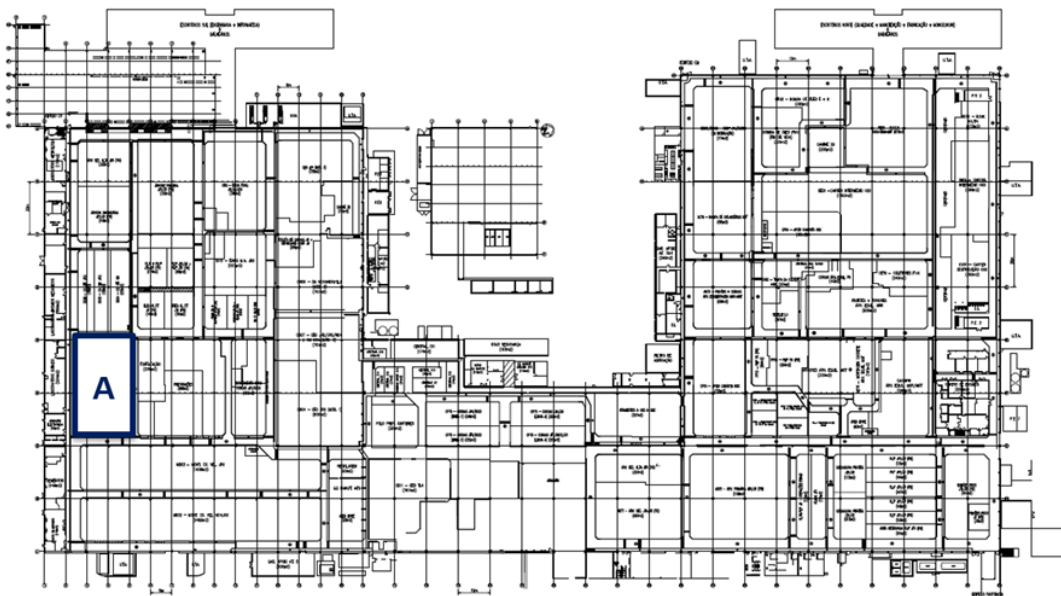


Figura 13 - Situação Geográfica das Linhas de Montagem MD81 da Caixa Diferencial Esférica JT4/DB35/DB45

