



NOVA

NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA E INDUSTRIAL

CAROLINA DO ROSÁRIO GRAÇA

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

MELHORIA DO PROCESSO PRODUTIVO NUMA LINHA DE MONTAGEM DE UMA EMPRESA DA INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Universidade NOVA de Lisboa
fevereiro, 2022



MELHORIA DO PROCESSO PRODUTIVO NUMA LINHA DE MONTAGEM DE UMA EMPRESA DA INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

CAROLINA DO ROSÁRIO GRAÇA

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Helena Victorovna Guitiss Navas,
Professora Auxiliar, Nova School of Science & Technology

Júri:

Presidente: Professora Doutora Ana Sofia Matos,
Professora Associada, Nova School of Science & Technology

Arguentes: Professora Doutora Anabela Carvalho Alves,
Professora Auxiliar, Universidade do Minho/Escola de Engenharia/DPS

Orientador: Professora Doutora Helena Victorovna Guitiss Navas,
Professora Auxiliar, Nova School of Science & Technology

Melhoria do processo produtivo numa linha de montagem de uma empresa da indústria automóvel

Copyright © Carolina do Rosário Graça, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

A conclusão desta etapa teria sido impossível sem todos os apoios e incentivos no decorrer da mesma. Assim, e na impossibilidade de agradecer a todos individualmente, expresso a minha eterna gratidão a todos os que contribuíram para todas as experiências únicas que vivenciei e que jamais sairão da minha memória.

À empresa Mitsubishi Fuso Truck Europe, S.A. e ao Engenheiro Luís Leitão, pela oportunidade de realização deste estágio curricular. Esta experiência revelou-se muito enriquecedora, não só a nível profissional, mas também a nível pessoal.

Agradeço a todos os que partilharam comigo os seus conhecimentos. Ao Engenheiro Paulo Lobato, um especial agradecimento por toda a disponibilidade, apoio e esclarecimentos que foram fundamentais para a concretização deste trabalho. À equipa da *Plant Engineering & Facility Management* que tão bem me acolheram e integraram. A todos os restantes colaboradores que tive a oportunidade de conhecer e que amavelmente me receberam.

À minha orientadora, Professora Doutora Helena Navas pela total disponibilidade e orientação prestada. Obrigada por todos os ensinamentos transmitidos.

À Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e a todos os docentes com os quais me cruzei ao longo deste percurso, por me proporcionarem uma formação de excelência, pelo nível de exigência e pela qualidade de ensino.

À minha família que são o meu apoio e que sempre me incentivaram a continuar esta etapa e sempre acreditaram nas minhas capacidades. Aos meus pais que são a minha força e nos quais me inspiro todos os dias pela sua perseverança, um exemplo a seguir. Obrigada pela vossa ajuda e pelo vosso esforço para me proporcionarem a realização de todos os meus objetivos. Aos meus avós pelo que me ensinaram e pelo apoio ao longo de toda a minha existência. À minha irmã porque também esteve sempre presente nos momentos bons e me ajudou a ultrapassar os menos bons.

Aos amigos que fiz durante o percurso académico, obrigada pelo apoio e pelos momentos incríveis que vivemos. Acredito que as recordações não ficarão por aqui e que vamos continuar a construir memórias juntos porque “O que a FCT junta NADA separa”.

Agradeço aos meus amigos que estão comigo desde que me lembro ou que apareceram na minha vida e acabaram por ficar. Obrigada pela vossa amizade, pelos abraços apertados, pelo carinho, pelas repreensões e por todos os momentos de diversão que me proporcionaram. Os amigos são a família que escolhemos.

Por fim, agradeço aos que não estão comigo fisicamente, mas que sei que me acompanham neste caminho e me dão força para não desistir. Ao meu tio que é a estrela mais brilhante do céu e que sei que vai continuar a iluminar-me a vida.

RESUMO

Num mercado cada vez mais competitivo e volátil é importante que as organizações garantam a sua capacidade de resposta. O aumento do número de produtos e a sua customização constituem desafios para as empresas, assim, as linhas de produção deverão ser robustas e adaptar-se às mudanças. Para o efeito, as empresas aplicam a melhoria contínua nos seus processos produtivos.

Devido à elevada competitividade na indústria automóvel, as empresas do ramo são as que mais aplicam melhoria continua nos seus procedimentos internos, garantindo a maior eficiência e eficácia dos seus processos produtivos e organizacionais, consumindo o mínimo de recursos.

O presente estudo foi realizado nas linhas de produção da fábrica Mitsubishi Fuso Truck Europe, S.A e consistiu no estudo dos métodos atuais/inovadores para definição de operações de montagem por cada operador com balanceamento de estações em fluxo contínuo. Os objetivos propostos visaram o aumento da eficiência do processo de montagem da linha de montagem da empresa, diagnosticando as oportunidades de melhoria e elaborando de propostas de soluções para as mesmas.

Das propostas já implementadas, destacam-se a redução de 2 operadores, eliminação das sobrecargas existentes em vários pontos da linha, além da revisão do plano de produção. Foi proposta a integração da montagem do veículo elétrico na Linha Final, passando esta a ser realizada de forma regular, com a futura coexistência dos dois produtos na linha (*diesel* e elétrico).

A implementação integral das sugestões apresentadas poderão permitir uma melhor programação dos meios humanos na empresa.

Na organização, sentiu-se uma melhoria na motivação dos operadores, que participaram ativamente no desenvolvimento e implementação das propostas apresentadas.

Palavras-Chave: Flexibilidade de Linhas Produtivas, Filosofia *Lean*, *Lean Manufacturing*, Linhas de Montagem, Indústria Automóvel

ABSTRACT

In an increasingly competitive and volatile market, it is important that organizations are able to maintain their responsiveness. The increasing number of products and customization are challenges for companies, and production lines must be robust and adapt to change. To achieve this, companies apply continuous improvement methodologies in their production processes.

As a result of the high level of competitiveness in the automotive industry, companies in this industry apply continuous improvement in their internal processes to guarantee the greatest efficiency and effectiveness of their production and organizational processes, using the minimum of resources.

This study was developed in the assembly lines of Mitsubishi Fuso Truck Europe, S.A. The objective was to evaluate the improvement opportunities in the assembly lines and to develop actions for them.

The implementation of some of the suggested improvements was followed and monitored, and the results of their implementation were analyzed. The most relevant results were: the reduction of 2 operators, the elimination of excess work in several points of the line, and the revision of the production plan.

It was proposed to integrate the assembly of the electric vehicle in the Final Line with the future coexistence of both products on the line (diesel and electric).

In the company, an improvement in the motivation of the operators was clear, with suggestions for the implementation or improvement of the ideas presented. Hence, an involvement and willingness to accept the suggested improvements for the organization was evident.

Keywords: Production Line Flexibility, Lean Philosophy, Lean Manufacturing, Assembly Lines, Automotive Industry

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1.	Introdução.....	1
1.1.	Enquadramento e Motivação.....	1
1.2.	Objetivos do Estudo	2
1.3.	Metodologia do Estudo.....	3
1.4.	Estrutura da Dissertação.....	4
2.	<i>Lean Manufacturing</i>	5
2.1.	Definição e Objetivos do <i>Lean</i>	5
2.2.	Origem e Fundamentos do <i>Lean</i>	6
2.3.	Princípios <i>Lean</i> e Oito Desperdícios	7
2.4.	Aplicação, Vantagens e Limitações.....	8
2.5.	Ferramentas do Lean	10
2.5.1.	5S.....	10
2.5.2.	<i>Value Stream Mapping</i>	11
2.5.3.	Nivelamento e Alisamento da Produção	12
2.5.4.	Kaizen	12
2.5.5.	Kanban	13
2.6.	Balanceamento de Linhas de Montagem.....	13
2.6.1.	Definição e Objetivos	14
2.6.2.	Problemas de Balanceamento e <i>Layouts</i> de Linhas	15
2.6.3.	Restrições	16
2.6.4.	Vantagens e Limitações do Balanceamento.....	17
2.7.	Estudo dos Tempos e Avaliação de Desempenho.....	19
3.	Estudo de Caso: MFTE, SA.....	27
3.1.	Caraterização da Empresa.....	27
3.1.1.	História	28
3.1.2.	Missão, Visão e Valores.....	29
3.1.3.	Estrutura Organizacional.....	30
3.1.4.	Processo Produtivo	31

3.1.5.	<i>Truck Operating System</i>	32
3.2.	Identificação de Oportunidades de Melhoria	34
3.2.1.	Linha Final.....	34
3.2.2.	<i>End of Line</i>	41
3.2.3.	Linhas de Pintura do Chassis e dos Eixos	43
3.2.4.	Submontagens eCanter	44
4.	Propostas de Melhoria.....	49
4.1.1.	Propostas de Melhoria: Linha Final.....	49
4.1.2.	Propostas de Melhoria: <i>End of Line</i>	52
4.1.3.	Propostas de Melhoria: Linhas de Pintura	53
4.1.4.	Propostas de Melhoria: Submontagens eCanter	56
4.2.	Análise dos resultados e estado de implementação	63
4.2.1.	Estado de Implementação das Propostas de Melhoria.....	66
5.	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	69
5.1.	Conclusões.....	69
5.2.	Trabalhos Futuros	70
	Referências Bibliográficas	71
	Anexos e Apêndices	77
	Anexo I – Organigrama da Organização.....	79
	Anexo II – Layout do Sistema de Produção.....	80
	Anexo III – Constrangimentos na elaboração do plano de produção	81
	Anexo IV – Plano de produção dos FK e 4x4	83
	Apêndice I – Análise de Tarefas da Linha Final.....	84
	Apêndice II – Situação Inicial do Balanceamento	86
	Apêndice III – Análise de acordo com o plano de produção.....	89
	Apêndice IV – Plano de produção consoante o comprimento do <i>chassis</i>	91
	Apêndice V – Diagrama de precedências da Yagura	93
	Apêndice VI – Diagrama de Gantt para a Yagura.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Etapas para a realização do estudo.....	3
Figura 2.1 Os pilares da TPS	6
Figura 2.6 Diferentes <i>layouts</i> de quatro linhas de montagem	16
Figura 2.2 Composição do Tempo Normal de uma tarefa.....	20
Figura 2.3 Ciclo de Melhoria.....	21
Figura 2.4 A relação entre os tempos envolvidos nas operações	23
Figura 2.5 Exemplo de uma linha ou sequência de trabalho.....	25
Figura 3.1 Instalações da MFTE, SA. em Tramagal.....	27
Figura 3.2 Estrutura acionista da MFTE, SA.	27
Figura 3.3 Marcos Históricos da empresa	29
Figura 3.4 Valores da Organização	30
Figura 3.5 Organigrama da empresa.....	30
Figura 3.6 Modelos produzidos na MFTE, SA.....	31
Figura 3.7 eCanter	31
Figura 3.8 Número de unidades produzidas de cada variante em março e abril de 2020	36
Figura 3.9 Diferenças observadas entre dois modelos no mesmo posto de trabalho.....	37
Figura 3.10 Representação da situação inicial da linha do lado direito (RH).....	38
Figura 3.11 Representação da situação inicial da linha do lado esquerdo (LH)	38
Figura 3.12 Tempo necessário nos postos de trabalho da EOL	42
Figura 3.13 Situação inicial do EoL	42
Figura 3.14 Processo de Montagem e Estimativa do Tempo de Trabalho do eCanter.....	44
Figura 3.15 Proposta de alteração de montagem do eCanter.....	45
Figura 3.16 Operações de submontagem do veículo Diesel.....	46
Figura 3.17 Operações de submontagens comuns (Diesel e eCanter).....	47
Figura 3.18 Operações de submontagem do veículo eCanter	47
Figura 3.19 Cenário conceptual futuro	47
Figura 4.1 Carga do posto 8409RH para 12 dias de produção	50
Figura 4.2 Carga do posto 8410RH para 12 dias de produção	50
Figura 4.3 Alteração da sequência de trabalho no posto 8410RH	51
Figura 4.4 Proposta de novo esquema de mobilidade de operadores.....	52
Figura 4.5 Esquema ilustrativo do cenário 1	54
Figura 4.6 Esquema ilustrativo do cenário 2	54
Figura 4.7 Cenários possíveis para as Submontagens	56
Figura 4.8 N° Operadores Vs. Abastecimento dos componentes	56
Figura 4.9 Componente do eCanter - Yagura	57
Figura 4.10 Determinação da disponibilidade dos operadores para realizar atividades	58
Figura 4.11 Imagens utilizadas em novos documentos com componentes identificados	59

Figura 4.12 Diagrama de Precedências	61
Figura 4.13 Diagrama de Gantt	61
Figura 4.14 Identificação dos locais de montagem da Yagura	62
Figura 4.15 Previsão da evolução do número de unidades produzidas	63
Figura A.1 Organigrama da Organização	79
Figura A.2 Layout da Organização	80
Figura A.3 Constrangimentos no Plano de Produção	81
Figura A.8 Plano de Produção FK e 4x4	82
Figura A.4 Análise de tarefas da Linha Final	83
Figura A.5 Situação Inicial do Lado Direito	85
Figura A.6 Situação Inicial do Lado Esquerdo	86
Figura A.7 Plano de Produção consoante o comprimento do chassis	90
Figura A.9 Diagrama de Precedências Yagura	91
Figura A.10 Diagrama de Gantt Yagura	92

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Os oito tipos de desperdício do <i>Lean Manufacturing</i>	7
Tabela 2.2 Vantagens da Implementação do LM	8
Tabela 2.3 Implementação mal sucedida do LM	9
Tabela 3.1 Variabilidade nos diferentes modelos e entre postos de trabalho	35
Tabela 3.2 Classificação das tarefas analisadas.....	39
Tabela 3.3 Tempos totais de operação empregues na Pintura.....	43
Tabela 3.4 Tempos estimados para a montagem de três componentes.....	45
Tabela 3.5 Tempos de montagem dos componentes do <i>diesel</i> mais significativos	46
Tabela 4.1 Comparação das quantidades produzidas em diferentes períodos	49
Tabela 4.2 Tempo e número de operadores alocados às estações.....	52
Tabela 4.3 Registo dos tempos do teste realizado em diferentes veículos.....	53
Tabela 4.4 Tempo atribuído ao cenário 1	54
Tabela 4.5 Tempo atribuído ao cenário 3.....	55
Tabela 4.6 Tabela de Precedências	60
Tabela 4.7 Redução do número de operadores e eficiência da linha	64
Tabela 4.8 Eficiência calculada de acordo com o tempo <i>target</i>	65
Tabela 4.9 Propostas de melhoria, impactos e estado de implementação	66
Tabela A.1 Análise postos de trabalho segundo o plano de produção	88
Tabela A.2 Disponibilidade Postos de Trabalho	89

ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS E SIGLAS

ALBP – *Assembly Line Balancing Problem*

EoL – *End of Line*

FTP – Folhas de Trabalho Padrão

GALBP – *General Assembly Line Balancing Problem*

HPU – *Hours Per Unit*

IAM – Indústria de Automóveis e Montagem

JIT – *Just-In-Time*

KPI – *Key Performance Indicator*

LH – *Left Hand*

LM – *Lean Manufacturing*

MALB – *Multiple Assembly Line Balancing*

MDF – Metalúrgica Duarte Ferreira

ME – *Manufacturing Engineering*

MFTBC – Mitsubishi Fuso Trucks & Bus Corporation

MFTE – Mitsubishi Fuso Truck Europe

MMP – Mitsubishi Motors Portugal

MTE – Mitsubishi Truck Europe

NAFTA – North American Free Trade Agreement

PALBP – *Parallel Assembly Line Balancing Problem*

PEFM – *Plant Engineering & Facility Management*

Qnt - Quantidade

RfP – *Respect for People*

SALBP – *Simple Assembly Line Balancing Problem*

TC – Tempo de Ciclo

TOS – *Truck Operating System*

tp – tempo padrão

TPS – *Toyota Production System*

TT – *Takt Time*

UTALBP – *U-type Assembly Line Balancing Problem*

VSM – *Value Stream Mapping*

2S-ALBP – *Two-sided Assembly Line Balancing Problem*

SIMBOLOGIA

C – Capacidade

D – Disponibilidade

E – Eficiência

L – Carga

O – Ocupação

P – Produtividade

T – Tempo Disponível

1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação descreve o estudo realizado na empresa Mitsubishi Fuso Truck Europe, S.A., MFTE, SA., sediada em Tramagal (Abrantes).

Este capítulo introdutório será iniciado com um enquadramento e motivação do estudo, seguido dos objetivos pretendidos e da metodologia adotada. Por fim, será descrita a estrutura do conteúdo da dissertação.

1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

O mercado está a tornar-se cada vez mais competitivo e as empresas precisam de demonstrar a sua capacidade de resposta face às flutuações da procura (Lizotte-Latendresse & Beauregard, 2018). A evolução tecnológica proporciona à indústria uma oportunidade para aumentar a sua vantagem competitiva e liderança global através da transformação contínua dos seus processos e das suas habilidades e estratégias (Raoufi *et al.*, 2018).

Assim, as empresas passaram a implementar abordagens *Lean* e metodologias de melhoria contínua nos seus processos produtivos, para garantir a sua presença no mercado (Orji & Liu, 2018).

Atualmente, a procura dos clientes por produtos individuais, com excelentes padrões de qualidade e a um custo reduzido, faz com que as empresas procurem disponibilizar uma maior variedade de produtos e suas variantes (Fisel *et al.* 2019).