4.2. Esquema Geral da Linha

- Inicial

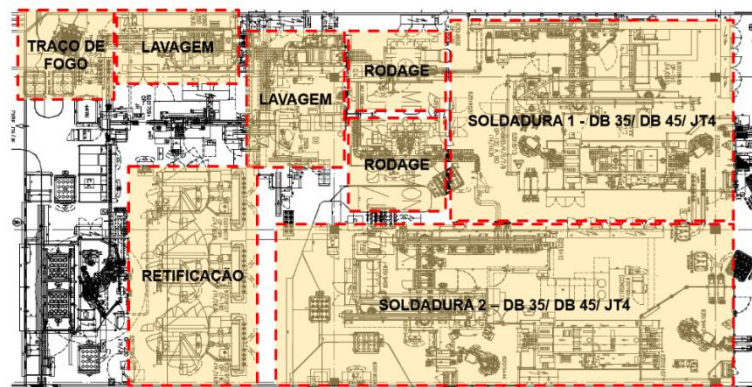


Figura 14 - Esquema Geral da Linha Inicial

- Entre agosto e dezembro de 2022

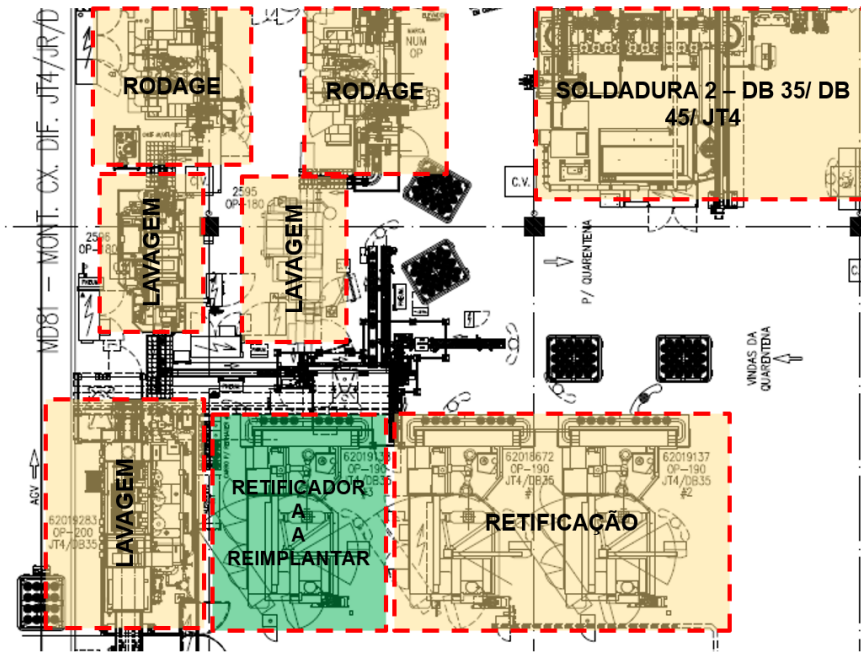


Figura 15 - Esquema Geral da Linha Ago_Dez 2022

- **Want To Be 2023**

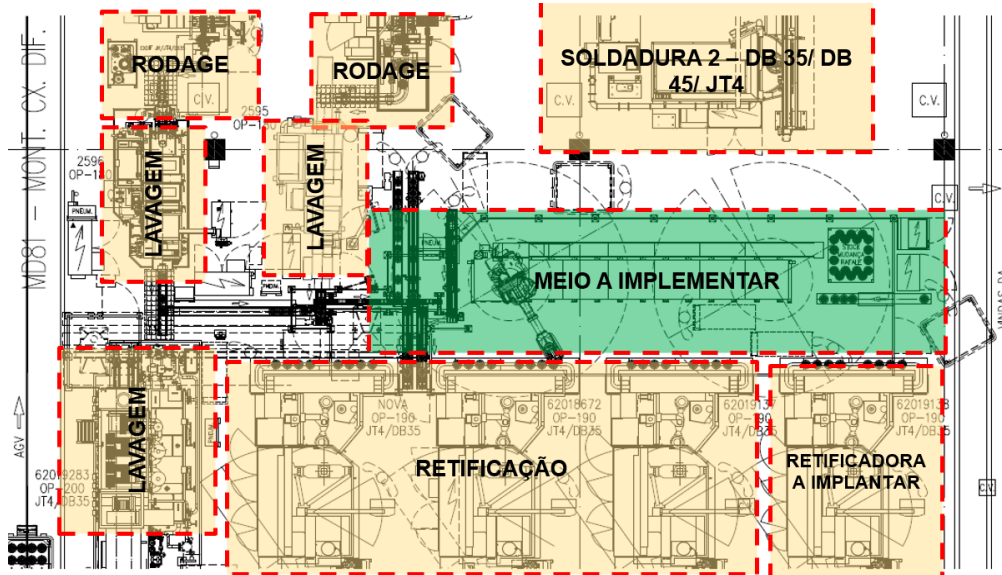


Figura 16 - Esquema Geral da Linha WTB 2023

4.3. Envolvente a Montante

REFERÊNCIA	DESIGNAÇÃO	EMBALAGEM	FORNECEDOR	QT / UM
384210548R	CX. DIF. DB35 MAQ	SFDA---9332	Linha de Maquinação Caixa Diferencial	224
384212265R	CX. DIF. DB 45 MAQ	SFDA---9332	Linha de Maquinação Caixa Diferencial	224
384219910R	CX. DIF. JT4 MAQ	SFDA---9332	Linha de Maquinação Caixa Diferencial	224
381010172R	COROA 15x58 PN2 JT4	Carro Colunas	Torneamento Duro	60
-----	COROA 14x59 PN2 JT4	Carro Colunas	Torneamento Duro	60
381017813R	COROA 14x63 PN2 JT4	Carro Colunas	Torneamento Duro	60
381019145R	COROA 14x69 PN2 JT4	Carro Colunas	Torneamento Duro	60
381014719R	COROA 14x69 PN2 DB35	Carro Colunas	Torneamento Duro	60
381012419R	COROA 14x59 PN2 DB35	Carro Colunas	Torneamento Duro	60
384106020R	COROA 14x69 PN2 DB45	Carro Colunas	Torneamento Duro	60

Tabela 5 - Envolvente a Montante

4.4. Envolvente a Jusante

Após o controlo Traço de Fogo, quando a embalagem estiver completa e a etiqueta Galia colocada, as peças serão transportadas para a Montagem de POE's (JT4) ou para a Soldadura da *Cible* (DB35 e DB45).

Compete à logística solicitar via PVS para o *Standard Packaging*, as embalagens standards para a expedição, conforme a ficha DCL pelo cliente.

4.5. Dados Base

- **Gama Operatória**

As tabelas seguintes apresentam a gama operatória da Montagem da Caixa Diferencial Nua com a Coroa do Diferencial JT4 / DB35 / DB45 (soldadura) fabricada nas linhas em questão.

- **Inicial**

MONTAGEM DA CAIXA DIFERENCIAL NUA COM AS COROAS JT4/ DB35/ DB45 (SOLDADURA)					
Operação			Máquina		Tcy
Linha	Nº	Designação	Matrícula	Marca	
Linha MD81	110	Lavagem da caixa diferencial e coroa	62018688	ROSHLER	*
	120	Decapagem da Coroa e da Caixa Nua	62018686	FELSOMAT	*
	130	Prensagem da Coroa na Caixa Nua a frio	62018683	FELSOMAT	*
	150	Soldadura a Laser	62018685	SOUDURE	0,5
	155	Arrefecimento	---	---	*
	160	Controlo 100% Ultrassons	62018687	FELSOMAT/A2M	*
	---	Sopragem	---	---	*
	170	Rodagem Diâmetros passagem Transmissões	62018809	NAGEL	0,5
	180	Lavagem	77002595	ROSLER	0,5
	---	Quarentena	---	---	*
	190	Retificação do Dentado	62018672	REISHAUER	0,67
			---	REISHAUER	0,67
			---	REISHAUER	0,67
	200	Lavagem Final	---	---	0,25
---	Traço de Fogo	---	---	*	
---	Embalagem	---	---	*	

Tabela 6 - Gama Operatória Inicial

○ **Want To Be 2023**

MONTAGEM DA CAIXA DIFERENCIAL NUA COM AS COROAS JT4/ DB35/ DB45 (SOLDADURA)					
Operação			Máquina		Tcy
Linha	Nº	Designação	Matrícula	Marca	
Linha MD81	110	Lavagem da caixa diferencial e coroa	62018688	ROSHLER	*
	120	Decapagem da Coroa e da Caixa Nua	62018686	FELSOMAT	*
	130	Prensagem da Coroa na Caixa Nua a frio	62018683	FELSOMAT	*
	150	Soldadura a Laser	62018685	SOUDURE	0,5
	155	Arrefecimento	---	---	*
	160	Controlo 100% Ultrassons	62018687	FELSOMAT/A2M	*
	170	Rodagem Diâmetros passagem Transmissões	62018809	NAGEL	0,5
	180	Lavagem	77002595	ROSLER	0,5
	190	Retificação do Dentado	62018672	REISHAUER	0,67
			---	REISHAUER	0,67
			---	REISHAUER	0,67
			---	REISHAUER	0,67
	200	Lavagem Final	---	---	0,25
	---	Traço de Fogo	---	---	*
---	Embalagem	---	---	*	
---	Quarentena	---	---	*	

Tabela 7 - Gama Operatória WTB 2023

4.6. Diversidades

Designação	Rapport
COROA DB35	14X59
	14X69
COROA JT4	15X58
	14X59
	14X63
	14X69
COROA DB45	14X69

Tabela 8 - Diversidades

4.7. Organização do Trabalho

Um dos objetivos da Renault CACIA, S.A. é criar condições para que todos os operadores consigam conduzir um número cada vez maior de máquinas na linha, assim como realizar as operações auxiliares, tais como, o autocontrolo, a mudança das ferramentas, a manutenção autónoma, etc.

Estão previstos na linha de Montagem da Caixa Diferencial por equipa os seguintes efetivos:

- 9 operadores
- 2 Condutores de linha
- 1 Chefe de UET

Para a fase de exploração das caixas diferenciais esféricas, os efetivos previstos são distribuídos da seguinte forma:

LINHA		DIVERSIDADE	Nº MOD
Soldadura 1 + NAGEL 1	MD81	JT/DB	2
Soldadura 2 + NAGEL 2		JT/DB	2
Retificação Dentado		JT/DB	3
Controlo Traço de Fogo		JT/DB	1
Acondicionamento e Expedição DB35		DB35	1
Conductor de Linha			2
TOTAL			11

Tabela 9 - Distribuição de Efetivos

4.8. Fluxo e Gestão de Peças

- **Atual**

Entre OP 110 e 170

- As coroas, provenientes do Torneamento Duro e os Diferenciais, provenientes da Maquinação, são carregados pelo colaborador nas Ilhas de Soldadura 1 e 2;
- DB45 apenas na Linha 1;
- Na linha 1 não consegue trabalhar em simultâneo com JT4 e DB35;
- Na linha 2 é possível trabalhar em simultâneo com JT4 e DB35;

Entre OP 180 e Quarentena

- Após OP180, descarga de peças via *pick and place* para tapete;
- Realizado carga por operador de contentores;
- Peças enviadas via AGV, para a Gare 2 onde as peças fazem quarentena de 2(JT4) /5 dias (DB35/DB45);