A customização em massa é conhecida como o paradigma de produção atual. Cada cliente exige uma personalização completa do produto num prazo de execução limitado. Para enfrentar estes requisitos de mercado desafiador, com custos mais reduzidos, é comum adotar princípios *just-in-time* e montagem sob pedido nos processos de produção (Bortolini *et al.*, 2017).

Uma estratégia é o desenvolvimento de modelos e métodos para o projeto de linhas de montagem, que consideram o impacto de características de componentes e logística na performance da montagem (Bortolini *et al.*, 2017).

Devido à evolução da procura e desenvolvimento de novas tecnologias as empresas de fabricação têm que implementar mudanças de engenharia nos seus sistemas de produção. A fim de reagir às mudanças do mercado, a linha de produção deve ser robusta às transformações constantes (Samouei *et al.*, 2016).

Os clientes são mais exigentes e os fabricantes são obrigados a oferecer uma grande variedade de produtos, o que exige o desenho apropriado de linhas de montagem para que consigam responder às necessidades em tempo (Samouei *et al.*, 2016).

Tipicamente, as linhas de montagem da indústria automóvel são organizadas sob a forma de uma linha de montagem de fluxo variável, onde as mudanças representam um desafio significativo

(Fisel *et al.* 2019; Samouei *et al.*, 2016). Os sistemas de produção modernos são caracterizados por produtos com curtos ciclos de vida, alto nível de automação (não é o caso no presente estudo), aparecimento de novos equipamentos de produção e tecnologias e elevados investimentos (Dolgui & Gafarov, 2017).

O balanceamento de linhas de montagem, constitui, portanto, um enorme desafio para a indústria de produção uma vez que o desempenho da linha de montagem tem um impacto significativo sobre o comportamento global de todo o sistema de produção (Lalaoui & Afia, 2018).

1.2. OBJETIVOS DO ESTUDO

A empresa tem vindo a aplicar o *Lean* nas últimas décadas em busca de uma melhoria constante dos seus processos. A Gestão de Topo da empresa revê, estabelece e comunica, periodicamente, as suas estratégias e formas de as conseguir, com o intuito de obter um maior crescimento e aumentar os seus níveis de produtividade. Na MFTE, SA., uma das estratégias fundamentais utilizadas na persecução destes objetivos é o denominado TOS (*Truck Operating System*).

O presente estudo teve como objetivos o aumento da eficiência do processo de montagem na MFTE, SA: e a redução dos desperdícios decorrentes da elevada variabilidade de modelos existentes. O desenvolvimento de propostas de melhoria e sua concretização e aplicação contribuirão para o alcance dos objetivos da organização

O Estudo de Caso, proposto pela empresa MFTE, SA., consistiu na melhoria do processo produtivo das linhas de montagem da fábrica. São linhas de modelos misturados, sendo capazes de produzir diferentes modelos, exigindo flexibilidade e elevada produtividade.

A temática inicial do estudo era geral e tencionava o estudo dos métodos atuais/inovadores para definição das operações de montagem por cada operador com balanceamento de estações em fluxo contínuo.

Pretendia-se que o processo de montagem da empresa se tornasse mais eficaz e eficiente introduzindo flexibilidade na linha e a atenuando a variabilidade dos tempos de montagem diferentes entre modelos, identificando as restrições a que cada linha em estudo estava sujeita e aplicando metodologias e criatividade que permitissem a redução de desperdícios produtivos, e ainda a diminuição da sua variabilidade.

Durante o estudo, os objetivos materializaram-se em objetivos concretos, nomeadamente a compreensão das principais tarefas inerentes à montagem dos diferentes modelos e da sua mutabilidade e a redução de tempo ocioso em diferentes linhas de montagem devido a alterações do tempo de ciclo.

Outro objetivo principal do estudo consistiu na avaliação da possibilidade de integração da montagem do veículo elétrico, eCanter, na linha principal. A montagem do eCanter, até ao momento, era realizada numa linha à parte e provisoriamente, e pretendia-se a redução do seu

tempo de ciclo. O propósito consistiu na integração faseada do veículo elétrico na linha do veículo *diesel*, provando a possibilidade de introdução desse conceito na empresa.

1.3. METODOLOGIA DO ESTUDO

Na organização, a elaboração da pesquisa assentou no seguimento do procedimento definido (Figura 1.1). Esta ajudou no desenvolvimento do presente estudo desde o seu começo até à sua conclusão. Numa ótica de melhoria contínua, esta metodologia visa o cumprimento dos objetivos essenciais do estudo, descritos no subcapítulo anterior.

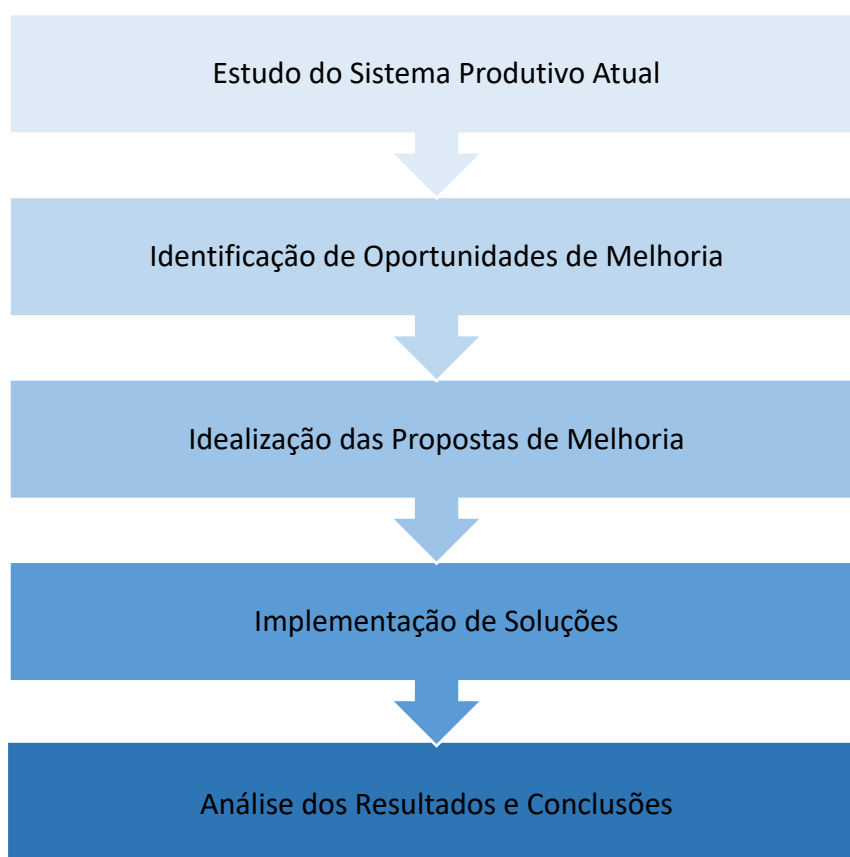


Figura 1.1 Etapas para a realização do estudo

Foram consideradas cinco etapas na metodologia de estudo. A primeira consistiu no estudo do sistema produtivo de modo a poder compreender de forma detalhada a sequência das atividades pertencentes aos diferentes processos.

Depois, a segunda etapa residiu na identificação de possíveis oportunidades de melhoria em vários pontos da linha de montagem recorrendo a observação direta, *Brainstorming*, *gemba walk*, conversas informais com as chefias e colaboradores e análise das folhas de operação. Seguiu-se a terceira fase que compreendeu a idealização e seleção de soluções para a eliminação ou mitigação dos problemas encontrados.

A quarta etapa compreendeu a aplicação das soluções propostas na fase anterior. A quinta etapa, e última, incluiu a análise dos resultados obtidos com cada uma das investigações e sua discussão e, por fim, as ilações retiradas de cada estudo.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação encontra-se estruturada em 5 capítulos.

O presente capítulo corresponde ao primeiro, intitulado de 1. Introdução e o seu conteúdo já se encontra descrito.

O Capítulo 2. *Lean Manufacturing* tem como objetivo introduzir os fundamentos teóricos que suportam o estudo realizado. Este capítulo pretende especificar os principais aspetos relativos ao tema, os quais foram os alicerces do estágio na empresa que foi alvo de estudo.

Relativamente ao Capítulo 3. Estudo de Caso e MFTE, SA., é apresentada a empresa onde se realizou o Estudo e são identificadas as oportunidades de melhoria.

Depois de identificadas, no Capítulo 4. Propostas de Melhoria, são desenvolvidas propostas de melhoria para as diferentes linhas observadas e analisados os resultados e implementação das mesmas.

No Capítulo 5. Conclusões e Trabalhos Futuros são apresentadas as principais conclusões do estudo realizado na empresa e propõem-se sugestões para o desenvolvimento de futuros trabalhos.

2. LEAN MANUFACTURING

O presente capítulo pretende introduzir os fundamentos teóricos que suportaram o estudo realizado. Como o âmbito do estudo residiu na melhoria do processo produtivo numa linha de montagem da indústria automóvel, existiram várias temáticas de base e tornou-se necessária uma contextualização de diferentes aspetos dentro do tema.

Este capítulo pretende introduzir os fundamentos teóricos da Filosofia *Lean Manufacturing*, as suas ferramentas e as vantagens e limitações da sua aplicação. Assim, é estabelecido um enquadramento daqueles que foram os alicerces do estudo. Não foram abordados modelos matemáticos/teóricos pois não se pretendia a sua aplicação neste contexto.

2.1. DEFINIÇÃO E OBJETIVOS DO LEAN

Nas últimas décadas, o *Lean Manufacturing* (LM) forneceu algumas das práticas e ferramentas mais populares e eficazes que permitem às indústrias e empresas de fabricação alcançar a excelência operacional (Möldner *et al.*, 2020). As técnicas adotadas têm sido um fator determinante para operações sustentáveis, tanto na redução de custos como nos tempos de *setup* (Kafuku, 2019). Assim, o conceito LM tornou-se conhecido na gestão de operações das indústrias. No entanto, adotar este conceito é um desafio para as indústrias, sobretudo em países que sofrem com a falta de recursos, ferramentas e técnicas necessárias para implementar esse conceito (Nassereddine & Wehbe, 2018).

O LM visa eliminar qualquer atividade que não acrescente valor (“gorduras”) por meio de melhorias incrementais contínuas (Möldner *et al.*, 2020). As empresas que implementam o LM procuram melhorar a sua eficácia e eficiência: estas tornam-se mais eficazes aumentando a qualidade e o valor do produto na perspetiva do cliente e mais eficientes ao reduzir todas as formas de desperdício nos seus fluxos de informação e produção (Marodin *et al.*, 2018). Embora o sucesso do LM exija a participação de toda a empresa, as implementações do LM são geralmente realizadas de maneira fragmentada, isto é, sem se verificar a interligação de todas as áreas funcionais existentes na empresa (Marodin *et al.*, 2018).

O LM é uma metodologia que procura satisfazer as necessidades do cliente sem sacrificar a qualidade, utilizando o processo mais económico e eficiente de produção. Este processo pode ser implementado de duas formas distintas que se relacionam entre si: a primeira consiste em identificar e eliminar todos os desperdícios nos processos de produção, reduzindo os custos e aumentando a qualidade, e a segunda consiste em otimizar o processo de modo a remover irregularidades e desníveis existentes (Deshkar *et al.*, 2018).

Pode assim concluir-se que, a diminuição de desperdício dos processos produtivos, dos danos causados ao ambiente e do uso desnecessário de recursos, é o conceito central do LM (Ghobadian *et al.*, 2020).

2.2. ORIGEM E FUNDAMENTOS DO LEAN

Inicialmente, o termo LM era conhecido por “*Toyota Production System (TPS)*”, devido ao facto de este ter sido introduzido nessa mesma empresa (Salonitis & Tsinopoulos, 2016). O TPS foi apresentado após a segunda Guerra Mundial, numa época em que o Japão não tinha capacidade económica para desperdiçar recursos ou investimentos devido à devastação provocada (AIManei *et al.*, 2017).

Assim, a filosofia de LM está assente nos fundamentos da TPS e tem como base os três “pilares Toyota”, *Just-in-Time (JIT)*, *Jidoka* e Respeito pelas Pessoas (RfP) (Llach *et al.*, 2017; Gleeson *et al.*, 2019). A Figura 2.1 ilustra os pilares da TPS.

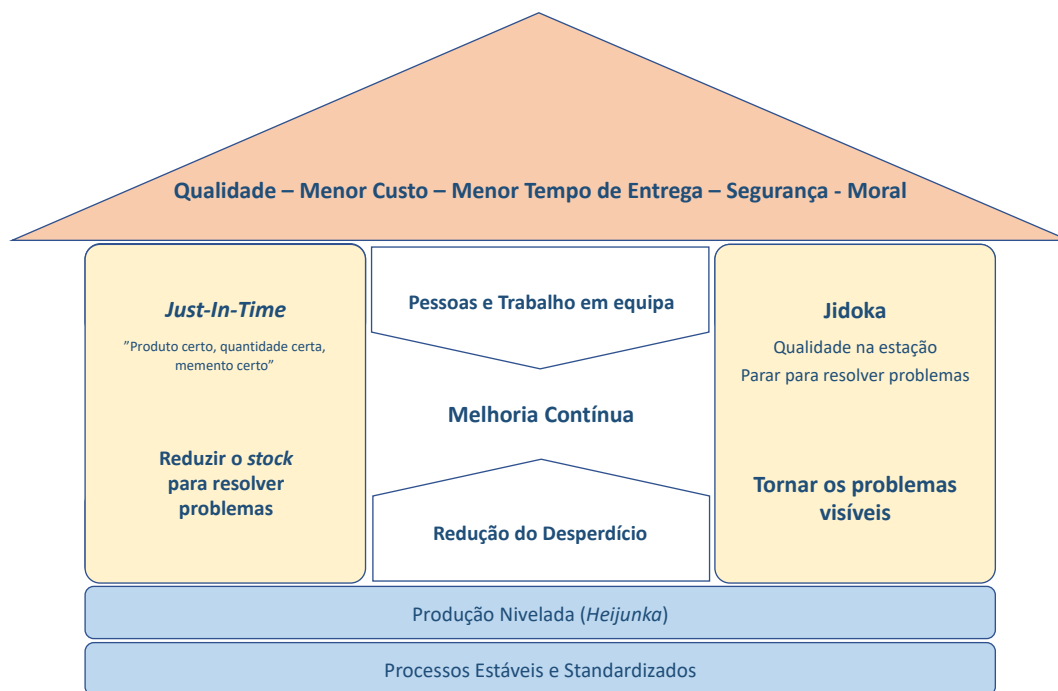


Figura 2.1 Os pilares da TPS
(adaptado de Liker & Morgan, 2006)

O JIT diz respeito a um conjunto de ferramentas de gestão interrelacionadas que visam a produção dos produtos necessários (de acordo com as expectativas do cliente), no momento necessário e na quantidade necessária. O segundo pilar, *Jidoka*, refere-se à capacidade de automatização com toque humano dos processos e deteção de um problema, sendo possível medir o nível de qualidade e desenvolver melhorias constantes para garantir zero defeitos. O terceiro, e último pilar, pretende garantir que os operadores têm condições de trabalho adequadas e que se encontram todos motivados para trabalhar (Llach *et al.*, 2017).

Esta filosofia não é apenas um conjunto de ferramentas para ser usada, mas sim uma abordagem inovadora em termos de gestão, que procura ter em conta todas as entidades envolvidas bem como uma variedade de fatores associados à implementação da mesma (Salonitis & Tsinopoulos, 2016).

2.3. PRINCÍPIOS *LEAN* E OITO DESPERDÍCIOS

Para melhorar os processos produtivos atuais das empresas, têm de ser adotados uma série de princípios. Estes princípios foram definidos por Womack & Jones e podem ser interpretados quase como procedimentos que as empresas e os seus colaboradores têm de seguir de modo a conseguir obter uma implementação de sucesso (Dombrowski & Malorny, 2018). Segundo Knol *et al.* (2019), os princípios podem ser subdivididos nas seguintes categorias:

- Especificação do que cria valor para o cliente;
- Identificação dos fluxos de valor e eliminação das atividades que não criem valor;
- Criação de um fluxo contínuo com as atividades que acrescentam valor;
- O cliente puxa o fluxo de valor - sistema *pull*;
- Compromisso na perfeição através da redução contínua do desperdício.

O LM pode ser definido como produção sem desperdício (Yahya *et al.*, 2019). O desperdício pode ser definido como “qualquer atividade humana que utiliza recursos, mas que não cria valor” (Douglas *et al.*, 2015).

Taiichi Ohno identificou sete tipos de desperdício para o ambiente de produção, no entanto consideram-se, atualmente, oito tipos de desperdício (Tabela 2.1). Estes desperdícios são: sobreprodução, transporte, defeitos, sobre processamento, espera, movimento, *stock* e subaproveitamento das pessoas (Douglas *et al.*, 2015; Kęsek *et al.*, 2019).

Tabela 2.1 Os oito tipos de desperdício do *Lean Manufacturing*

(adaptado de Douglas *et al.*, 2015)

Desperdício	Descrição
Sobreprodução	Produção superior à procura.
Transporte	Movimentação de materiais desnecessária para o processo.
Defeitos	Todo o trabalho associado à identificação e correção de defeitos.
Sobre Processamento	Realização de tarefas que não acrescentam valor para o cliente.
Espera	Pessoa à espera de material ou equipamento; Equipamento ou material à espera do processo seguinte.
Movimento	Deslocação de pessoas ou equipamento mais que o necessário para executar atividades.
<i>Stock</i>	Todas as peças, produtos em vias de fabrico e produtos acabados que não estão a ser processados.
Subaproveitamento das pessoas	Não utilização das capacidades das pessoas/empregados na sua totalidade.

2.4. APLICAÇÃO, VANTAGENS E LIMITAÇÕES

O LM tem sido aplicado, em diversos setores e áreas de produção, com o intuito de melhorar o desempenho das operações efetuadas. Atualmente, é considerado o paradigma mais influente na fabricação, uma vez que está em conformidade com os objetivos organizacionais, tais como a rentabilidade e a eficiência, e com os objetivos atuais, que englobam a satisfação, qualidade e capacidade de resposta (Baumer-Cardoso *et al.*, 2020).

É importante realçar que o LM se encontra atualmente sobre o foco da sociedade visto que a implementação desta filosofia permite às empresas produzir mais e com menos recursos (Masuti & Dabade, 2019). Por outras palavras, a filosofia LM é extremamente eficaz, visto que permite alcançar a produção de uma maior variedade de produtos a um custo menor, com metade dos recursos, metade do espaço de fabricação, metade do investimento, em metade do tempo, com maior qualidade e com muito menos esforço humano (Kafuku, 2019; Marodin *et al.*, 2018).

O contexto que oferece o melhor ajuste para a aplicação do LM é caracterizado por uma elevada procura, um ambiente operacional estável, baixa variabilidade do processo, baixa variedade de produtos e um processo repetitivo. Assim, conclui-se que os processos de produção em massa oferecem o melhor ajuste para a implementação do LM. Isto sugere que, embora algumas das ferramentas e práticas do LM possam ser aplicadas aos processos de fabricação de peças e lotes (Ghobadian *et al.*, 2020).

Para que o LM seja implementado com sucesso é necessário que todos os funcionários estejam envolvidos na sua prática e implementação. Isto significa que, a essência por detrás do pensamento LM reside no envolvimento das pessoas. Outro fator importante, e que pode levar ao sucesso, é a mudança de cultura dentro das empresas aquando a implementação desta filosofia (Alhuraish *et al.*, 2017). Para além dos fatores mencionados, não deixar de referir que a gestão da comunicação revela extrema importância na adoção do LM (Islam, 2019).

A aplicação da filosofia LM é na maior parte dos casos vantajosa e permite a resolução de dificuldades que as empresas apresentam nos seus processos de produção. No entanto, existem barreiras que necessitam de ser ultrapassadas durante a sua implementação (Čiarnienė & Vienažindienė, 2012).

Na Tabela 2.2, encontram-se as vantagens que decorrem da implementação do LM.

Tabela 2.2 Vantagens da Implementação do LM

(adaptado de Čiarnienė & Vienažindienė, 2012)

Vantagem	Descrição
Satisfação do Cliente	Reduzindo os desperdícios, o produto final é enviado para o cliente com valor. A vantagem é o aumento da satisfação do cliente.
Produtividade	A produtividade aumenta devido às melhorias focadas nos processos com o objetivo de reduzir desperdícios.

Tabela 2.2 Vantagens da Implementação do LM (continuação)

(adaptado de Čiarnienė & Vienažindienė, 2012)

Vantagem	Descrição
Mudança de Atitude	A implementação de LM geralmente exige uma mudança significativa na atitude de uma organização, o que pode ser muito desafiador se esta não estiver bem preparada.
Qualidade	Como resultado das iniciativas de melhoria de processo, a qualidade geral do produto é também melhorada no processo. Como resultado, as expectativas dos clientes são atendidas pela melhor qualidade de produtos oferecida.
Tempo de Entrega	Outro elemento fundamental do LM é a produção <i>just-in-time</i> , em que o excesso de inventário não pode existir até que exista uma encomenda de um cliente.

A implementação do LM é um processo que não tem apenas vantagens. Existem desvantagens e limitações relacionadas com a sua aplicação (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 Implementação mal sucedida do LM

(adaptado de Čiarnienė & Vienažindienė, 2012)

Desvantagem/ Limitação	Descrição
Problemas de Insatisfação do cliente	Porque os processos LM são dependentes da eficiência do fornecimento, qualquer perturbação da cadeia de abastecimento e, portanto, na produção pode gerar um problema que afete os clientes, como por exemplo, atrasos de entregas.
Custos de Produtividade	Para que a produtividade aumente, pode ser necessário um investimento significativo para aumentar o nível de standardização de processos o que é desvantajoso durante o processo de implementação.
Falta de Aceitação dos Funcionários	Os processos LM requerem uma revisão completa dos sistemas de produção, o que pode causar rejeição por parte dos operadores. Pode existir dificuldade em encontrar gestores com capacidades de liderança e persuasão.
Custos de Implementação Elevados	A implementação do LM, geralmente, pode significar desmontar completamente as configurações e sistemas físicos. A compra de máquinas eficientes e o treino de funcionários podem aumentar consideravelmente as despesas.
Problemas no Fornecimento	Como apenas é mantida uma reduzida quantidade de <i>stock</i> , o LM é muito dependente dos fornecedores. Problemas como greves de funcionários, atrasos no transporte e erros de qualidade por parte dos fornecedores podem criar atrasos na fabricação que podem ser fatais. Outro aspeto é o facto de que os fornecedores podem não ser capazes ou não estar dispostos a fornecer peças ou produtos num cronograma mais restrito ou em quantidades menores.

A filosofia LM deve aplicar-se sempre que possível, visto que a sua implementação visa obter melhorias significativas nos processos produtivos das indústrias de fabricação e produção.

Além disso, importa referir que, embora a metodologia LM seja um conceito muito confiável e que traduz melhorias significativas em indústrias de grandes dimensões, existem, ainda, algumas falhas e desafios para empresas menores, de modo a garantir que a implementação desta filosofia é realizada com sucesso dentro da empresa (Kumar *et al.*, 2018).

A filosofia de LM exige que seja realizada uma mudança cultural dentro das organizações, procurando melhorar a eficiência (redução de tempos de processo), produzir produtos ao ritmo da procura (*stock* mínimo) e melhorar a qualidade.

Quando o LM é aplicado com sucesso, os colaboradores e funcionários ficam mais motivados e, conseqüentemente, os processos tornam-se mais produtivos fazendo com que as empresas se tornem mais competitivas no mercado em que se inserem.

A aplicação da filosofia LM passa por maximizar o valor para o cliente minimizando, ou eliminando, se possível, qualquer tipo de desperdício.

2.5. FERRAMENTAS DO LEAN

Neste subcapítulo são explicadas as ferramentas e técnicas do Lean que visam a redução ou eliminação de desperdícios. Apresentam-se as consideradas mais pertinentes no âmbito do presente estudo, de forma a realizar um enquadramento geral das ferramentas.

2.5.1. 5S

É uma metodologia para organizar, limpar, desenvolver e manter um ambiente de trabalho produtivo. De acordo com Omogbai & Salonitis (2017), baseia-se em cinco etapas com designações começadas pela letra S:

1. *SEIRI* (Separar, segregar, *sort*): Remover ferramentas e peças desnecessárias, mantendo apenas o essencial.
2. *SEITON* (Arrumar, organizar, *set in order*): Tudo deve ser mantido no seu local e as tarefas definidas de forma que o trabalho flua livre de ineficiências.
3. *SEISO* (Limpar, *shine*): Manter tudo limpo e arrumado, tanto a área de trabalho como os equipamentos.
4. *SEIKETSU* (Normalizar, *standardise*): Estabelecer normas e regras para manter a ordem e a limpeza. Documentar os métodos de trabalho.
5. *SHITSUKE* (Respeitar, disciplinar, *sustain*): Criar o hábito de procedimentos. Assegurar que as normas são mantidas através do treino e disciplina.

2.5.2. VALUE STREAM MAPPING

O *Value Stream Mapping* (VSM) é uma ferramenta do LM que permite identificar e desenhar os fluxos de informação, dos processos e dos materiais, ao longo de toda a cadeia de valor. Desde os fornecedores de matérias-primas até à entrega do produto ao cliente.

A visão global dos processos da cadeia de valor permite o foco na globalidade, não se concentrando em processos individuais ou na otimização das partes.

Consiste no desenho do mapa do estado atual da empresa obtendo uma projeção precisa do seu estado futuro de funcionamento e definição do plano de trabalhos (Kundgol *et al.*, 2020).

O VSM é uma ferramenta simples e eficaz que ajuda, numa fase inicial, a gestão, a engenharia e as operações a reconhecerem o desperdício e a identificarem as duas causas. Pretende o mapeamento dos fluxos de materiais e fluxo de informação e auxilia no processo de visualização da situação atual e na construção da situação futura (Pinto, 2014).

Algumas aplicações do VSM, a redução dos tempos poderá ser o único aspeto considerado, dada a necessidade. Além do tempo, o VSM pretende chamar a atenção para os custos do processo, considerando-os nos processos de análise e de tomada de decisão (Kundgol *et al.*, 2020).

Na prática, quando se utiliza o VSM deve optar-se por um processo, produto ou serviço que tenha impacto no desempenho da empresa ou que tenha associado um grande potencial de ganho com a implementação de ferramentas de melhoria contínua.

No desenho do VSM atual é importante envolver o maior número de áreas da empresa, promovendo o debate sobre a cadeia de valor, analisando o “todo” e não apenas o seu departamento. Os contributos são numa ótica de melhoria global da cadeia e do desempenho da organização.

Depois do desenho do estado atual e de traçar os objetivos de melhoria, inicia-se o estudo do estado futuro. O plano de ações que conduzirão ao estado futuro é traçado com base nos objetivos, no tempo e nos recursos disponíveis. As ações devem ser calendarizadas, os responsáveis definidos e esclarecidos os resultados a alcançar com as mesmas (Pinto, 2014).

As mudanças não são imediatas e existem vários estados futuros intermédios até que a organização atinja o estado ideal. O estado ideal é caracterizado inexistência de desperdícios na cadeia. Como tal, são necessárias várias etapas até que possa ser alcançado.

Assim, os objetivos do VSM consistem na visualização dos fluxos dos materiais e da informação, a identificação facilitada e eliminação de desperdícios e das suas fontes, a apresentação de ações de melhoria ao nível da fábrica e do fluxo de valor e, por fim, criar uma linguagem comum de avaliação dos processos (Kundgol *et al.*, 2020).

2.5.3. NIVELAMENTO E ALISAMENTO DA PRODUÇÃO

O nivelamento da produção é empregue para eliminar a sobreprodução. A produção nivelada atinge o equilíbrio da capacidade e a sincronização de todas as operações de produção ao longo do tempo. No entanto, este nivelamento tem um custo considerável que torna a sua implementação um desafio. A avaliação do seu impacto está relacionada com métricas que se centram na produtividade do sistema, nos tempos de ciclo e nas melhorias de qualidade (ElMaraghy & Deif, 2014).

O objetivo desta ferramenta é proporcionar o máximo de produtividade e eficiência, maximizando a utilização da mão-de-obra. Assim, pretende eliminar esperas, anular gargalos dos processos e manter o ritmo de trabalho. Para a filosofia LM é importante o controlo do processo para eliminação do desperdício, pelo que o balanceamento é considerado uma ferramenta viável para o efeito, principalmente porque reduz o tempo ocioso dos operadores.

2.5.4. KAIZEN

Kaizen é uma palavra japonesa que significa “melhoria contínua”. O *Kaizen* tem vindo a expandir-se amplamente na área da gestão, sendo considerado útil e capaz de contribuir para o aumento da competitividade de uma determinada organização (Gaspar, 2017).

Esta ferramenta propõe que a melhoria dos processos produtivos seja realizada através de pequenas etapas e ações. Contudo, o resultado conjunto pode ser bastante significativo para as empresas. Deste modo, os resultados da sua implementação apenas serão visíveis a longo prazo. Deste modo, é necessária persistência e esforços diários para o alcance dos resultados pretendidos.

A implementação deste conceito não tem fim, uma vez que todos os processos e procedimentos empresariais ou industriais podem ser aperfeiçoados constantemente. Como as melhorias dos processos não implicam a utilização de equipamentos complexos e sofisticados, os custos que decorrem da aplicação do *Kaizen* não são significativos (Maarof & Mahmud, 2016).

O *Kaizen* é uma mentalidade. A partilha de conhecimentos entre os membros da organização, conduz a resultados positivos para todas as empresas que o aplicam.

Esta ferramenta pretende que se aprenda com a prática e que todo o desperdício seja eliminado. Todos devem estar incluídos no processo de melhoria e as ações para o aumento da produtividade não devem exigir um elevado investimento financeiro. Todos os locais da organização são passíveis de melhoria e a comunicação das melhorias obtidas são comunicadas promovendo uma comunicação transparente em toda a empresa (Maarof & Mahmud, 2016).

O foco é direcionado para o local de maior necessidade e o principal objetivo é a melhoria dos processos.

Os membros das equipas são motivados a desenvolver-se e melhorar quando sentem que fazem parte do processo e da mudança. Ao verem as suas pequenas sugestões concretizadas, estão mais dispostos a continuar e contribuir com novas propostas.

2.5.5. KANBAN

A palavra *Kanban*, de origem japonesa, significa “cartão”. O sistema *Kanban* controla o fluxo de materiais, pessoas e informação em todos os processos e garante o funcionamento do sistema produtivo *pull*. É um sistema simples e visual que se baseia no princípio de que nenhum posto de trabalho pode produzir sem que o seu cliente autorize (Pinto, 2014). Assim, o principal objetivo do sistema *Kanban* é a produção de apenas o que é essencial, quando necessário, reduzindo a sobreprodução (Krishnaiyer *et al.*, 2018).

O *Kanban* é uma ferramenta com uma componente visual, um baixo custo de implementação e de simples utilização, permitindo o aumento da motivação dos operadores pelo seu envolvimento e responsabilização pelas operações. A implementação de um sistema *Kanban* pode trazer inúmeras vantagens para a organização, nomeadamente a redução dos níveis de *stock*, o aumento da qualidade do produto, prevenção da sobreprodução e melhoria da conexão entre os processos produtivos como na empresa onde foi realizado o estudo de Fernandes (2017).

2.6. BALANCEAMENTO DE LINHAS DE MONTAGEM

O Balanceamento de Linhas de Montagem é de alta relevância prática na produção industrial (Fisel *et al.* 2019). Representa uma tarefa crucial para a produção, a fim de melhorar a produtividade e minimizar custos (Sime *et al.*, 2019).

As linhas de montagem têm uma função vital para aumentar a eficiência e acelerar o sistema de produção, enquanto reduzem os custos de produção em cada unidade de produto. Estas linhas foram introduzidas pela primeira vez por Henry Ford nas empresas fabricantes da Ford e têm sido motivo de preocupação para os investigadores que se concentram em melhorar o desempenho das linhas para aumento da eficiência (Eghtesadifard *et al.*, 2020; Manaye, 2019).

O ALBP (*Assembly Line Balancing Problem*) foi sugerido pela primeira vez por Salveson em 1955. O objetivo era atribuir tarefas de montagem às estações de trabalho, dentro de um período de montagem aproximadamente igual e de acordo com as restrições de precedência (Eghtesadifard *et al.*, 2020).

A formulação inicial de Salveson, segundo Pearce *et al.* (2019), é conhecida como um problema de balanceamento simples da linha de montagem (SALB), uma vez que apresenta uma série de hipóteses de simplificação:

1. Produção em massa de um produto homogéneo.
2. Todas as tarefas são processadas num modo pré-determinado (sem alternativas de processamento).

3. A linha é cadenciada com um tempo de ciclo fixo comum de acordo com uma quantidade de saída pretendida.
4. A linha é considerada como sendo em série, sem linhas de alimentação ou elementos paralelos.
5. A sequência de tarefas está sujeita a restrições de precedência.
6. Os tempos de tarefa são determinísticos.
7. A tarefa não pode ser dividida entre duas ou mais estações.
8. Todas as estações estão igualmente equipadas relativamente a máquinas e trabalhadores.

2.6.1. DEFINIÇÃO E OBJETIVOS

Uma linha de montagem é composta por uma sequência de estações de trabalho localizadas ao longo do sistema de transporte e fluxo de materiais. As várias tarefas são atribuídas a cada estação de trabalho de acordo com o tempo do ciclo de produção (Eghtesadifard *et al.*, 2020; Sime *et al.*, 2019).

O trabalho a ser realizado ao longo da linha de montagem é subdividido nos mais pequenos elementos indivisíveis de trabalho, chamadas tarefas, e cada tarefa que possui um tempo de tarefa associado (t_i). As tarefas relacionam-se umas com as outras por atributos de precedência, ou seja, algumas tarefas devem ser acabadas antes que outras possam começar, geralmente devido à arquitetura física da peça (Roldão & Ribeiro, 2014).

As estações são espaçadas ao longo da linha de modo a que exista uma peça de trabalho presente em cada estação, e todas as estações têm atribuído um tempo de ciclo fixo para executar tarefas antes que o transportador movimente a peça de trabalho para a próxima estação (Eghtesadifard *et al.*, 2020).

A principal tarefa de balanceamento de linhas de montagem reside na alocação das tarefas de montagem específicas e dos recursos necessários para uma estação da linha de montagem (Fisel *et al.*, 2019).

As linhas de montagem são uma sequência de estações de trabalho e típicas da produção em massa de produtos padronizados. O balanceamento de linha de montagem consiste na atribuição das diferentes tarefas de várias estações de tal forma que as relações de precedência são mantidas e a eficácia e eficiência estão a ser otimizadas (Manaye, 2019; Raj *et al.*, 2016; Zhong *et al.*, 2019).