Entre Quarentena e OP 200

- Após quarentena, envio das embalagens via AGV para a linha;
- Carga por operador nas retificadoras (carga efetuada por *rafalle*);
- Retificação das peças;
- Descarga por operador das retificadoras;
- Carregamento por operador de Caixas Retificadas no transportador de entrada do pórtico;
- Transporte das caixas diferenciais pelo pórtico para a Máquina de Lavar OP200;

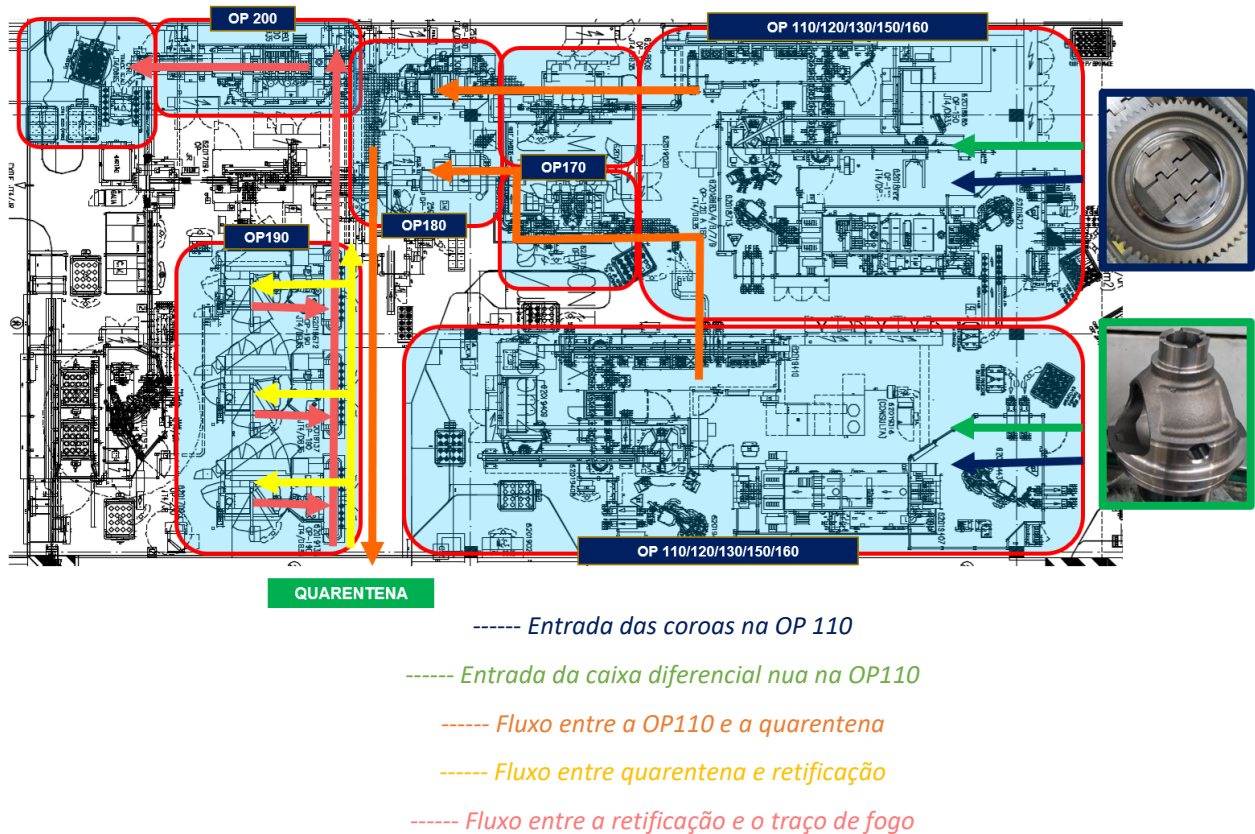


Figura 17 - Esquema de Fluxos da Linha Atual

- **Agosto a dezembro 2022**

Entre OP 110 e 170

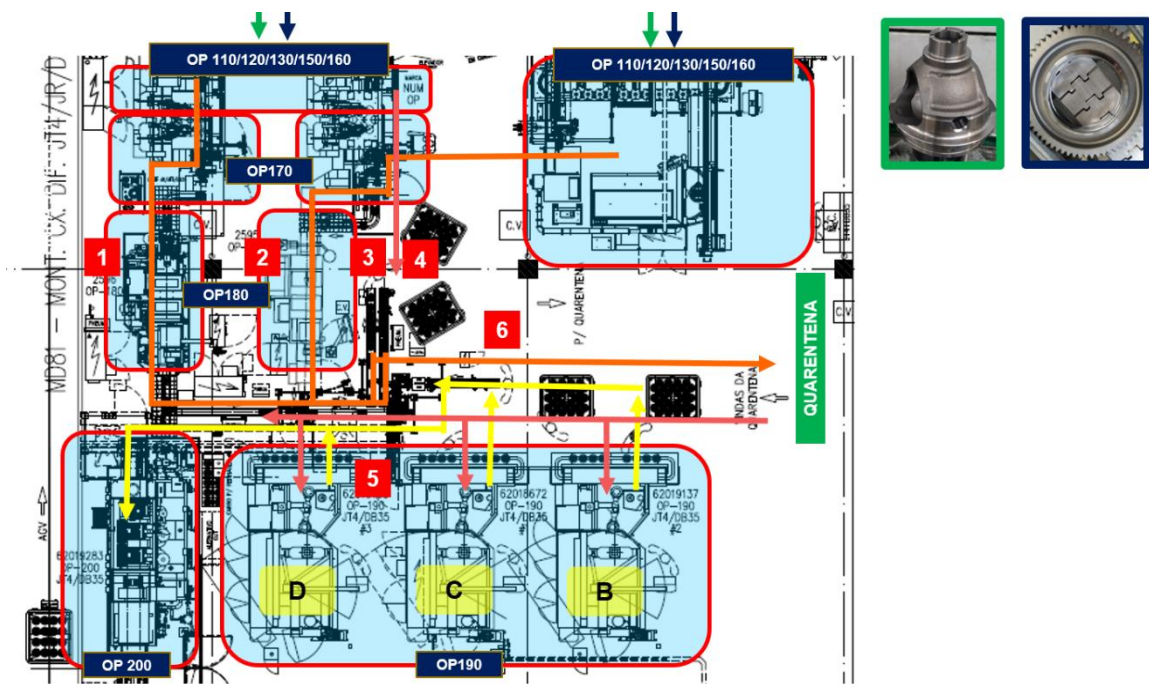
- As coroas, provenientes do Torneamento Duro e os Diferenciais, provenientes da Maquinação, são carregados pelo colaborador nas Ilhas de Soldadura 1 e 2;
- DB45 apenas na Linha 1;
- Na linha 1 não consegue trabalhar em simultâneo com JT4 e DB35;
- Na linha 2 é possível trabalhar em simultâneo com JT4 e DB35;

Entre OP 180 e Quarentena

- Descarga da OP180-1 e OP180-2 efetuada pelo *pick and place* para os tapetes 3 e 4;
- Operador carrega os contentores;
- Peças enviadas via AGV, para a Gare 2 onde as peças fazem quarentena de 2(JT4) /5 dias (DB35/DB45);

Entre Quarentena e OP 190

- Após quarentena, envio das embalagens via AGV para a linha;
- Carga das retificadoras B, C e D realizada pelo Operador;
- Após OP 190
- Descarga das retificadoras B e C pelo colaborador que coloca as peças no tapete 6;
- Descarga da retificadora D pelo pórtico “camel” e transporte até à Máquina de Lavar OP200.