O balanceamento de linhas de montagem é uma tarefa determinante para as empresas, a fim de melhorar a produtividade e minimizar custos de produção (Sime *et al.*, 2019). A sua utilização deve-se ao facto de cada vez mais os gestores procurarem minimizar o número de estações para um tempo de ciclo pré-definido numa linha de montagem existente (Lalaoui & Afia, 2018); distribuir as tarefas necessárias uniformemente sobre a estação de trabalho, minimizando o tempo das máquinas e dos operadores (Raj *et al.*, 2016).

Assim, minimizar o atraso ou minimizar o número de postos de trabalho são os principais motivos para o balanceamento de linhas de montagem (Manaye, 2019).

O principal objetivo do balanceamento de linhas de montagem é, portanto, distribuir as tarefas uniformemente nas estações de trabalho de modo que o tempo ocioso possa ser minimizado. O balanceamento da linha permite obter um equilíbrio ótimo ou mais eficiente das capacidades e dos fluxos dos processos de produção ou de montagem (Manaye, 2019).

2.6.2. PROBLEMAS DE BALANCEAMENTO E *LAYOUTS* DE LINHAS

Os ALBP são classificados em dois grupos: problemas simples de balanceamento de linhas de montagem (SALBP) e problemas generalizados de balanceamento de linha de montagem (GALBP) (Eghtesadifard *et al.*, 2020; Nourmohammadi *et al.*, 2019).

Nos SALBP, as linhas de montagem são organizadas como linhas em série com um padrão sequencial com todos os parâmetros de entrada, sem considerar qualquer incerteza. Os SALBP, com base na variabilidade do tempo de ciclo e no número de estações de trabalho, podem ser divididos em três grupos (Eghtesadifard *et al.*, 2020; Nourmohammadi *et al.*, 2019):

1. O SALBP do tipo 1, tenta minimizar o número de estações de trabalho com um valor definido de tempo de ciclo.
2. O SALBP do tipo 2, busca minimizar o tempo de ciclo com um número definido de estações de trabalho;
3. O SALBP do tipo E, tenta maximizar a eficiência e a produtividade da linha com um número variável de estações de trabalho e um tempo de ciclo variável.

Os GALBP incluem todos os problemas não abordados nos SALBP e apresentam mais restrições do que os SALBP (Eghtesadifard *et al.*, 2020).

O SALBP é o problema de balanceamento mais estudado, no entanto possui limitações severas quanto à sua aplicabilidade. Devido aos seus pressupostos de simplificação, nem todas as linhas de montagem são descritas com precisão por este tipo de problema (Lopes *et al.*, 2019).

As linhas de produção com trabalhadores em paralelo, permitem até dois trabalhadores operar simultaneamente no produto: um do lado esquerdo e outro do lado direito. As linhas de montagem múltiplas (MALB) permitem P trabalhadores (com $P > 2$) para executar tarefas em simultâneo na mesma peça de trabalho. A aplicação prática mais comum é encontrada no final da montagem de veículos (Lopes *et al.*, 2019).

Permitindo vários trabalhadores por estação pode reduzir-se o número de estações necessárias, possibilitando melhorias na utilização do espaço do chão de fábrica e redução dos custos (Pearce *et al.*, 2019).

As linhas de montagem, dependendo das restrições físicas, podem ser formuladas de acordo com diferentes *layouts* (Eghtesadifard *et al.*, 2020).

A Figura 2.2 ilustra os *layouts* de quatro sistemas de linha de montagem.

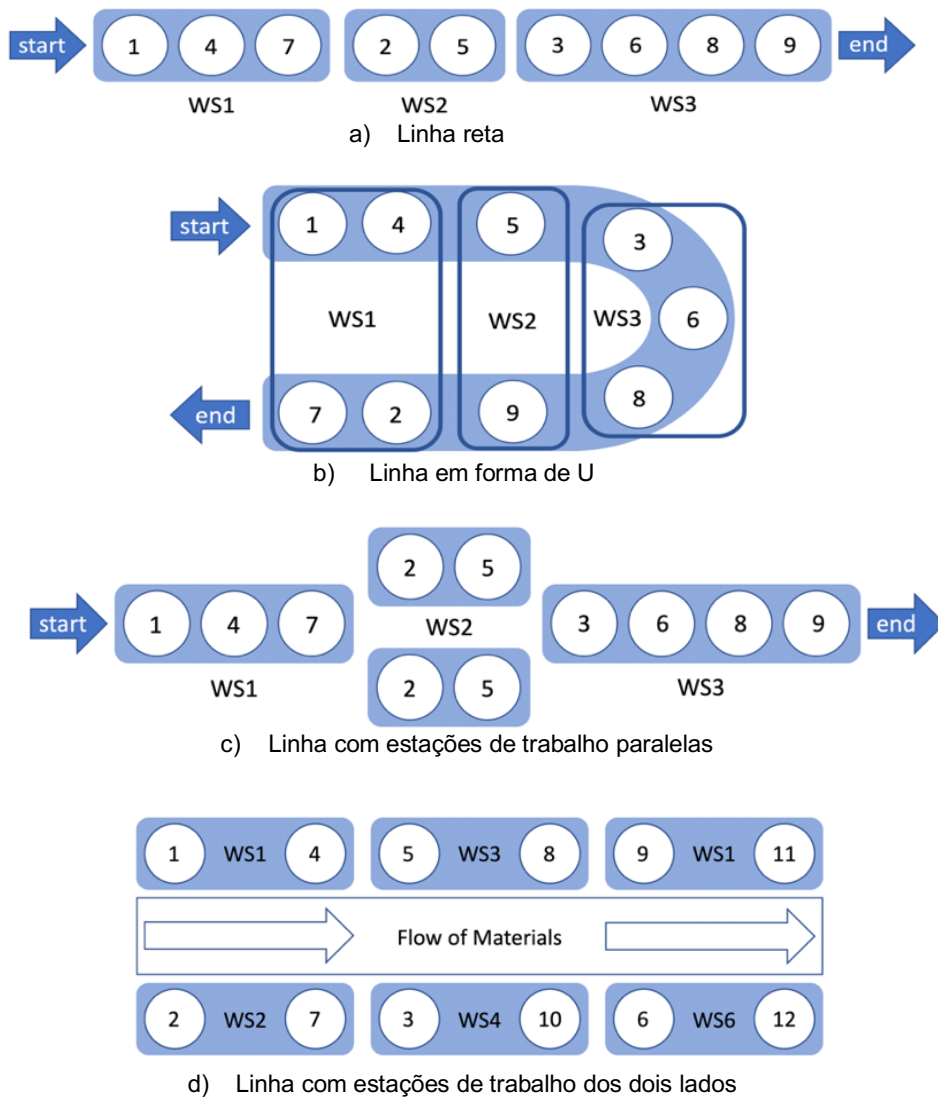


Figura 2.2 Diferentes *layouts* de quatro linhas de montagem

(adaptado de Eghtesadifard *et al.*, 2020)

De um modo geral, os ALBP podem ser divididos em quatro tipos com base nos *layouts* das estações de trabalho: (a) problemas de balanceamento de linha de montagem simples (SALBP); (b) problemas de balanceamento de linha de montagem do tipo U (UTALBP); (c) problemas de balanceamento de linhas de montagem paralelas (PALBP); e (d) problemas de balanceamento de linhas de montagem nos dois lados (2S-ALBP) (Eghtesadifard *et al.*, 2020).

2.6.3. RESTRIÇÕES

O balanceamento de linhas de montagem procura uma eficiente atribuição de tarefas às estações de trabalho numa linha de montagem sujeita a restrições operacionais (Álvarez-Miranda & Pereira, 2019).

As restrições mais graves que influenciam os ALBP são as restrições de ocorrência, restrições de precedência e restrições de capacidade. As restrições de ocorrência garantem que cada tarefa seja atribuída com precisão a uma estação de trabalho. As restrições de precedência certificam que as relações de precedência sejam consideradas entre os componentes do trabalho. Por fim, as restrições de capacidade referem-se aos tempos máximos de ciclo permitidos em todas as estações de trabalho (Eghtesadifard *et al.*, 2020).

Quando são utilizados robôs é importante referir que estes possuem limitações se a execução da tarefa requer um nível de leitura e raciocínio e, por isso, o tempo de processamento pode variar. Além disso, os trabalhadores podem ter diferentes habilidades quando as tarefas são executadas manualmente, por isso, é essencial considerar as variações do tempo devido a níveis de habilidade, tolerâncias e as situações de trabalho específicas (Samouei *et al.*, 2016).

A consideração de tempos de tarefas certos para cada trabalhador é uma suposição demasiado restritiva, porque os níveis de habilidade, fadiga física e mental (cansaço), condições emocionais, *stress* e os tempos de deslocamento dos trabalhadores podem afetar o tempo necessário para executar uma tarefa (Samouei *et al.*, 2016).

2.6.4. VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO BALANCEAMENTO

São desenvolvidas heurísticas e métricas para o balanceamento das linhas de montagem que avaliam o desempenho da linha e que melhoram a eficiência da produção. O número de estações de trabalho pode ser reduzido para um dado tempo de ciclo. Por outro lado, o tempo de ciclo pode ser reduzido considerando um certo número de estações de trabalho pré-definidas.

As linhas de produção com trabalhadores em paralelo, permitem até dois trabalhadores operar simultaneamente no produto e as linhas de montagem múltiplas permitem que P trabalhadores (com $P > 2$) executem tarefas em simultâneo na mesma peça de trabalho. Assim, com vários trabalhadores por estação pode reduzir-se o número de estações necessárias, possibilitando melhorias na utilização do espaço do chão de fábrica e, conseqüentemente, redução dos custos.

A simulação por computador é uma técnica que tem interesse para alguns investigadores, desde últimas décadas. Ao contrário de outras técnicas, a simulação através de um computador permite que se gira a natureza estocástica das variáveis do sistema (Sime *et al.*, 2019).

Permite uma previsão de desempenho dos sistemas tendo em consideração as variáveis do sistema. A técnica de simulação pode ter grande importância para o planeamento e programação da produção nas mais diversas indústrias. É um auxílio para as indústrias de modo a que consigam otimizar os seus recursos através de um balanceamento eficaz da linha de montagem (Sime *et al.*, 2019).

A simulação por computador é uma técnica que tem interesse para alguns investigadores pois permite que a natureza estocástica das variáveis do sistema seja gerida. É um auxílio para as indústrias pois conseguem otimizar os seus recursos através de um balanceamento eficaz.

Representa um papel essencial na avaliação do comportamento dos sistemas, existentes ou novos. No entanto, trata-se de um processo iterativo que não garante uma solução ótima, embora proporcione melhorias e ajustes significativos na eficiência dos sistemas (Sime *et al.*, 2019).

Quando são utilizadas peças padronizadas e substituíveis, as reparações e trocas são facilitadas. Isto também pode significar que cada item perde o brilho individual de artesanato exclusivo.

Uma das desvantagens da produção da linha de montagem é baseada no ponto de vista do trabalhador. Como geralmente é necessário pouco treino, os salários podem não ser muito competitivos.

Um sistema de montagem corretamente projetado permite maximizar a produtividade da linha e minimizar o risco ergonómico a que os trabalhadores estão expostos (Bortolini *et al.*, 2017).

Fatores como a repetibilidade de trabalho, a aplicação de forças, o manuseamento de cargas pesadas e posturas estáticas nas linhas de montagem expõem os trabalhadores ao risco de desenvolverem lesões músculo-esqueléticas (Moussavi *et al.*, 2019; Otto & Battaia, 2017).

Outros fatores de risco, tais como a frequência de ações, duração das tarefas repetitivas e a falta de tempo de recuperação podem agravar o impacto dos fatores de risco físicos (Moussavi *et al.*, 2019).

O envelhecimento da população ativa em vários países tem aumentado nos últimos anos e, por isso, a redução dos riscos físicos ergonómicos emergiu como um tema prioritário para os gestores de produção nas fábricas com linhas de montagem.

Por um lado, a legislação exige que as empresas avaliem regularmente os riscos ergonómicos e tomem ações para os reduzir (Bortolini *et al.*, 2017; Otto & Battaia, 2017). Por outro lado, as melhorias ergonómicas no local de trabalho no trabalho traduzem-se num maior desempenho para a empresa (Otto & Battaia, 2017).

É importante considerar aspetos de ergonomia desde a fase de planeamento, pois isso reduz de forma preventiva os riscos para a saúde dos trabalhadores (Otto & Battaia, 2017).

O trabalho em si também pode ser extremamente monótono, oferecendo pouco em termos de estímulo mental e pensamento criativo. O trabalho repetitivo e aborrecido, como é o tipo de trabalho realizado em linhas de montagem, expõe os trabalhadores ao risco de desenvolverem lesões músculo-esqueléticas e o seu balanceamento torna-se essencial para mitigar esses riscos.

Existem poucos algoritmos desenvolvidos neste âmbito de balanceamento de linhas de montagem, pelo que a sua adaptabilidade é limitada.

A montagem é uma atividade fundamental de produção e é empregada nas mais diversas indústrias, como a automobilística, eletrónica, etc., onde o objetivo é a produção de grandes quantidades dos mesmos produtos ou produtos com características semelhantes (Dolgui & Gafarov, 2017).

Assim, o balanceamento das linhas de produção torna-se fulcral para melhorar a produtividade e reduzir os custos associados. O principal objetivo do balanceamento de linhas de montagem é, portanto, distribuir as tarefas uniformemente pelas estações de trabalho de modo que o tempo de inatividade possa ser minimizado.

2.7. ESTUDO DOS TEMPOS E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

O Estudo dos Tempos permitirá dados mais seguros no que diz respeito ao tempo dos processos analisados e à definição de variáveis, como indicadores de produtividade e qualidade, percurso de trabalho, balanceamento de linha, entre outros.

Habitualmente, a produtividade é associada à competitividade. O aumento da produtividade é indispensável para um alto grau de competitividade.

A produção consiste na criação de bens e serviços (*outputs*) através de um conjunto de ações que adicionam valor, transformando os recursos utilizados (*inputs*) em *outputs*. Deste modo, o conceito de produtividade pode definir-se como uma relação entre os *outputs* e *inputs*. Esta relação deve ser maximizada, uma vez que pode produzir-se mais com os mesmos recursos ou utilizar menos recursos para produzir a mesma quantidade (Roldão & Ribeiro, 2014).

Numa ótica de aumento da produtividade, surge o Estudo do Trabalho. Para a melhoria dos processos produtivos e com o objetivo de tornar as organizações mais eficientes, é importante explorar ferramentas de Estudo do Trabalho porque estas buscam o aumento da sua competitividade no mercado e a obtenção de lucro pelo incremento da sua produtividade (Gaspar, 2017).

Segundo Gaspar (2017), a sua aplicação permite:

- a) Compreender a origem dos custos e possibilita a sua redução e controlo;
- b) Apoiar a gestão de topo na redução de custos supérfluos;
- c) Equilibrar células de trabalho e promover o desenvolvimento da agilidade dos processos produtivos;
- d) Melhorar as condições de trabalho;
- e) Motivar os trabalhadores.

O Estudo do Trabalho possibilita o desenvolvimento de uma combinação entre todas as variáveis incluídas num processo. Sintetizando, esta disciplina relaciona-se diretamente com a produtividade, pois pretende um aumento da produtividade sem que sejam necessários novos investimentos (Pinto, 2010).

O conhecimento dos tempos de laboração, quer por atividade quer por posto de trabalho, é imprescindível pois podem controlar-se os fatores que afetam o sistema. Com esse conhecimento poder-se-á (Roldão & Ribeiro, 2014):

- a) Avaliar o desempenho dos trabalhadores
- b) Planear as necessidades de força de trabalho
- c) Determinar a capacidade disponível
- d) Determinar o preço/custo de um produto
- e) Comparar métodos de trabalho
- f) Programar operações

Todo o trabalho exige, por parte do executante, o dispêndio de um certo esforço, sendo necessária a previsão de algum tempo para repouso e compensação de fadiga (Courtois *et al.*, 2011).

Deste modo, o conteúdo do trabalho deve ter em conta o trabalho físico, mas também o período de repouso ou inação necessário para que o operador possa restabelecer-se do esforço despendido e deverá ter em conta também outras necessidades especiais (Suzaki, 2010).

Para determinar os tempos padrão de atividade, deve considerar-se que o ritmo de trabalho é variável de trabalhador para trabalhador, pelo que a observação da concretização de determinada tarefa deve ter em conta o fator de atividade do seu executante (Courtois *et al.*, 2011).

Assim, o tempo normal de uma tarefa, operação ou atividade (Figura 2.3) é constituído por (Roldão & Ribeiro, 2014):

1. Tempo Observado: média dos tempos recolhidos na observação.
2. Fator de Atividade: fator de ajustamento considerando o grau de atividade do trabalhador observado.
3. Complemento de repouso: tempo adicional necessário ao restabelecimento esforço empregue, relacionado com os executantes, natureza do trabalho, meio ambiente.
4. Complementos auxiliares: intervalo de tempo estabelecido para atrasos, esperas inevitáveis, trabalhos imprevistos.