----- Entrada das coroas na OP 110

----- Entrada da caixa diferencial nua na OP110

----- Fluxo entre a OP110 e a quarentena

----- Fluxo entre quarentena e retificação

----- Fluxo entre a retificação e a lavagem

Figura 18 - Esquema de Fluxos da Linha Ago_Dez 2022

- **Want To Be 2023**

Pretende-se eliminar a quarentena entre a Lavagem na OP180 e a retificação (OP190), tornando o fluxo direto. Entre estas operações será introduzido um meio que fará distribuição das peças da soldadura para as retificadoras e das retificadoras para o pórtico. Será também introduzida uma 4ª Retificadora.

Com estas alteações, pretende-se que o fluxo seja o seguinte:

Entre OP 110 e 170

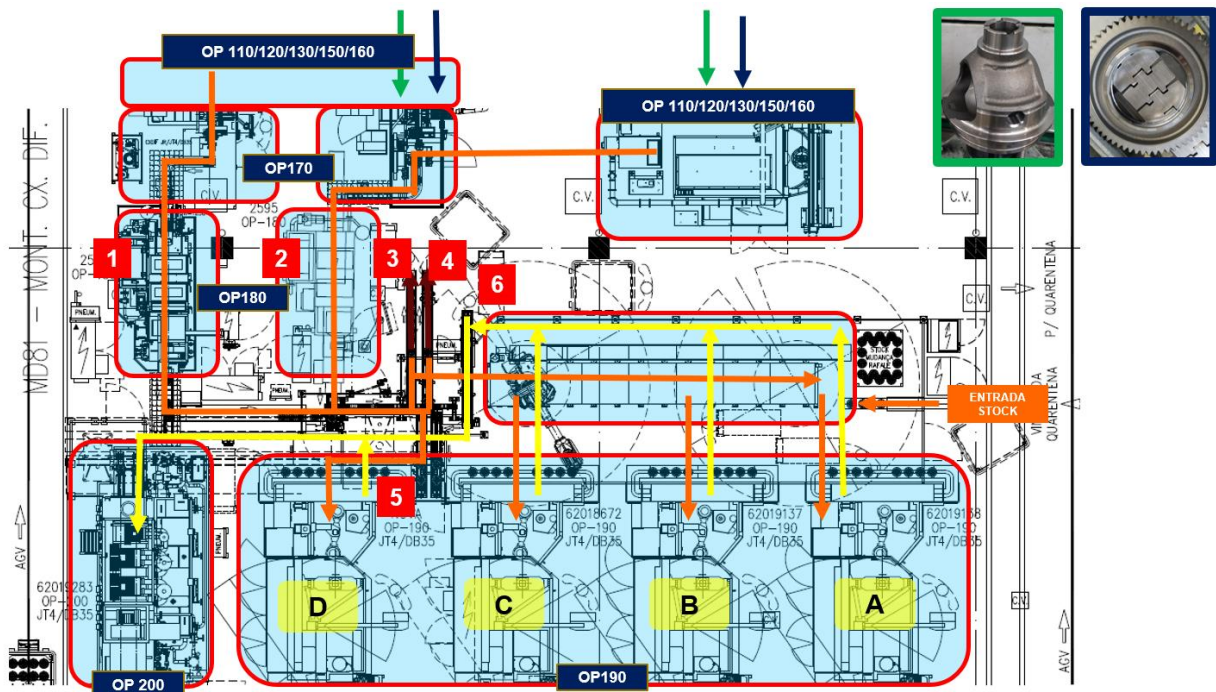
- As coroas, provenientes do Torneamento Duro e os Diferenciais, provenientes da Maquinação, são carregados pelo colaborador nas Ilhas de Soldadura 1 e 2;
- DB45 apenas na Linha 1;
- Na linha 1 não consegue trabalhar em simultâneo com JT4 e DB35;
- Na linha 2 é possível trabalhar em simultâneo com JT4 e DB35;

Entre OP 180 e 190

- Descarga da OP180-1 e OP180-2 efetuada pelo *pick and place*;
- Peças com destino as retificadoras A, B ou C vão para o tapete 3 ou 4;
- Peças com destino a retificadora D vão para o tapete 5;
- Integrado nas retificadoras (entrada) uma camara que efetua a leitura do “dtx” para verificação das condições de rastreabilidade e PY;
- Carga das retificadoras A, B e C realizada pelo “Robot” - Origem tapete 3 ou 4;
- Carga da retificadora D realizada pelo pórtico “camel” - Origem tapete 5;

Após OP 190

- Descarga das retificadoras A, B e C pelo robot;
- Transporte pelo robot até tapete 6;
- Transporta do tapete 6 pelo pórtico até Máquina de Lavar OP200;
- Descarga da retificadora D pelo pórtico “camel” e transporte até à Máquina de Lavar na OP200.



----- Entrada das coroas na OP 110

----- Entrada da caixa diferencial nua na OP110

----- Fluxo entre a OP110 e a retificação

----- Fluxo entre a retificação e a lavagem

----- Saída de peças por saturação, paragens ou peças "fora do filme"

Figura 19 - Esquema de Fluxos da Linha WTB 2023

4.9. Embalagens e Gestão dos Meios de Movimentação

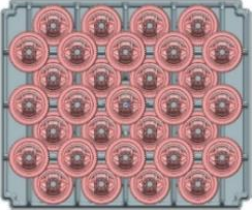


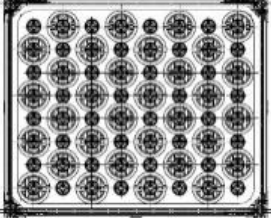
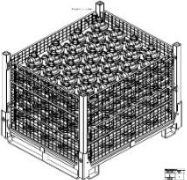
Estado da Peça	Tipo de Embalagem	Peças/UM	Código da Embalagem	Organização da Embalagem	
CX. DIFER. 15x58	Embalagem	120	MFM--0873		
CX. DIFER. 14x59					
CX. DIFER.14x63					
CX. DIFER. 14x69					
CX. DIFER.14X59					
CX. DIFER. 14X69					
CX. DIFER. 14X69					
COROAS DB35	Carro Triangular	165	----		
COROAS DB45					
COROAS JT4					
CAIXA DIFERENCIAL NUA DB35/DB45	Embalagem	224	SFDA---9332		
CAIXA DIFERENCIAL NUA JT4					

Tabela 10 - Embalagens

4.10. Modo Degradado

Um modo degradado é uma solução alternativa que permite continuar a produzir em caso de impossibilidade de uso normal dos meios pelas razões ligadas ao funcionamento e à exploração.

- **Paragem do Robot**

Em caso de paragem do robot será ativado o modo degradado:

- Acionado o modo degradado na ilha robotizada pelo operador;
- O operador recolhe as peças nos transportadores 3 e 4 para um carrinho;
- Movimenta o carrinho até a uma das retificadoras 1,2 ou 3 - conforme o *rafalle*;

- Carga manual as retificadoras.
- Descarrega as peças das retificadoras para os carrinhos e coloca-as no transportador.

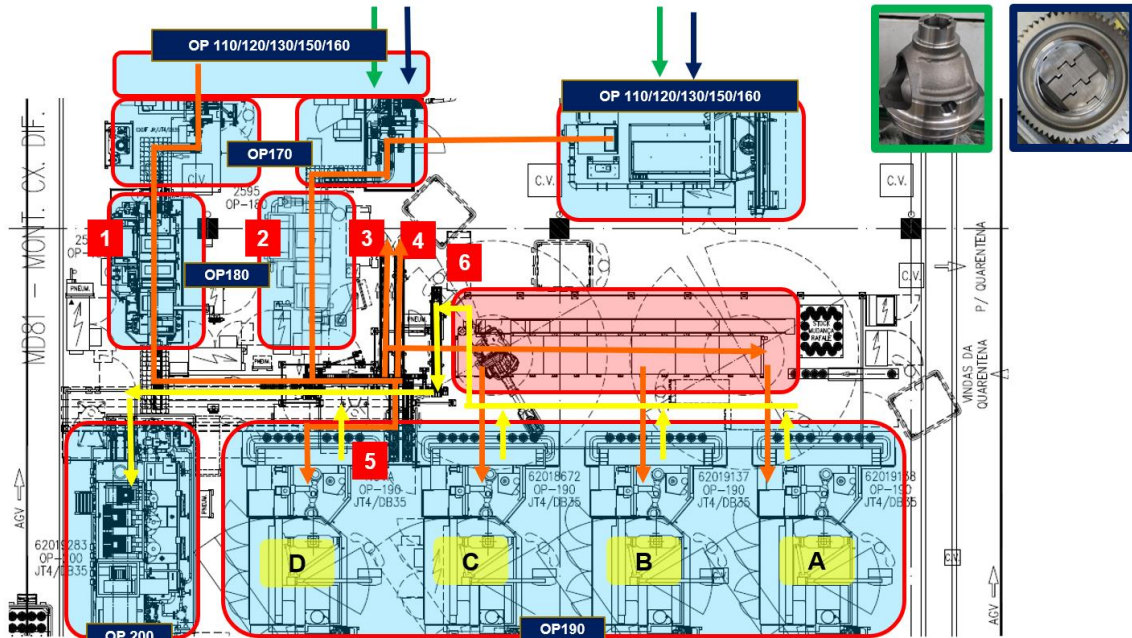


Figura 20 - Modo Degradado Paragem do Robot

- **Paragem do Pórtico**

Em caso de paragem do robot será ativado o modo degradado:

- Acionado o modo degradado no pórtico e na ilha robotizada pelo operador;
- O operador recolhe as peças nos transportadores 3 e 4 para um carrinho;
- Movimenta o carrinho até a uma das retificadoras A, B, C e D - conforme o *rafalle*;
- Carga manual as retificadoras.
- Descarrega as peças das retificadoras para os carrinhos e transporta até perto da máquina de lavar;
- Carrega manualmente a máquina de lavar.

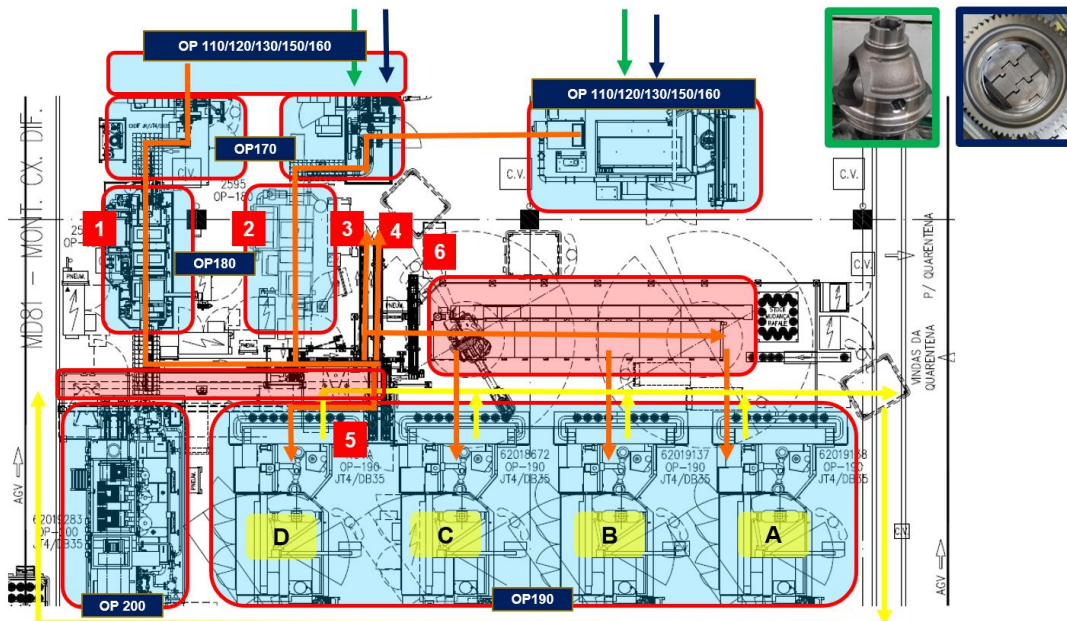


Figura 21 - Modo Degradado Paragem do Pórtico

4.11. Gestão da Qualidade de Produção

- **Recolha de Peças**

O CUET é responsável por levar a(s) peça(s) a medir para os respetivos serviços de apoio.

Pontos de recolha:

- OP110 /120
- OP130
- OP140
- OP150 / 155
- OP170
- OP190

- **Reintrodução de Peças**

As peças são reintegradas nos postos de reintrodução. A reintegração das peças na linha após o controlo só poderá ser efetuada pelo CUET ou pelos operadores, no processo produtivo, de acordo com o procedimento de Gestão de Peças Fora de Fluxos da UET.