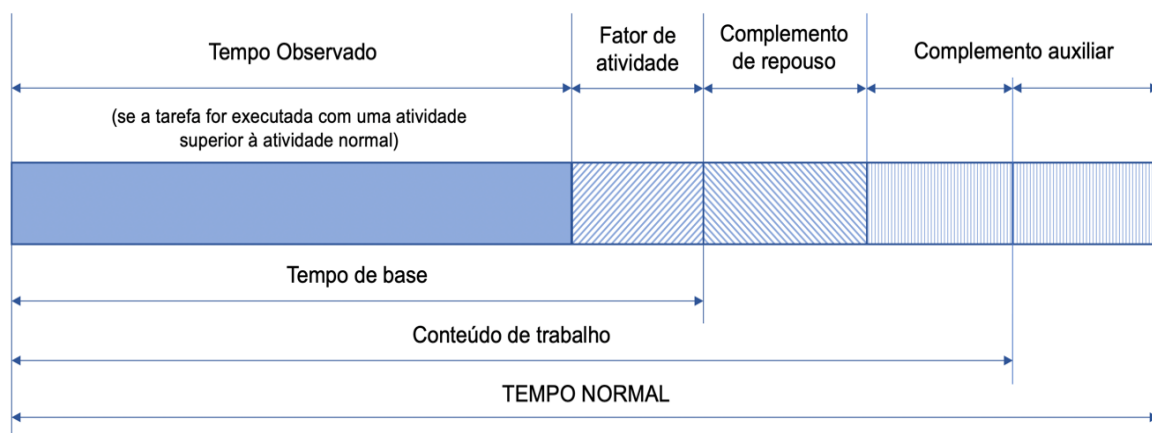


Figura 2.3 Composição do Tempo Normal de uma tarefa

(adaptado de Roldão & Ribeiro, 2014)

Sem definição de standards, o potencial de melhoria fica limitado. Depois de definidos, estes devem ser constantemente controlados e, se necessário, rapidamente revistos para refletir as ações de melhoria (Suzaki, 2010).

À medida que a procura do mercado se altera, também as operações na fábrica precisam de ser alteradas, atualizadas e melhoradas. Estas ações devem ser tomadas periodicamente pois, caso contrário, não ocorreu nenhuma melhoria real.

A Figura 2.4 representa o Ciclo da Melhoria que reflete a afirmação anterior. Este ciclo pode ocorrer da forma que se segue (Suzaki, 2010):

1. Estudo da operação atual e procedimentos do trabalho padrão;
2. Identificação das áreas problemáticas;
3. Resolução de problemas e desenvolvimento de métodos melhorados
4. Implementação dos novos métodos
5. Se os novos métodos se consideram adequados, definir novo trabalho padrão e continuar o ciclo a partir do ponto 2.

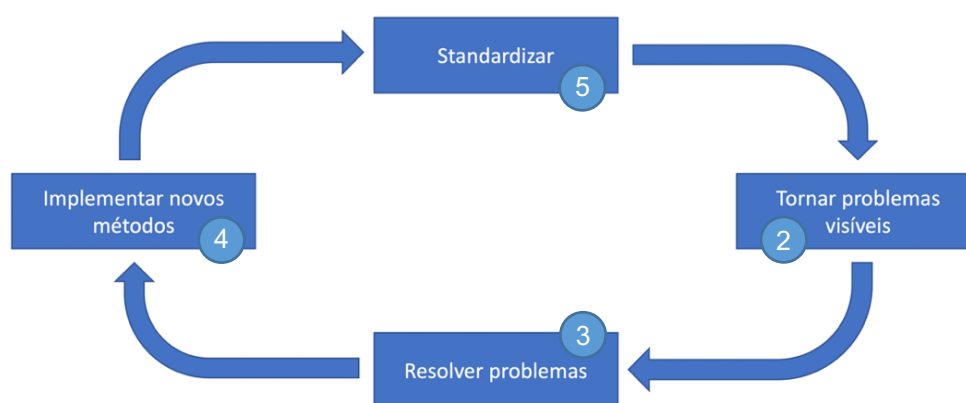


Figura 2.4 Ciclo de Melhoria

(adaptado de Suzaki, 2010)

Um dos aspetos fundamentais da gestão de operações é a avaliação de desempenho e a necessidade de tomar decisões baseadas em factos. Um elemento essencial na gestão de qualquer organização é o uso de indicadores de desempenho no processo de tomada de decisão (Varisco *et al.*, 2018).

Para que exista uma garantia de que a empresa caminha no sentido de concretização dos seus objetivos, a avaliação de desempenho é crítica para a gestão da empresa (Pinto, 2010).

As principais razões que tornam a avaliação de desempenho imprescindível são:

- a) Controlo e comparação dos resultados com metas estabelecidas e, em função dos desvios, tomar as ações adequadas.

- b) Medição dos resultados dos processos de trabalho
- c) Comparação da evolução dos indicadores de desempenho ao longo do tempo e incentivo da melhoria do desempenho.

Para definir as medidas ou métricas de desempenho é necessário identificar as fontes de dados/informação, qual o processo para a obtenção desses dados e como deve proceder-se ao seu tratamento (Ramis *et al.*, 2018).

Os dados são conseguidos através das rotinas de registo de dados, havendo a necessidade de implementação de procedimentos formais para a sua recolha. O tratamento dos dados deverá ser executado com o apoio de meios informáticos (Pinto, 2010).

Existe um elevado número de métricas de desempenho ou KPI (*key performance indicator*) aplicadas ao nível da gestão de operações (Pinto, 2010):

- PRODUTIVIDADE (P)

Este termo é, frequentemente, definido incorretamente sendo mal interpretado. Os termos produção e produtividade não são sinónimos. Produzir muito não significa boa produtividade.

A produtividade é o valor criado por unidade de trabalho, ou seja, quantifica a capacidade de um sistema transformar *inputs* (recursos) em *outputs* (produtos ou serviços) e pode ser expressa pela seguinte relação:

$$P(\%) = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Quanto maior for a conversão de *inputs* em *outputs*, maior será a produtividade de um sistema. Ou seja, quanto menor for o desperdício (todos os *inputs* que não acrescentam valor aos *outputs*) associado a um sistema, maior será a sua produtividade.

A aplicabilidade da equação acima indicada é complexa uma vez que a recolha de elementos que permitam o seu cálculo é difícil. Por esta razão, esta é comumente apresentada de uma forma simplificada, contendo apenas parte dos *inputs* e dos *outputs*.

- EFICIÊNCIA (E)

Muitas vezes confundida com a produtividade, a eficiência relaciona os resultados alcançados (*output*) com os resultados esperados (objetivos ou metas). A eficiência é, portanto, a capacidade de alcançar objetivos.

$$E(\%) = \frac{\text{resultados alcançados}}{\text{resultados esperados}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Embora não exista uma relação linear entre as duas, a produtividade aumenta com o aumento da eficiência.

A equação acima não demonstra a única forma de medir a eficiência. Esta pode ser medida através da seguinte equação:

$$E (\%) = \frac{\textit{tempo padrão}}{\textit{tempo atual}} \times 100\% \quad (2.3)$$

- **DISPONIBILIDADE (D)**

Mede a relação entre o tempo útil e o tempo disponível. Na Figura 2.5 são esclarecidas as diferenças entre estes tempos e o tempo total.

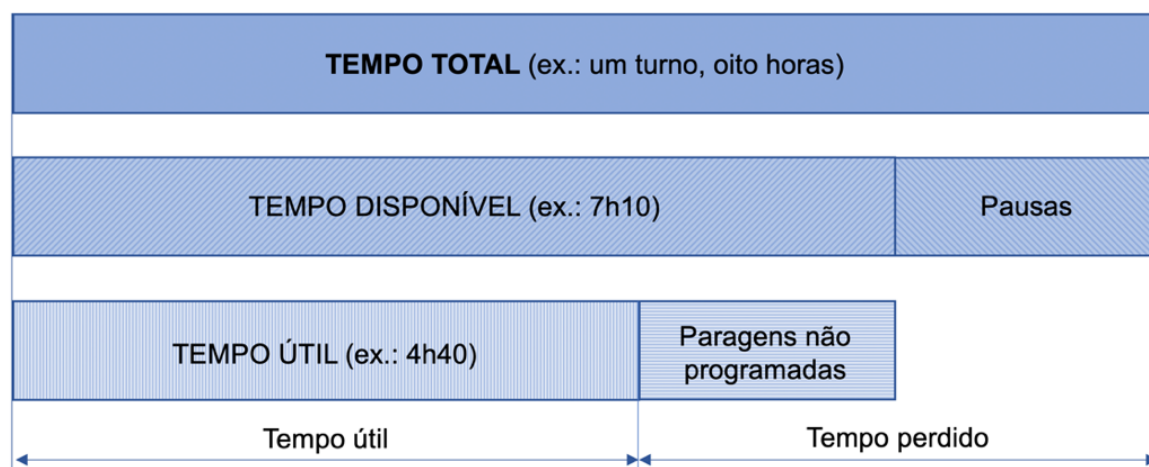


Figura 2.5 A relação entre os tempos envolvidos nas operações

(adaptado de Pinto, 2010)

As “pausas” referem-se aos tempos decorrentes de pausas ou intervalos estabelecidos (ex: refeições), mudanças de turno, mudanças de fabrico (*setup*) e paragens programadas (ex: manutenção e limpeza de equipamentos)

As “paragens não programadas” envolvem situações como avarias no equipamento, falhas na entrega de materiais, problemas de qualidade, perdas de velocidade de processos, etc.

Assim, a disponibilidade pode ser obtida a partir da seguinte relação:

$$D = \frac{\textit{Tempo Útil}}{\textit{Tempo Disponível}} \times 100\% \quad (2.4)$$

- **CAPACIDADE (C)**

A capacidade representa aquilo que um sistema consegue produzir ou assegurar. A simplicidade com que se consegue definir este conceito contrasta com a complexidade na definição das suas unidades de medida.

Independentemente do produto ou serviço, a medida da capacidade deverá ser escolhida por ser uma medida comum a todos os produtos/serviços. Essa medida será inequivocamente o “tempo”.

É a partir da seguinte equação que podemos obter a capacidade:

$$C = T \times E \times D \quad (2.5)$$

Onde: T – tempo disponível

Quando se calcula a capacidade para uma máquina, processo ou pessoa e esse recurso processa um *mix* de produtos ou serviços, a única unidade válida será o tempo.

- CARGA (L)

Em oposição à capacidade, a carga retrata aquilo que se exige ao sistema. Para que possam ser controladas e comparadas, a unidade da carga e da capacidade deverá ser a mesma.

A carga será obtida pela seguinte equação:

$$L = Qnt \times tp \text{ [tempo]} \quad (2.6)$$

Onde: Qnt – quantidade; tp – tempo padrão (tempo/unidade)

- OCUPAÇÃO (O)

Relaciona a carga com a capacidade através da equação seguinte:

$$O = \frac{L}{C} \times 100\% \quad (2.7)$$

A ocupação será sempre inferior a 100% uma vez que a carga não pode ser superior à capacidade do sistema. Caso aconteça, ocorre o estrangulamento do sistema. O desrespeito desta condição de estabilidade para o sistema ($C > L$) prejudica a empresa no planeamento e controlo de operações.

O valor ótimo de ocupação representa um desafio significativo uma vez que os baixos níveis de ocupação significam capacidade para a resposta a uma procura instável, no entanto, revela baixa produtividade devido à baixa utilização dos meios disponíveis. Deverá ser encontrado um equilíbrio entre produtividade (elevada ocupação) e serviço (baixa ocupação).

- TEMPO DE CICLO (TC)

Corresponde ao tempo entre peças sucessivas e é definido pela estação/operação mais demorada ou crítica. Esta estação designa-se gargalo ou estrangulamento. Será esta estação a ditar o ritmo da linha (ou processo), define o *output* desta, estabelece os *stocks* intermédios e determina a capacidade do processo (Figura 2.6).

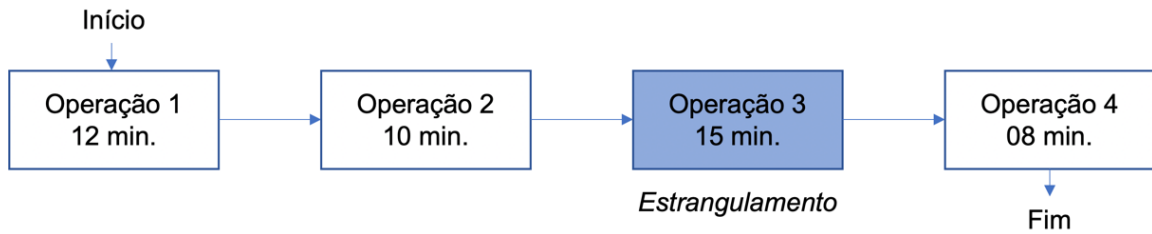


Figura 2.6 Exemplo de uma linha ou sequência de trabalho

(adaptado de Pinto, 2010)

Um minuto perdido na estação gargalo é um minuto perdido no processo (resultando numa instantânea redução de capacidade). A gestão do sistema deverá ser sempre realizada em função do elemento mais crítico.

- *TAKT TIME* (TT)

É um tempo de ciclo conforme a procura. Se a procura aumenta, o tempo de ciclo diminui e vice-versa. Para que não passe apenas de um conceito, as empresas necessitam de introduzir flexibilidade nos seus processos produtivos.

O *takt time* pode calcular-se através da seguinte equação:

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ disponível}{Procura} \quad (2.8)$$

3. ESTUDO DE CASO: MFTE, SA.

Neste capítulo é descrita a Mitsubishi Fuso Truck Europe, SA., a empresa onde foi concretizado o presente estudo. De seguida, são analisados vários pontos da linha e identificadas possíveis oportunidades de melhoria.

3.1. CARATERIZAÇÃO DA EMPRESA

A MFTE, SA. é uma empresa do setor automóvel focada na montagem de camiões comerciais do modelo Canter, com um peso bruto compreendido entre 3,5 e 8,5 toneladas. Situada em Tramagal (Abrantes), a MFTE, SA. é uma das unidades pertencentes ao grupo Daimler AG (Figura 3.1).



Figura 3.1 Instalações da MFTE, SA. em Tramagal
(MFTE, SA., 2020)

A Figura 3.2 ilustra a estrutura acionista em que a MFTE, SA. está integrada.

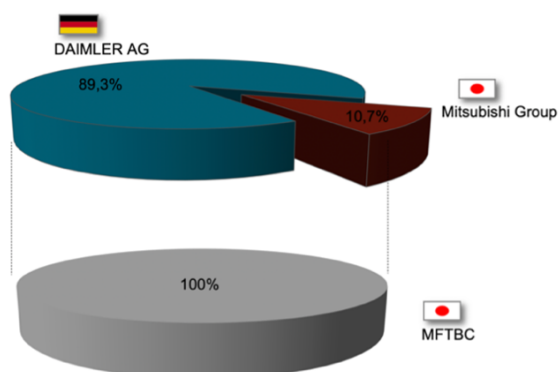


Figura 3.2 Estrutura acionista da MFTE, SA.
(MFTE, SA., 2020)

Atualmente, é uma empresa detida na totalidade pela Mitsubishi Fuso Trucks & Bus Corporation – MFTBC, localizada em Kawasaki, Japão. Por sua vez, a MFTBC é acionista do grupo Daimler AG, a qual detém 89,3% da organização, sendo os restantes 10,7% pertencentes à Mitsubishi Group.

3.1.1. HISTÓRIA

O percurso da MFTE, SA. tem vindo a sofrer transformações importantes ao longo dos anos. Estas alterações não são apenas relativas ao mercado e aos modelos produzidos, mas também respeitantes aos acionistas e à designação da organização.

Esta unidade industrial vê a sua história iniciada no ano de 1964, quando a empresa denominada Metalúrgica Duarte Ferreira, MDF, concretiza um acordo com empresa francesa Berliet para a produção de camiões militares. Durante alguns anos, foram produzidos unicamente veículos para uso militar em Portugal e nas colónias (MFTE, SA.,2020).

Ao longo do tempo, a organização experienciou diversas mudanças, tendo, em 1980, alterado o tipo de veículos produzidos e ocorrendo, nesse ano, o lançamento do primeiro camião ligeiro Mitsubishi. Consequentemente, em 1985, é criada a Indústria de Automóveis e Montagem (IAM), continuando como acionista principal a MDF. Em simultâneo e com a intenção de produzir diversos modelos comerciais para o mercado português, é celebrado um contrato com a Mitsubishi Motors Portugal, MMP (MFTE, SA., 2018).

Em 1990, dá-se uma das alterações mais determinantes na empresa. A MMP compra a totalidade da organização que, com a entrada de capital japonês, passa a designar-se Tramagauto. Esta continua a produção de variados modelos da marca Mitsubishi, concretamente Canter, Fuso, L200, L300, Pajero, etc., tendo produzido cerca de 67.000 veículos exclusivamente para o mercado português, entre 1980 e 1996. Depois do ano de 1996, a empresa decide dedicar-se à produção de um único modelo, o Canter, reduzindo a variedade de modelos, alargando o mercado de destino para toda Europa e surgindo a Mitsubishi Truck Europe – MTE (MFTE, SA., 2018; MFTE, SA., 2020).

A organização pertenceu à Mitsubishi Motors Corporation até 2002 que, ulteriormente, cedeu a sua participação à MFTBC, em 2003; sendo alterada a designação social para Mitsubishi Fuso Truck Europe, S.A. em 2004 (MFTE, SA., 2018).

Em 2006, a Mitsubishi Fuso passa a integrar o então recém-formado Grupo de Camiões da DaimlerChrysler, que inclui ainda a Freightliner LLC na zona NAFTA e a Mercedes-Benz Trucks na Europa e na América Latina (MFTE, SA., 2018).