Normalmente será o operador o responsável por levar a peça a controlar, sendo igualmente o responsável pela sua reintrodução no fluxo produtivo.

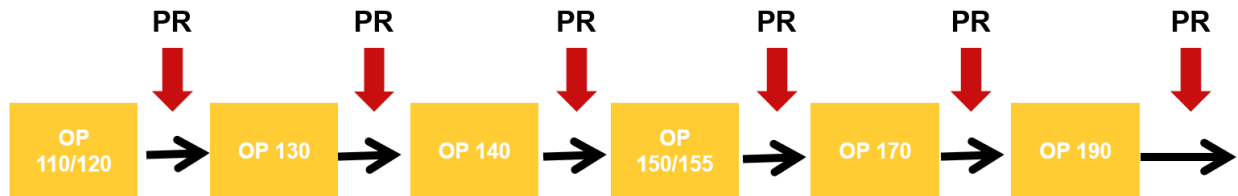


Figura 22 - Esquema de Reintrodução de Peças

- **Tratamento de Peças Recusadas**

As peças que forem recusadas por algum motivo relacionado com problemas de qualidade, são retiradas pela máquina do fluxo de fabricação e o operador recolhe e identifica com etiqueta própria.

As peças que sejam recusadas da ilha deverão ser alvo de análise e *check* da não conformidade que dá no monitor. Caso seja possível a sua recuperação imediata, deverão ser repostas novamente na gaveta para evitar peças fora do fluxo e desvios nas quantidades de peças.

- **Rastreabilidade da Peças**

O registo de toda a produção é realizado sob forma de etiqueta *datamatrix* através de um sistema de marcação a laser no início da linha de maquinação.

Informação código *datamatrix* Caixa Diferencial:

- Referência da Peça;
- Identificação da Fábrica (A – CACIA);
- Nº da Linha;
- Identificação do Dia Jubiliano;
- Ano;
- Nº série da Caixa Diferencial;
- Registo de conformidade/ não conformidade de cada operação definida na rastreabilidade.

4.12. Gestão de Ferramentas

- **Mudança de *Rafalle***

Existência de no máximo 1 *rafalle* em simultâneo nas retificadoras. A mudança de *rafalle* deve seguir o procedimento seguinte:

- Em caso de mudança de *rafalle* na soldadura e nas retificadoras, acontece sempre primeiro na soldadura;
- As retificadoras trabalham 2 a 2 com o mesmo *rafalle*. Máximo de dois rafais no fluxo;
- A mudança de *rafalle* nas retificadoras é feita 1 a 1. A segunda só é alterada quando o stock desse *rapport* estiver terminado;
- A alteração é feita na parte lateral das máquinas, não pondo em causa o funcionamento das restantes;
- A alteração é detetada automaticamente pelo “meio a implementar”;
- Em cada paragem estima-se a criação de um stock de cerca de 180 peças.

5. Conclusão

Concluído o projeto da dissertação poderá afirmar-se que os resultados foram positivos e atingidos.

Ao envolver muitos colaboradores, provenientes de vários níveis da estrutura organizacional, tive uma excelente percepção do mundo industrial e do seu funcionamento.

Na linha de produção da Caixa Diferencial, o estudo e as ações desenvolvidas culminaram no alcance dos objetivos previamente definidos para o projeto, ou seja, redefinição dos modos de funcionamento da linha com a introdução da 4ª Retificadora e meios que visem automatizar a descarga de peças.

Com isto, foram definidas ações, como a mudança de layout, mudança de fluxos, troca de operações e realocação de operadores, que permitirão aumentar a flexibilidade da linha, otimizar a área fabril e eliminar alguns desperdícios relacionados.

5.1. Trabalho Futuro

Com os modos de funcionamento validados e entregues ao fornecedor, a próxima fase prende-se com a ação no terreno. Numa fase inicial será reimplantada uma retificadora para posteriormente implantar a 4ª Retificadora. Esta alteração vai exigir uma grande mudança no modo de funcionamento da linha.

De seguida, será necessário estudar as várias propostas dos fornecedores para a automatização da linha. Através dos modos de funcionamento, ficou definida a forma como irá funcionar a linha de produção com a introdução de novos robots e pórticos. Assim, será, então, necessário perceber qual das hipóteses melhor se enquadra ao contexto definido.

Com o fornecedor escolhido, terão de passar à fase de implementação do novo robot e pórtico.

Por fim, tendo em conta todas as vantagens da simulação, seria benéfico elaborar a simulação de toda a linha para tentar encontrar novos pontos de melhoria e perceber se o modo de funcionamento definido poderá ser ainda mais eficiente.

5.2. Propostas de Melhoria

Durante o projeto de estágio tive oportunidade de trabalhar com vários modos de funcionamento. Isto fez com que tivesse uma visão mais global sobre os documentos em questão tendo surgido algumas propostas de melhoria:

- **Informação Padrão:** todos os documentos têm presentes informações padrão como normas segurança, gestão da qualidade de produção e gestão do fluxo de informação. A atualização destas informações necessita que todos os documentos sejam igualmente atualizados. Para além disso, torna os documentos mais pesados. A sugestão passa por criar uma adenda comum a todos os modos de funcionamento onde constem estas informações, permitindo diminuir o peso dos documentos e atualizar a informação de forma mais rápida.
- **Validação:** os modos de funcionamento necessitam de ser validados pelos chefes de projeto. Esta validação do documento final é conferida depois de serem requeridas todas as assinaturas de forma individual e presencial. A sugestão passa pela alteração para assinaturas digitais tornando este processo mais célere.
- **Simulação:** nos tópicos 2.4. e 2.4.1 conseguimos perceber as vantagens da simulação na definição de um sistema industrial. A inclusão de dados e conclusões obtidos da simulação na definição deste processo teriam sido muito benéficas e dariam mais argumentos à solução final.

6. Referências

- Aires, R. W. do A., Moreira, F. K., & Freire, P. de S. (2017). Indústria 4.0: Competências requeridas aos profissionais da quarta revolução industrial. *INDÚSTRIA 4.0: COMPETÊNCIAS REQUERIDAS AOS PROFISSIONAIS DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL*, 1–15.
- Almada-Lobo, F. (2015). The Industry 4.0 Revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3(4), 16–21. https://doi.org/10.24840/2183-0606_003.004_0003
- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2013). Lean manufacturing: Literature review and research issues. *Lean Manufacturing: Literature Review and Research Issues*, 34(7), 876–940. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>
- Caggiano, A. (2018). Cloud-based manufacturing process monitoring for smart diagnosis services. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(7), 612–623. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2018.1425552>
- Chen, Y. (2017). Integrated and Intelligent Manufacturing: Perspectives and Enablers. *Engineering*, 3(5), 588–595. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.04.009>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. *Technische Universitat Dortmund*, 1(1), 4–16. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29269.22248>
- Hocaoğlu, M. F., & Genç, İ. (2019). *Simulation for Industry 4.0*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04137-3_15
- INTELI. (2005). *Diagnóstico da Indústria Automóvel*.
- Jazdi, N. (2014). Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, AQTR 2014, January 2014*. <https://doi.org/10.1109/AQTR.2014.6857843>
- Kagermann, H., & Technik. (2017). Handbuch Industrie 4.0 Bd.4. *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53254-6>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative*. April. <https://www.bibsonomy.org/bibtex/25c352acf1857c1c1839c1a11fe9b7e6c/flint63%>

- 0Ahttp://forschungsunion.de/pdf/industrie_4_0_final_report.pdf
- Kamarul Bahrin, M. A., Fauzi Othman, M., Nor Azli, N. H., & Farihin Talib, M. (2016). Industry 4.0: A Review on Industrial Automation and Robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6–13), 137–143. www.jurnalteknologi.utm.my
- Keller, M., Rosenberg, M., Brettel, M., & Friederichsen, N. (2014). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 8(1), 37–44.
- Lars Holmqvist. (2006). *CLEPA CEO*.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Morgan, C. B., Banks, J., & Carson, J. S. (1984). Discrete-Event System Simulation. *Technometrics*, 26(2), 195. <https://doi.org/10.2307/1268124>
- Najafabadi, M. M., Villanustre, F., Khoshgoftaar, T. M., Seliya, N., Wald, R., & Muharemagic, E. (2015). Deep learning applications and challenges in big data analytics. *Journal of Big Data*, 2(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s40537-014-0007-7>
- Oliveira, N. (2009). *A evolução organizacional das empresas nacionais nas cadeias de fornecimento da indústria de componentes para automóvel*. 188.
- Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206–1214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>
- Porter, M. E. (2000). Location, competition, and economic development: Local clusters in a global economy. *Economic Development Quarterly*, 14(1), 15–34. <https://doi.org/10.1177/089124240001400105>
- Prist, M., Monteriú, A., Pallotta, E., Cicconi, P., Freddi, A., Giuggioloni, F., Caizer, E., Verdini, C., & Longhi, S. (2020). Cyber-physical manufacturing systems: An architecture for sensor integration, production line simulation and cloud services. *Acta IMEKO*, 9(4), 39–52. https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v9i4.731
- Riani, A. M. (2006). Estudo De Caso: O Lean Manufacturing Aplicado Na Becton Dickinson.

- Coordenação De Curso De Engenharia De Produção Da Universidade Federal De Juiz De Fora, 52. http://www.ufjf.br/ep/files/2009/06/tcc_jan2007_alineriani.pdf
- Rossaint, R., Bouillon, B., Cerny, V., Coats, T. J., Duranteau, J., Fernández-Mondéjar, E., Filipescu, D., Hunt, B. J., Komadina, R., Nardi, G., Neugebauer, E. A. M., Ozier, Y., Riddez, L., Schultz, A., Vincent, J. L., & Spahn, D. R. (2016). The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: Fourth edition. *Critical Care*, 20(1), 1–55. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1265-x>
- Sakurai, R., & Zuchi, J. D. (2018). As Revoluções Industriais Até a Indústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, 15(2), 480–491. <https://doi.org/10.31510/infa.v15i2.386>
- Schuh, G., Potente, T., Wesch-Potente, C., Weber, A. R., & Prote, J. P. (2014). Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 19(C), 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.05.016>
- Sczyrba, A., Hofmann, P., Belmann, P., Koslicki, D., Janssen, S., Dröge, J., Gregor, I., Majda, S., Fiedler, J., Dahms, E., Bremges, A., Fritz, A., Garrido-Oter, R., Jørgensen, T. S., Shapiro, N., Blood, P. D., Gurevich, A., Bai, Y., Turaev, D., ... McHardy, A. C. (2017). Critical Assessment of Metagenome Interpretation - A benchmark of metagenomics software. *Nature Methods*, 14(11), 1063–1071. <https://doi.org/10.1038/nmeth.4458>
- Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 157–169. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2405–2415. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>
- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, 28(3), 579–584. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143>
- Wiesner, S., Lampathaki, F., Biliri, E., & Thoben, K. D. (2016). Requirements for Cross-domain Knowledge Sharing in Collaborative Product-Service System Design. *Procedia CIRP*, 47, 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.118>
- Xu, L. Da, & Duan, L. (2019). Big data for cyber physical systems in industry 4.0: a survey.

Enterprise Information Systems, 13(2), 148–169.
<https://doi.org/10.1080/17517575.2018.1442934>

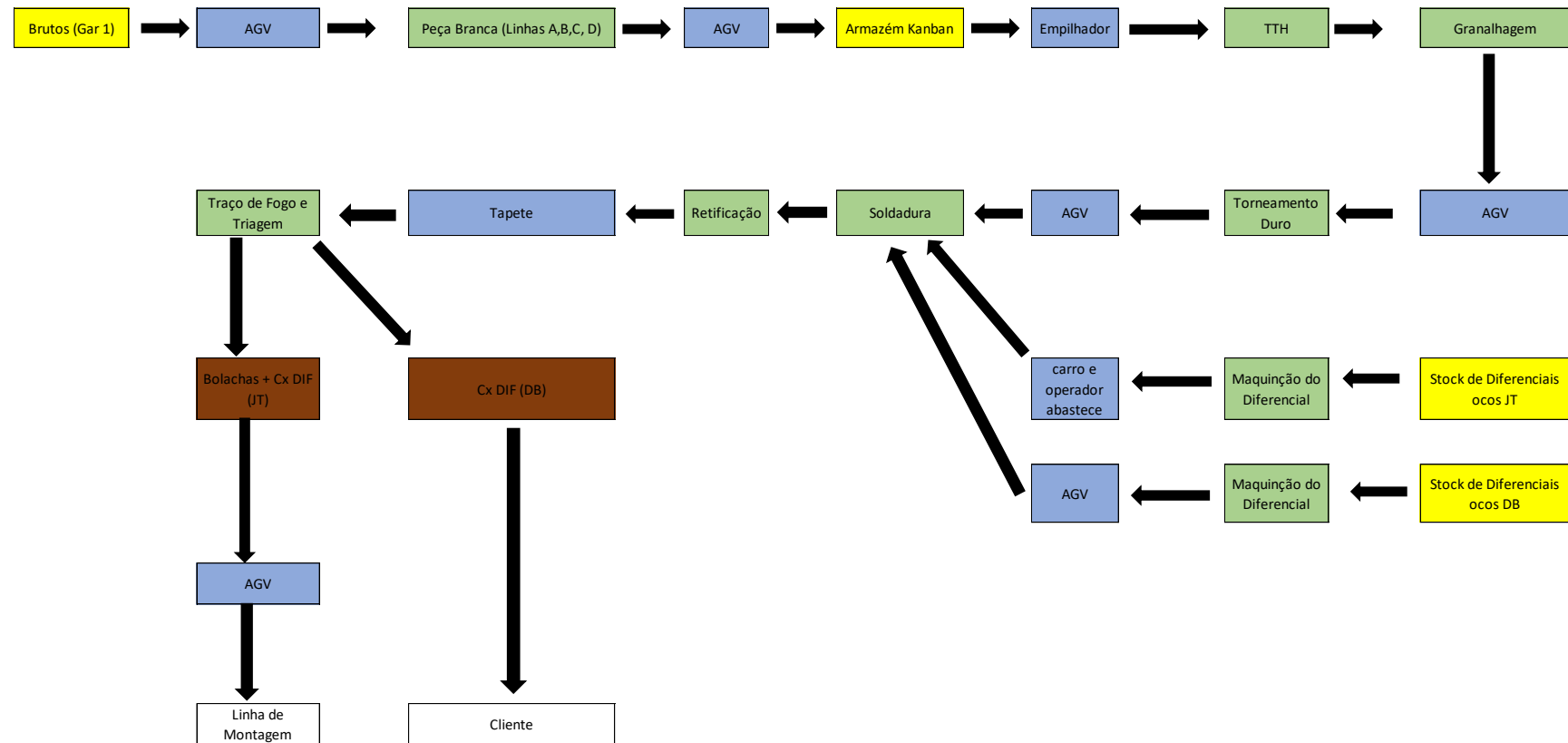
Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>