Por fim, em 2007, a Mitsubishi Fuso passa a pertencer à Daimler AG, que passou a ter esta designação social depois de vender a sua participação no capital social da Chrysler. A MFTBC faz parte integrante da Divisão Daimler Trucks da Daimler AG.

Em julho de 2017 deu-se, na MFTE, SA., o lançamento do primeiro camião completamente elétrico do mundo produzido em série, o eCanter. Surgiu como resposta aos pedidos do público por um

camião para utilização dentro de cidades, com zero ruído e zero emissões. Estes veículos estiveram em teste em vários países, incluindo Portugal. Possuem um motor elétrico com a potência de 150 kW e uma autonomia de mais de 100 quilómetros (MFTE, SA., 2018).

Além da produção de veículos para todos os países da Europa, a MFTE, SA. produz viaturas para os mercados da Turquia, Marrocos e Irão. Na Figura 3.3 estão sintetizados os principais marcos históricos na empresa.

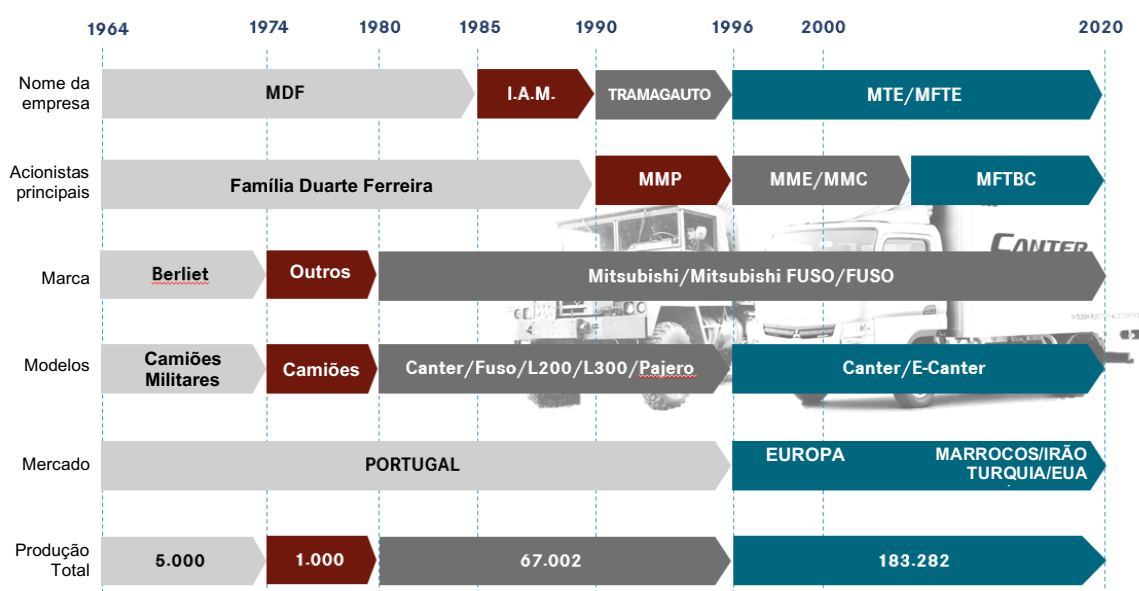


Figura 3.3 Marcos Históricos da empresa

(MFTE, SA., 2020)

3.1.2. MISSÃO, VISÃO E VALORES

A competitividade, a flexibilidade e a responsabilidade social fazem parte da missão da empresa. Procuram ser competitivos produzindo com eficácia e eficiência ao longo da cadeia de valor, detetando e eliminando desperdício de forma contínua e contribuindo ativamente para o sucesso do Grupo. A flexibilidade na personalização dos produtos, excedendo as expectativas dos clientes devido à capacidade de adaptação a diferentes ciclos de produção. A responsabilidade social pela atuação em harmonia com as comunidades locais e o incentivo a iniciativas sociais, pela formação, educação e desenvolvimento dos colaboradores, bem como pela propriedade de produtos e processos seguros e “amigos” do ambiente (MFTE, SA., 2018).

O reconhecimento como entidade fundamental na estratégia de produção do Grupo *Daimler AG* é a ambição da MFTE, SA. (MFTE, SA., 2018).

O Grupo *Daimler AG* acredita que existem quatro valores fundamentais que servem de inspiração para pessoas com alto desempenho, o que leva à excelência operacional e, conseqüentemente, ao crescimento da empresa. Na Figura 3.4, estão os quatro valores da organização: a integridade, a paixão, a disciplina e o respeito.



Figura 3.4 Valores da Organização

(MFTE, SA., 2020)

3.1.3. ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

Na Figura 3.5, apresenta-se a estrutura organizacional da MFTE, SA., a qual é composta por diversos ramos distintos. O organigrama constitui um método simples e imediato de visualização das diversas divisões e ligações dentro da empresa. Para melhor visualização, o organigrama encontra-se no Anexo I da presente dissertação.

Qualidade, Engenharia, Contabilidade, Produção, Compras, Recursos Humanos, entre outras, são áreas que atuam em conjunto para alcançar o sucesso e bom funcionamento da empresa, sendo importante mencionar que juntas formam um todo, apesar da heterogeneidade de todas as áreas (MFTE, SA., 2018).

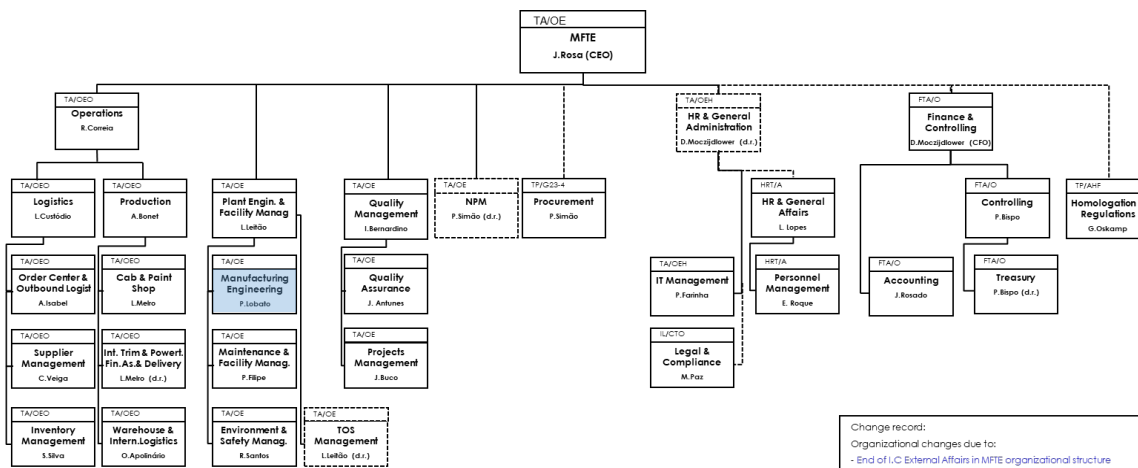


Figura 3.5 Organigrama da empresa

(MFTE, SA., 2019)

O estudo foi realizado na *Manufacturing Engineering (ME)*, que pertence à *Plant Engineering & Facility Management (PEFM)*. A PEFM encarrega-se do planeamento, organização e controlo de projetos, construções, operações, manutenções e também da disposição da fábrica e dos

equipamentos. Administra as atividades de Engenharia de Produção, Manutenção, Saúde e Segurança.

A ME é um dos três departamentos que fazem parte da PEFM sendo responsável pela concepção, melhoria e implementação de sistemas que envolvem materiais, pessoas, equipamentos e ferramentas de forma a tornar os processos envolventes mais eficientes, eficazes e económicos.

3.1.4. PROCESSO PRODUTIVO

A MFTE, SA. proporciona ao cliente uma grande diversidade de modelos que lhe conferem a possibilidade de responder às suas necessidades. Estes múltiplos modelos produzidos na empresa estendem-se desde modelos com diferentes dimensões de cabine (simplex ou dupla) até à capacidade de carga dos veículos (entre 3,5 e 8,5 toneladas), visíveis na Figura 3.6. A empresa produz também outros modelos como o 4x4 e o modelo elétrico, eCanter, mais recentemente (Figura 3.7).



Figura 3.6 Modelos produzidos na MFTE, SA.

(MFTE, SA., 2020)



Figura 3.7 eCanter

(MFTE, SA., 2020)

De modo a entender o fluxo do processo produtivo dos modelos produzidos na MFTE, SA., é feita uma descrição sucinta do mesmo.

A produção começa com as operações que envolvem a cabine. Inicia-se na linha da soldadura, onde as cabines são montadas, seguem para um processo de pré-tratamento de chapa para preparar a cabine para o processo de pintura por eletrodeposição. Depois de pintada, a cabine passa para a linha do revestimento onde é colocado o seu interior.

Em simultâneo com a produção das cabines, são produzidos os eixos e os *chassis* em linhas paralelas. A montagem do *chassis* inicia-se na linha de rebitagem, o qual é posteriormente pintado e encaminhado para a linha final. Os eixos, traseiro e dianteiro, contêm componentes que têm de passar por processos de lavagem e desengorduramento antes da sua montagem. À lavagem dos eixos sucede-se a sua montagem e posterior pintura.

Depois de concluídos os processos relativos aos eixos e ao *chassis* é realizado o seu transporte até à Linha Final, local onde é feita a sua união. Todos os componentes do *chassis* são montados nesta linha, tais como baterias, radiadores, cablagens, motores, suspensões, tubos de travão, etc. Já com todos os componentes montados no *chassis*, é feita a união da cabine com o *chassis*, denominada por *Wedding* (Casamento). De seguida são montados os restantes componentes, de relevar o depósito de combustível, as rodas, os faróis, para-choques, entre outros.

O fim da Linha Final é coincidente com o primeiro posto de controlo da Qualidade (1º OK), onde são efetuadas algumas inspeções visuais e afinações. Depois, com o veículo totalmente montado, transita para o EoL (*End of Line*), onde se efetuam as últimas verificações aos itens mais relevantes e onde são realizados testes de tacógrafo, velocímetro, travões, alinhamentos de direção, etc. Com todos os procedimentos referentes à qualidade do produto concluídos, o veículo recebe um 2º OK e é transportado para a zona de estacionamento onde permanecerá até à altura da sua expedição.

O *layout* genérico da fábrica com as principais zonas relativas ao fluxo de produção é apresentado no Anexo II.

3.1.5. TRUCK OPERATING SYSTEM

Tal como uma fábrica do grupo Toyota possui um sistema de gestão integrado TPS, na Daimler Trucks existe o *Truck Operating System* (TOS). Estando a MFTE, SA. incluída na Daimler Trucks, os parâmetros e padrões definidos são também aplicados nesta empresa (MFTE, SA., 2018).

O TOS é regido por cinco pontos principais:

1. Infraestrutura Humana

Define os princípios das funções, a estrutura organizacional e os princípios de liderança. Enfatiza o envolvimento de todos funcionários na concretização dos objetivos da empresa.

Permite que os colaboradores se tornem um fator crítico de produção, sendo essenciais para a implementação efetiva da produção. As competências, os esforços e a criatividade dos

colaboradores são apoiados por processos e medidas, existindo uma interligação entre os aspetos técnicos e humanos de fabrico.

2. Padronização

A padronização é uma prática fundamental que determina a forma como um processo é realizado.

O objetivo da padronização de ferramentas, procedimentos, layouts, métodos, entre outros permite que exista uma uniformização em todas as unidades do Grupo e, conseqüentemente, a possibilidade na fácil troca de conhecimentos.

Os colaboradores participam no desenvolvimento e mudança de normas, trabalhando com peritos para normalizar e otimizar os seus processos. Qualquer desvio em relação a uma norma é visualmente aparente, ainda que a padronização não restrinja flexibilidade.

3. Qualidade

Os clientes exigem produtos e serviços perfeitos. Isto requer um esforço de todos os empregados para alcançar produtos e desempenhos com zero defeitos.

A capacidade de oferecer ao consumidor e/ou cliente aquilo que ele procura num produto através de processos robustos para, deste modo, alcançar uma produção estável e com resultados previsíveis e estáveis.

4. *Just-In-Time*

É a base fundamental do TOS no sistema de produção desde a encomenda até à entrega do veículo ao cliente final.

Consiste em fornecer o que o cliente quer, na quantidade que quer e quando o quer, utilizando somente os recursos necessários.

Sustenta os objetivos de o sistema para fornecer o produto da mais alta qualidade ao menor custo com o menor prazo de entrega através da eliminação de resíduos. Simultaneamente, oferece a flexibilidade e capacidade necessárias de desenvolvimento para se adaptar a mudanças a curto e longo prazo.

5. Melhoria Contínua

Revela-se uma abordagem fundamental para que a empresa permaneça competitiva, opera a todos os níveis e deve ser integrada pela direção na cultura empresarial.

É o processo de procura incessante de melhorias nos padrões atuais através da análise regular e do desenvolvimento de soluções criativas com o objetivo de fortalecer o modelo de operação.

Requer o envolvimento ativo e o apoio de todos os funcionários e tem como objetivo reconhecer e reduzir atividades sem valor acrescentado, reduzir o lead time, eliminar o

desperdício e melhorar o ambiente de trabalho dos colaboradores. Não pretende criar um ambiente de trabalho rigoroso e inflexível. O intuito é a promoção de método de trabalho mais inteligente e menos cansativo.

Recentemente, no contexto de Melhoria Contínua surgiu o TOS+, adicionando ao TOS novas técnicas e metas.

O TOS+ surgiu com o acréscimo do conhecimento do sistema de produção da Mercedes-Benz Cars e o seu objetivo consiste no aumento da eficiência dos recursos disponíveis, com a melhoria do processo associado à montagem. Foca-se, não só, na linha de montagem com a definição de novos princípios e metas, como também no sistema logístico com abordagem similar (MFTE, SA., 2018)

A eliminação de desperdício é o objetivo primordial do TOS+ pelo que o foco é direcionado para operações classificadas como *manufacture variable*.

Com o TOS+ são também identificadas zonas adequadas para manuseamento de componentes ou de trabalho, sendo apresentados valores de referência para o manuseamento de cargas e as forças aplicadas.

3.2. IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE MELHORIA

Neste subcapítulo foram identificadas as oportunidades de melhoria recorrendo, essencialmente, a observação direta, *brainstorming*, *gemba walk*, conversas informais com as chefias e análise das folhas de operação.

3.2.1. LINHA FINAL

Na MFTE, SA. existem cerca de uma centena de modelos diferentes que podem ser produzidos. De acordo com as variantes escolhidas, os tempos de operação serão diferentes pois terão operações distintas entre si. Isso torna todo o processo de balanceamento bastante complexo. Esta customização acentua-se na Linha Final pois é onde são incorporadas grande parte das opções escolhidas pelo cliente.

O plano de produção define a ordem pela qual são produzidos os modelos. Este é decidido segundo algumas restrições que são determinadas pela ME uma vez que é esta área que efetua o balanceamento da linha de produção e determina a capacidade instalada. Estes estrangimentos deverão ser respeitados – tanto quanto possível, para não comprometer o cliente - aquando da elaboração do plano.

Quando existe uma alteração do *takt time*, é emitido um documento pela ME onde são referidos os estrangimentos que deverão ser considerados aquando da elaboração do plano de produção devido à impossibilidade de alcançar tempos idênticos entre postos e entre modelos. Este documento encontra-se no Anexo III e corresponde a uma produção de 30 veículos/dia. Assim, esse plano deverá ter em conta essas mesmas restrições, procurando dar resposta a todas elas

e, em caso de impossibilidade de cumprimento, deverá ser dada prioridade à restrição considerada como mais crítica.








Um posto de trabalho poderá ter cargas diferentes consoante o modelo que está a ser produzido e sequência definida é determinante para os tempos de folga e para os tempos em que o operador está sobrecarregado. No entanto, o balanceamento adequado é essencial e a oportunidade de efetuar alterações a curto prazo é decisiva para a eficiência da linha.

O elevado número de modelos diferentes a analisar torna a investigação árdua e morosa. O aspeto considerado mais relevante e que torna o processo de balanceamento menos eficiente é a inexistência de um diagrama de precedências pois exige um conhecimento muito aprofundado das operações de montagem do veículo e as tarefas precedentes e sucessoras. Quando estas precedências estão apenas na mente de quem efetua o balanceamento, podem surgir erros e desequilíbrios que poderão implicar uma revisão e, portanto, um maior tempo despendido no processo de balanceamento.

De modo a determinar a linha de montagem para a qual a primeira abordagem se deveria direccionar, foi realizado um gráfico conceptual com todas as linhas da fábrica. Na Tabela 3.1, é demonstrada a variabilidade existente entre o tempo despendido nos veículos produzidos e, no mesmo modelo, a variabilidade que existe entre os postos de trabalho.

Assim, as horas despendidas na montagem de uma unidade dos diferentes modelos são variáveis e, para o mesmo modelo, o tempo necessário para realização de operações é também distinto para os diferentes postos de trabalho.

Tabela 3.1 Variabilidade nos diferentes modelos e entre postos de trabalho

	HPU	Entre postos de trabalho (mesmo modelo)
<i>Welding</i>		-
<i>Painting</i>		-
<i>Trimming</i>		-
<i>Frame</i>		+
<i>Axle</i>		+
<i>B-Line</i>		++
<i>Final Line</i>		+++

Sendo os modelos semelhantes, existem muitas tarefas comuns pelo que o diagrama de precedências será similar entre os modelos, distinguindo-se nos aspetos que são diferentes.

Outro fator poderá constituir um constrangimento na Linha Final é o facto de existirem tarefas que devem ser realizadas por dois operadores em simultâneo.