7. Anexos

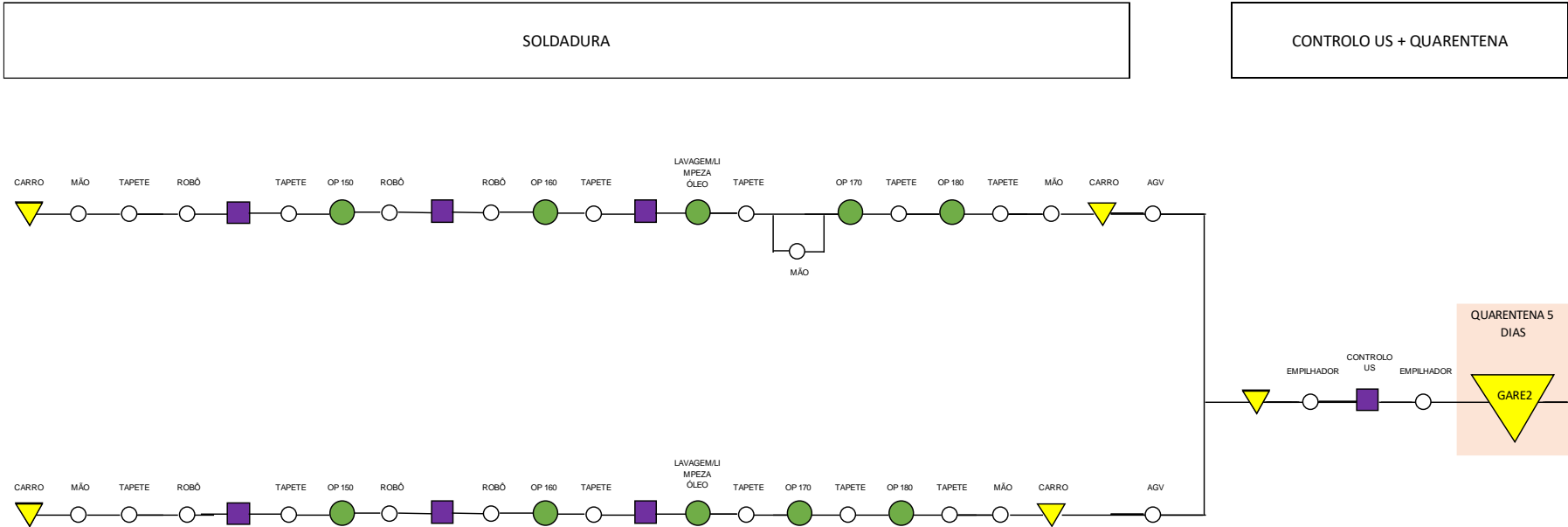
Anexo 1 – Referências Coroas e Caixa Diferencial

	DB35				DB35 - NOVAS REF. BULLE DEGAZ.				DB45		JT4							
	CAIXA DIF 14X59		CAIXA DIF 14X69		CAIXA DIF 14X59		CAIXA DIF 14X69		CAIXA DIF 14x69		CAIXA DIF 14X63		CAIXA DIF 15X58		CAIXA DIF 14X69		CAIXA DIF 14X59	
	COROA	DIFERENCIAL	COROA	DIFERENCIAL	COROA	DIFERENCIAL	COROA	DIFERENCIAL	COROA	DIFERENCIAL	COROA	DIFERENCIAL	COROA	DIFERENCIAL	COROA	DIFERENCIAL	COROA	DIFERENCIAL
BRUTO	381013901R	384210548R	381013901R	384210548R	381013901R	384210548R	381013901R	384210548R	381010985R	384212265R	381016956R	384219910R	381017582R	384219910R	381016956R	384219910R	381011337R	384219910R
MAQUINADO PB	8201729314		8201729316		8201729314		8201729316		8201743651		8201729071		8201729069		8201729065		8201731819	
TRAT. TÉRMICO	8201729313		8201729315		8201729313		8201729315		8201743650		8201729073		8201729070		8201729066		8201731817	
MAQUINADO PN	381012419R	384213925R	381014719R	384213925R	381018246R	384219005R	381013784R	384219005R	381016677R	384214352R	381017813R	384214013R	381010172R	384214013R	381019145R	384214013R	381016987R	384214013R
TALHAGEM DB35 (3570)		8201742291		8201742291		NOVA		NOVA										
PEÇA SOLDADA / PSR		8201737294		8201737295		8201737294		8201737295		8201743649		8201737290		8201737292		8201737291		8201737293
RETIF DBX/MONTADO JT4		384108739R		384108621R		384108739R		384108621R		384106020R		8201729526		8201729528		8201729527		8201732644
Cible (POE)										319D85914R								
Diferencial com cible		384105194R		384102660R		384105194R		384102660R		384108821R								
Índice de caixa		DB1*010 e 012		DB1*011		DB1*010 e 012		DB1*011				JT4*002, 006, 007,008		JT4*004, 010		JT4*009		JT4*011, 017

Anexo 2 – Esquema Global Fluxo da Caixa Diferencial



Anexo 3 – Fluxo entre a Soldadura e a Quarentena da Caixa Diferencial



Anexo 4 – Fluxo entre a Quarentena e o Traço de Fogo da Caixa Diferencial