A existência de equipamentos fixos e robustos restringe a alocação de determinadas tarefas, ficando estas fixas a determinado posto o que contraria o conceito de flexibilidade pretendido para a linha.

A análise das tarefas da Linha Final pretendeu avaliar o balanceamento desta linha de modo a conseguir compreender as diferentes tarefas inerentes à montagem do veículo, bem como analisar aspetos que poderiam reduzir a sua variabilidade. Foi escolhida esta Linha para a análise inicial pois era onde existiam mais variantes de acordo com as características do modelo produzido.

Esta fase do estudo incidiu sobre a Linha Final que possui tempos de operação e tarefas diferentes consoante o modelo que está a ser produzido. Foram analisadas todas as tarefas e definidas restrições importantes a identificar para melhoria do processo.

Todas as tarefas foram agrupadas numa única folha, apresentando-se um excerto no Apêndice I devido à sua extensão, para uma visão global para que pudessem ser realizados os cálculos necessários à análise de forma imediata.

No momento do estudo, foi efetuada uma análise ao plano de produção dos meses de março e abril de 2020 de modo a compreender quais os modelos produzidos em maior quantidade e aos quais se deve dar especial atenção quando é realizado o balanceamento. Realizou-se uma análise que pretendeu demonstrar essa análise de acordo com a quantidade produzida de cada modelo (Figura 3.8).

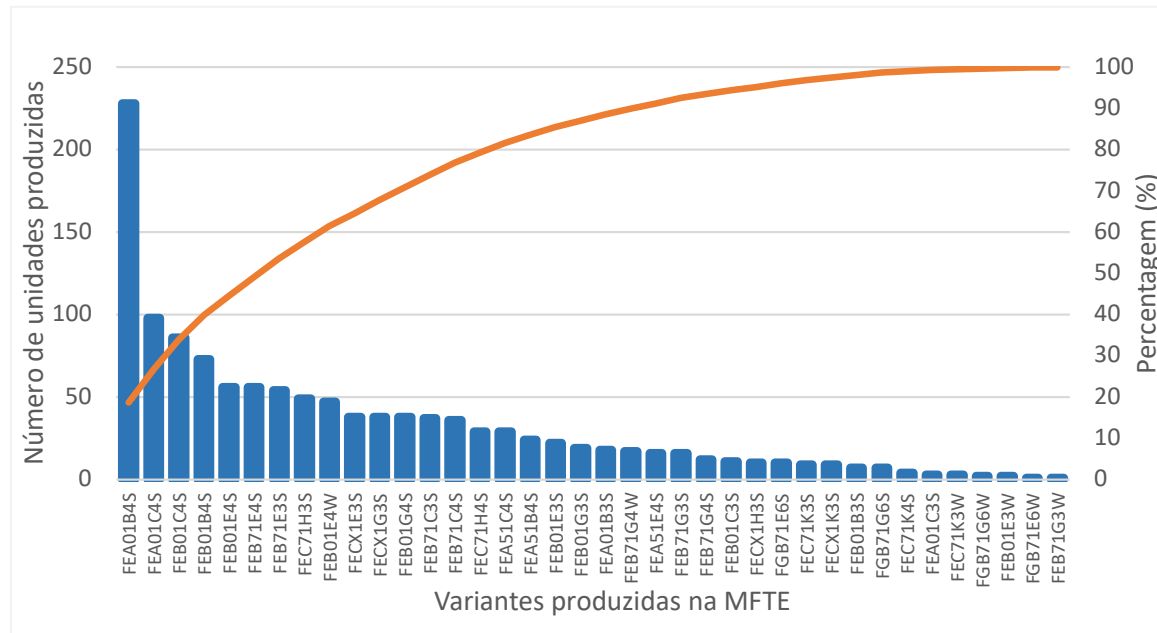


Figura 3.8 Número de unidades produzidas de cada variante em março e abril de 2020

Depois de verificar quais os modelos produzidos em maior quantidade, são exemplificados, na Figura 3.9, dois modelos que se encontram neste grupo e pretendeu demonstrar-se a variabilidade entre os postos de trabalho já referida.

Como pode corroborar-se pela análise do gráfico, existem discrepâncias entre os postos de trabalho e dentro do mesmo posto os tempos são diferentes consoante o modelo que está a ser produzido.

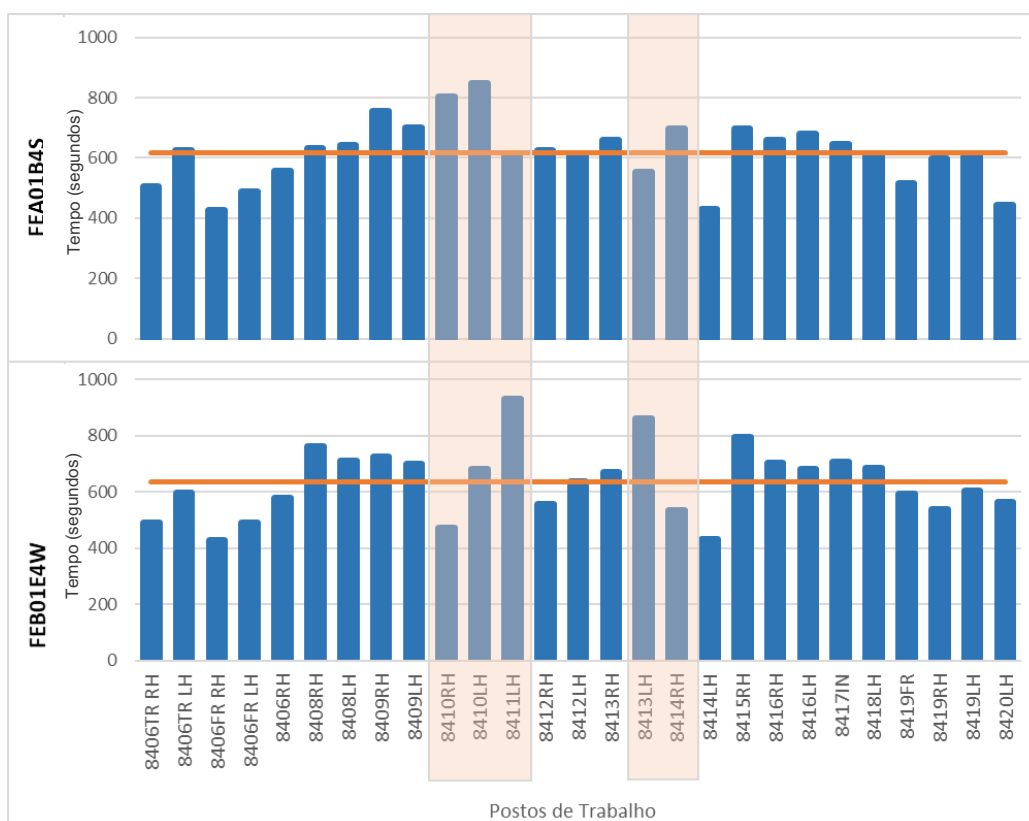


Figura 3.9 Diferenças observadas entre dois modelos no mesmo posto de trabalho

Seguiu-se a construção de gráficos de barras com os tempos atribuídos à estação consoante o modelo. O que se pretendia era que a carga da estação fosse semelhante qualquer que fosse o modelo. Os postos que deveriam ser alvo intervenção com maior urgência eram aqueles em que se verificava um desequilíbrio evidente entre modelos.

Podia analisar-se posto a posto e identificar, consoante o modelo, qual o posto que poderia receber operações e qual devia dispensá-las, para que pudesse existir um equilíbrio para os operadores e para que não fosse necessário adicionar restrições relativas à ordem pela qual os modelos devessem ser produzidos.

Estes gráficos, ilustrados na Figura 3.10 e na Figura 3.11 (Apêndice II), foram divididos de acordo com o lado onde se realizavam as operações, pois caso se verificasse uma nova distribuição de tarefas, esta alteração deveria ocorrer em postos que pertencessem ao mesmo lado da linha. Pretendem demonstrar o estado inicial do balanceamento da Linha Final consoante o lado da linha onde são realizadas operações.

Para a realização desta análise foram desprezados os postos iniciais da linha pois eram postos em que as atividades eram sempre idênticas entre modelos, não existindo variabilidade e não revelando um interesse significativo para o estudo.

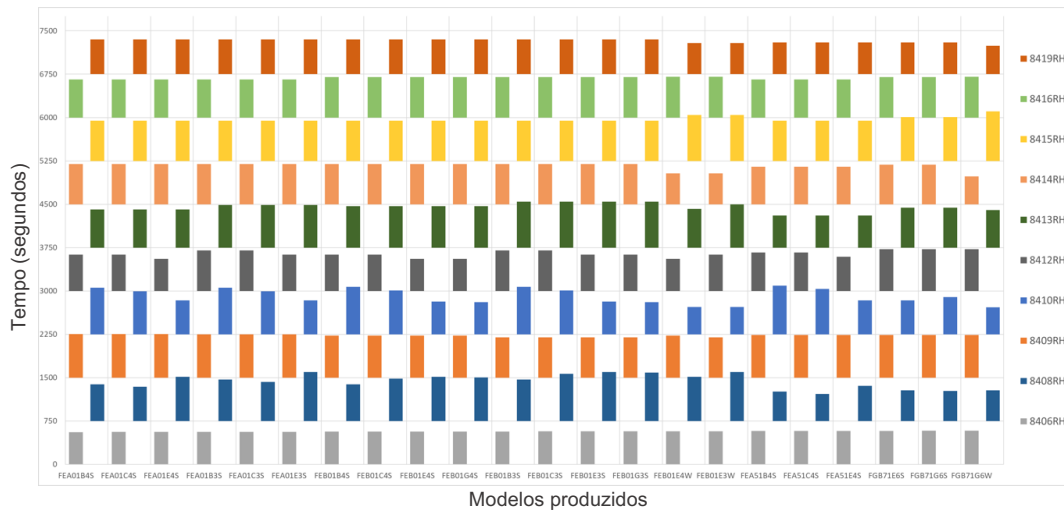


Figura 3.10 Representação da situação inicial da linha do lado direito (RH)

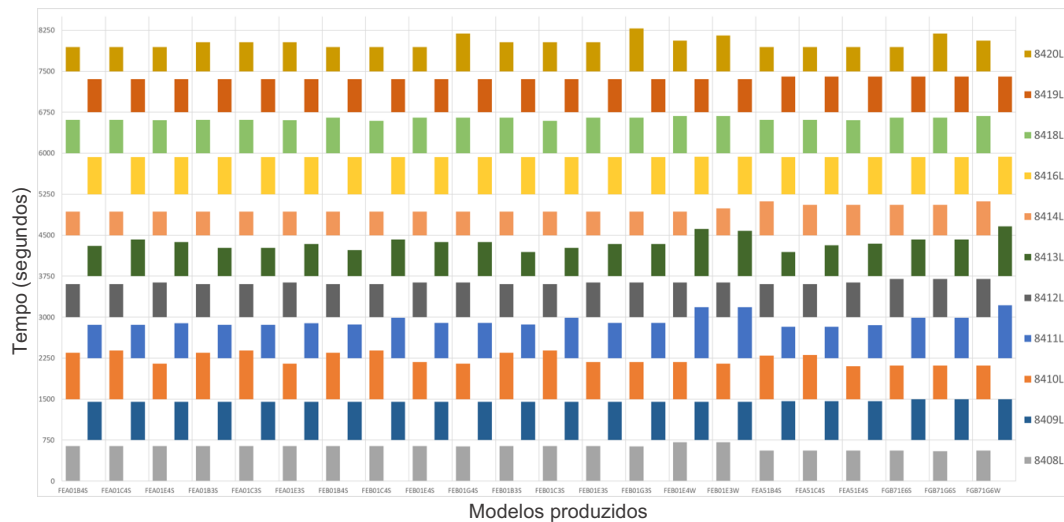


Figura 3.11 Representação da situação inicial da linha do lado esquerdo (LH)

a. NÚMERO DE OPERADORES NECESSÁRIOS

Foi calculado o número de operadores necessários à produção de cada modelo obtendo-se o número de operadores necessários na Linha Final considerando o tempo *target*, 675 segundos (folga de 10% para descanso). O número de operadores na linha era de 27 e, depois dos cálculos e considerando a folga de 10%, esse número variou entre 25 e 28, sendo que este último surgiu em situações pontuais porque se referia à opção Dual AC (com montagem irregular) e já existia uma pessoa para auxiliar o operador do posto.

Para o modelo FEA01B4S, cujo tempo total de operações necessárias ao modelo era de 16634,5 segundos, demonstra-se o cálculo do número de operadores necessários.

$$N^{\circ} \text{ Operadores } (x) = \frac{\text{Tempo de Operação do modelo } x}{\text{Tempo target}} \tag{3.1}$$

$$N^{\circ} \text{ Operadores } (FEA01B4S; 675) = \frac{16634,5}{675} = 25 \text{ operadores} \tag{3.2}$$

Este cálculo foi reproduzido para todos os modelos existentes de modo a compreender qual seria o número aceitável de operadores na linha para realizar as tarefas. Por um lado, não poderia ser o número máximo retirado dos cálculos, pois a quantidade produzida era variável, podendo existir tempos de folga excessivos e injustificados. Por outro lado, a escolha do número mínimo poderia acarretar sobrecargas para os operadores. Considerou-se o número de operadores atribuído à linha final adequado para o *takt time* de 750 segundos e de acordo com os modelos produzidos.

b. EFICIÊNCIA DA LINHA FINAL POR MODELO

De acordo com os 27 operadores atribuídos à linha, calculou-se a ocupação da linha final para o *takt time* e o tempo *target*, para cada modelo produzido.

$$Eficiência da Linha (\%) = \frac{Tempo de Operação do modelo x}{N^{\circ} atual de Operadores \times Tempo Target} \times 100 \quad (3.3)$$

$$Eficiência da Linha (\% ; FEA01B4S; 675) = \frac{16634,5}{27 \times 675} \times 100 = 91,3\% \quad (3.4)$$

Os 675 segundos já consideravam uma folga de 10% para recuperação. Assim, pretendia-se que a ocupação passasse de 91,3% para próximo dos 100%. Ainda assim, o nível de ocupação não foi considerado desadequado para o modelo FEA01B4S. O problema residiu nas discrepâncias de ocupação existentes entre os diferentes modelos.

c. ANÁLISE DAS OPERAÇÕES E POSTOS DE TRABALHO

As operações foram analisadas e, consoante os tempos atribuídos e o facto de serem associados a todos os modelos ou não, identificaram-se as que se realizavam em todos os modelos, apenas em alguns, as que possuíam tempos diferentes de acordo com o modelo e as que representavam tarefas realizadas apenas para elementos opcionais. Na Tabela 3.2 encontra-se a designação atribuída e a respetiva descrição.

Tabela 3.2 Classificação das tarefas analisadas

Identificação	Descrição
ALL	Tarefas realizadas em todos os veículos com tempos de operação iguais para todos os modelos.
~ALL	Tarefas realizadas em alguns veículos e com tempos de operação iguais para todos os modelos.
ALLDIF	Tarefas realizadas em todos os veículos com tempos de operação diferentes entre modelos.
~ALLDIF	Tarefas realizadas em alguns veículos e com tempos de operação diferentes entre modelos.
OPT	Tarefas realizadas quando o veículo possui essa opção, como no caso do Dual AC ou da caixa automática.

Depois de todas as tarefas identificadas, calculou-se a sua percentagem no tempo global de operações de cada modelo. Concluiu-se que, em termos médios, cerca de 72% do tempo de operação corresponde a tarefas comuns a todos os veículos e com a mesma duração consoante o modelo (ALL). Ou seja, cerca de 72% das tarefas realizadas são atividades cíclicas, pelo que se repetem a cada ciclo de trabalho. Exemplifica-se o cálculo de tarefas ALL para o modelo FEA01B4S.

$$\%ALL(x) = \frac{\text{Tempo realização das tarefas "ALL" no modelo } x}{\text{Tempo de Operação do modelo } x} \times 100 \quad (3.5)$$

$$\%ALL(FEA01B4S) = \frac{12152,5}{16634,5} = 73,1\% \quad (3.6)$$

Não existe um diagrama de precedências para os modelos, no entanto cada tarefa tem associados os postos onde pode ser realizada. Os postos onde poderão ser realizadas as tarefas foram atribuídos e estão identificados, existindo tarefas que podem ser realizadas em todos os postos ou tarefas que têm de ser atribuídas a postos de trabalho específicos. As tarefas que têm de ser realizadas em postos de trabalho fixos, na sua maioria, são tarefas que necessitam de um equipamento fixo para a sua execução.

Depois, foi contabilizado o número de tarefas que podem ser realizadas em cada posto e o número de postos de trabalho em que cada tarefa pode ser desempenhada, introduzindo o conceito de mobilidade de operações. Com este cálculo podem identificar-se as operações que devem ser atribuídas a um posto específico e as operações que possuem mobilidade. Uma restrição a esta forma de associação de tarefas aos postos de trabalho é a ausência de uma ordem clara para realização das tarefas, não sabendo se a atribuição de uma tarefa condicionará, ou não a atribuição de outra.

Realizou-se uma análise individual dos postos de trabalho conforme o plano de produção para os meses de março e abril de 2020. O objetivo passou por identificar, em 1335 veículos produzidos, o(s) posto(s) de trabalho que necessitariam de uma intervenção mais urgente.

Através dos valores obtidos na tabela no Apêndice III são notórias as discrepâncias existentes na linha de montagem. Durante os meses analisados existem postos em que as tarefas a realizar excedem o *takt time* grande parte das vezes. Por outro lado, existem postos que estão a maioria do seu tempo de operação abaixo dos 615 segundos, ou seja, cerca de 60 segundos abaixo do tempo *target*.

Com o plano de produção que foi fixado para o mês de março foi calculada a disponibilidade associada a cada posto de trabalho de acordo com a equação seguinte.

$$\text{Disponibilidade do posto de trabalho (\%)} = \frac{\text{Tempo Produtivo}}{\text{Tempo Disponível}} \times 100 \quad (3.7)$$

$$\text{Disponibilidade do posto de trabalho (\%; 8406RH)} = \frac{20334}{27780} \times 100 = 73\% \quad (3.8)$$

Para o posto 8406RH é calculada a disponibilidade média com base nos tempos da Tabela A.2 que se encontra no Apêndice III. O tempo produtivo corresponde ao tempo despendido na realização de tarefas durante o mês de março e o tempo disponível será o tempo total para a realização de tarefas nesse mês.

Existe um desequilíbrio evidente nos postos de trabalho. O posto 8410LH possui uma disponibilidade superior a 100%, o que indica que o operador está a realizar tarefas num tempo superior ao tempo disponível para a sua execução. Por outro lado, existem postos de trabalho que possuem um valor inferior a 70%, o que revela uma folga considerável para o operador.

A elevada variabilidade de modelos e os tempos de operação diferentes entre eles, torna o processo de balanceamento das linhas árduo. Cada vez mais, as mudanças têm um período mais curto para serem executadas, o que se traduz em maior possibilidade de ocorrerem erros e na impossibilidade de um estudo aprofundado dos possíveis pontos de criticidade antes da sua implementação.

Com a alteração do tempo de ciclo do sistema para 926 segundos (15,4 minutos), o número de tarefas por posto é necessariamente superior, o que torna a variabilidade, entre postos e consoante os modelos a produzir, mais acentuada devido ao aumento do número de tarefas por posto de trabalho.

Na semana seguinte à mudança para uma produção de 30 veículos/dia, verificaram-se reclamações por parte dos operadores devido à falta de tempo para a conclusão das tarefas atribuídas.

Avaliar a carga real da estação de trabalho de acordo com o plano de produção fixado tornou-se determinante. O objetivo consistiu na visualização de qual o tempo real que os operadores estavam a realizar tarefas e se os constrangimentos definidos eram cumpridos.

A Linha Final constituía, portanto, um fator crítico para o desempenho da organização, pelo que o desenvolvimento de ações que mitigassem a variabilidade existente e auxiliassem na definição de operações era essencial. Desta forma, revelou-se uma oportunidade de melhoria importante organização.

3.2.2. *END OF LINE*

O EoL (*End of Line*) é o local onde é realizada a inspeção final da Qualidade nas *Canter* quando estas já se encontram finalizadas.

Esta linha possuía 6 postos de trabalho (Figura 3.12), um operador por estação, no entanto o operador acompanhava os veículos desde o posto 1 até ao posto 5.

Para um *takt time* de 12,5 minutos existiam 6 operadores a executar tarefas e, de acordo com os registos nas Folhas de Trabalho Padrão (FTP), o tempo total necessário para a realização de verificações era de 44,1 minutos. Segundo o tempo disponível, na situação inicial e teoricamente,

existe uma folga associada a esta linha de 41,2%, a qual foi calculada tendo em conta o tempo ocupado e o tempo disponível para realização de tarefas.

A fossa (num dos postos) possuía um tempo de operações de cerca de 6 minutos (357 segundos) e, na situação inicial, as tarefas eram realizadas por um operador fixo. Assim, o operador possuía uma folga correspondente a 48% do *takt time*.

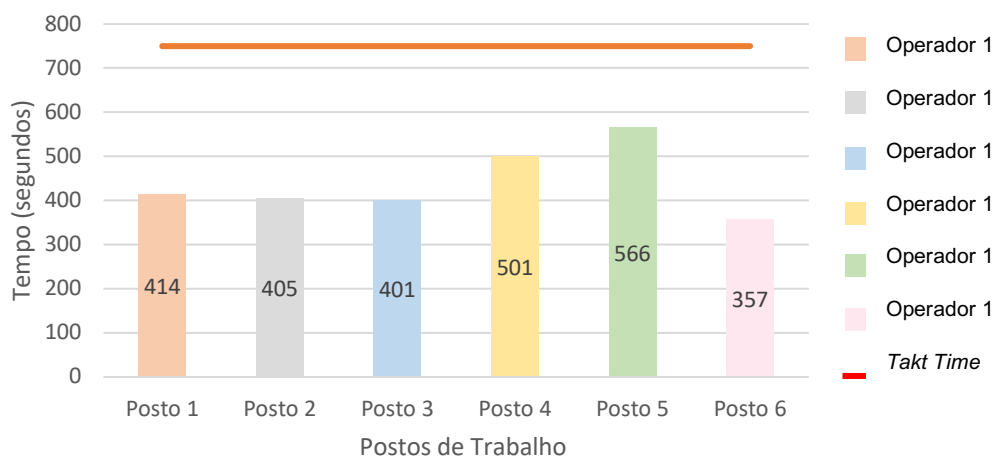


Figura 3.12 Tempo necessário nos postos de trabalho da EOL

Os postos 2 e 3 eram realizados por 2 operadores, devido à necessidade de realização de tarefas em simultâneo. Estas tarefas conjuntas eram realizadas no posto 3. O operador da fossa e o operador do posto 4 também realizavam operações em conjunto, havendo a necessidade de sincronizar algumas tarefas (Figura 3.13).

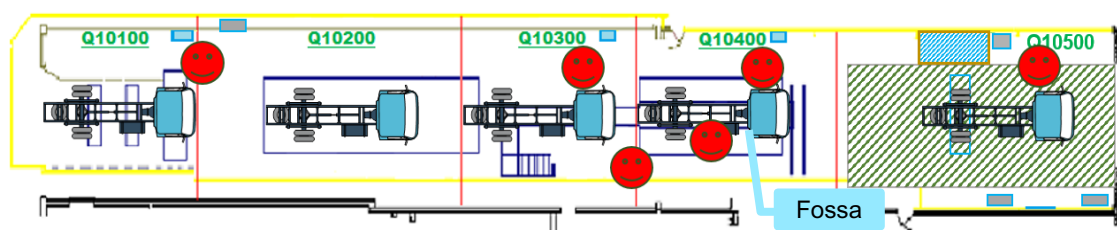


Figura 3.13 Situação inicial do EoL

Existiam algumas condicionantes que faziam com que esta tivesse desperdícios associados, nomeadamente a existência de equipamentos que determinam o local onde têm de ser realizadas determinadas operações, a presença de uma fossa onde é realizado o alinhamento de direção e, ainda, a necessidade de realização de tarefas em simultâneo por dois operadores.

Com a alteração da produção de 37 viaturas diárias para 30 viaturas devido à redução da procura, surgiu a necessidade de realizar um estudo nesta linha a fim de uniformizar os tempos de operação de todos os postos de trabalho desta área.

Com a alteração do *takt time*, não foram efetuadas alterações no número de operadores e na distribuição de tarefas, identificando-se no EoL um potencial de melhoria.

3.2.3. LINHAS DE PINTURA DO CHASSIS E DOS EIXOS

O *chassis* é conjugado na Linha do *Frame*, segue para a linha da pintura do *chassis* e, posteriormente, é enviado para a *B-line*. A *B-line* corresponde à zona inicial da Linha Final onde é terminada a montagem do *chassis* antes da montagem dos eixos.

Os eixos são montados na Linha dos Eixos, seguem para a linha de pintura dos eixos e são transportados para Linha Final, onde são acoplados com o *chassis*.

Com a alteração da produção para 30 veículos por dia, o *takt time* passou a ser 926 segundos, o que correspondia a um tempo *target* de 833 segundos. Com o aumento do *takt time*, o número de operadores necessários era menor, surgindo a necessidade de estudo de uma solução para estas linhas.

De acordo com os tempos totais de operação listados na Tabela 3.3, o número de operadores necessário para o desempenho das tarefas nas duas linhas de pintura era de 3, no entanto a estação possuía 4 pessoas alocadas, 2 a cada linha, e surgiu a necessidade de definir como seria o seu comportamento depois da alteração do tempo de ciclo.

Tabela 3.3 Tempos totais de operação empregues na Pintura

Pintura	Chassis	914 segundos
	Eixos	1409 segundos
	TOTAL	2323 segundos

$$N^{\circ} \text{ Operadores} = \frac{2323}{833} \approx 3 \text{ operadores}$$

Os tempos de operação são idênticos para todos os modelos, pelo que se considerou que, neste caso, não existia variabilidade consoante o modelo que estava a ser produzido.

A sincronização de duas linhas de montagem para que conseguissem laborar com operadores que se deslocassem entre as linhas era um processo difícil de conseguir uma vez que todo o processo deveria estar bem definido e não podiam existir quaisquer atrasos. Qualquer alteração condicionaria o comportamento de todo o sistema.

O transportador dos eixos era contínuo e automático e que não podia ser alterado para manual. Assim, com o tempo de ciclo definido, a movimentação dos eixos não podia ser controlada pelo operador. Dessa forma, e como cada *chassis* necessita de dois eixos, o operador teria de, dentro do *takt time*, realizar as tarefas duas vezes. Assim, o *takt time* da linha de pintura dos eixos seria metade do *takt time* da fábrica, o que deixava pouco tempo livre para que o operador pudesse realizar outras operações fora da sua estação.

Nesta linha, as folgas identificadas revelaram a possibilidade de redução de um operador, o que constituiu uma oportunidade, podendo este operador dedicar-se a outra atividade.

3.2.4. SUBMONTAGENS ECANTER

No momento do estudo, a maioria das montagens do modelo eCarter era realizada em quatro (e)Boxes e recorrendo a 7 operadores. O tempo de ciclo era de 4 horas para as Boxes, pelo que, de 4 em 4 horas deveria estar pronto um eCarter. Existia também um conjunto de submontagens (Sub Assy) para as quais – no seu conjunto – eram necessárias cerca de 4 horas. As submontagens do eCarter eram realizadas e incluídas na eBoxes.

Por observação direta e recorrendo às Folhas de Trabalho Padrão (FTP), verificou-se que quando se realizava a montagem um modelo eCarter, existiam 2 horas de submontagens de componentes exclusivos do diesel que não seriam necessárias (Figura 3.14).

Assim, existia esse período disponível para as submontagens do eCarter. Neste ponto surgiu a questão relativa a qual a melhor maneira de usar esta disponibilidade, nomeadamente quanto ao local, ao momento e ao(s) operador(es) que iriam desempenhar essas tarefas.

O objetivo passou por tornar o tempo de ciclo do eCarter na eBoxes inferior a 4 horas, aumentando a eficiência, mas também para que fosse possível a sua produção em maior quantidade.

Para isso, decidiu avaliar-se a possibilidade de passagem de operações da área das *Sub Assy* do eCarter para a área das *Sub Assemblies* do Diesel, de A para B, como pode visualizar-se na Figura 3.15.

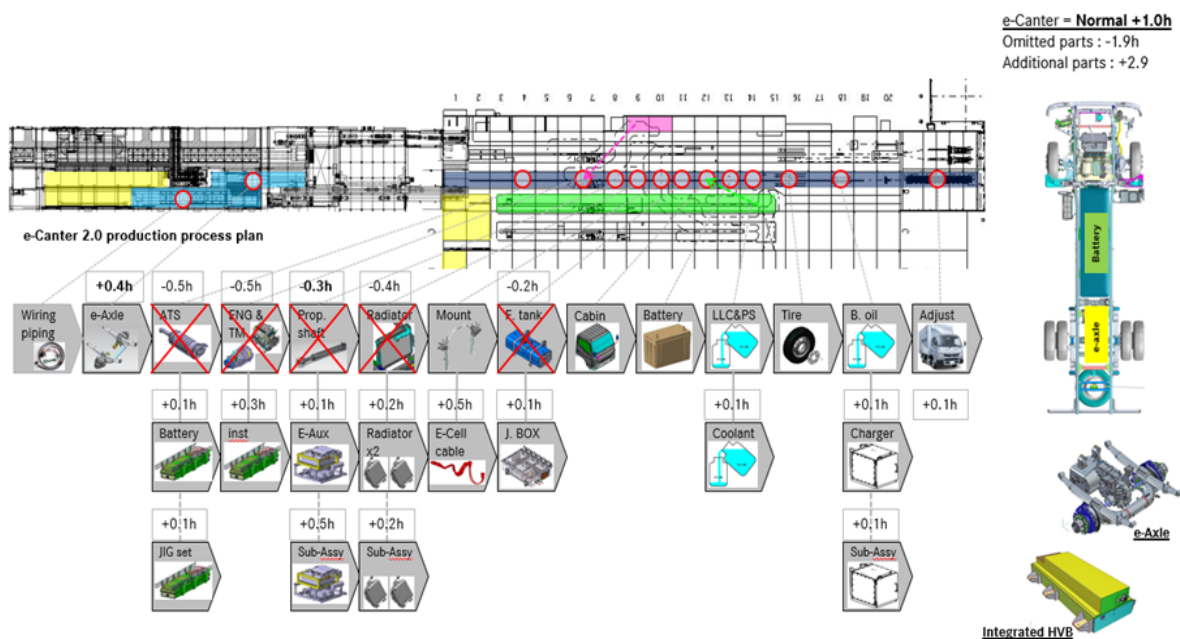


Figura 3.14 Processo de Montagem e Estimativa do Tempo de Trabalho do eCarter

Outro objetivo importante foi a necessidade de libertar os operadores que estavam a realizar a montagem do eCarter, pois eram operadores especializados que deveriam focar-se em outras atividades.

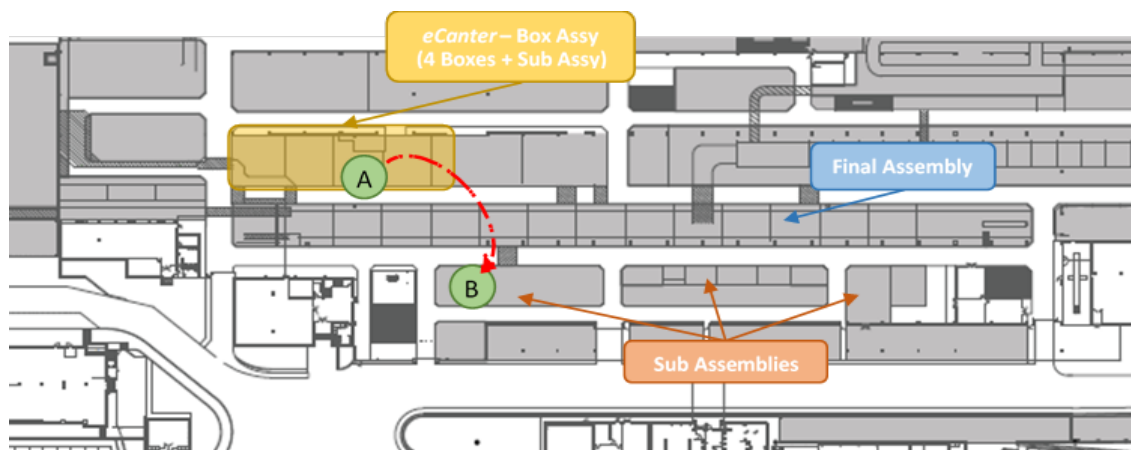


Figura 3.15 Proposta de alteração de montagem do eCanter

O processo de montagem do eCanter era recente, e feito em condições especiais, pelo que os tempos de operação das submontagens e montagem do eCanter na MFTE, SA. ainda não estavam registados, existindo uma estimativa da sua duração e conhecendo-se apenas o seu tempo total.

Pretendeu avaliar-se a possibilidade de passagem da submontagem do Radiador (84SD00), do eMotor (84SC03) e da Yagura (84SG00) do eCanter para junto da submontagens do veículo diesel de modo a utilizar o tempo livre para a sua realização. O objetivo passou também pela integração da montagem destes elementos na linha final.

Existiam registos dos tempos totais das montagens dos componentes que se pretendia avaliar e estes encontram-se na Tabela 3.4, bem como o número de operadores necessários para a realização de uma unidade de um componente. Assim, para a montagem dos componentes, Radiador, eMotor e Yagura, serão necessários 3, 3 e 5 operadores, respetivamente.

Tabela 3.4 Tempos estimados para a montagem de três componentes

Componente	Tempo	Nº operadores necessários
Radiador	42 minutos	$42/15,4 = 2,73$
eMotor	42 minutos	$42/15,4 = 2,73$
Yagura	72 minutos	$72/15,4 = 4,68$
TOTAL	156 minutos	10,14

Quando o eCanter era montado, tal como já referido, existem componentes do *diesel* que não seriam necessários e que seriam desperdício se não fossem compensados com operações de montagem de outros componentes. Segundo a observação e análise realizada às FTP, puderam retirar-se os tempos mais significativos na submontagem dos componentes apenas pertencentes ao veículo *diesel* (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 Tempos de montagem dos componentes do *diesel* mais significativos

Componente	Tempo disponível	Nº Operadores
SCR	30,8 minutos	2
Motor	46,2 minutos	3
Radiador	15,4 minutos	1
Fuel Tank	7 minutos	0,45
Filtro de ar	5,5 minutos	0,36
TOTAL	~ 105 minutos	6,8

O tempo disponível estimado para acolher operações nas submontagens corresponde às *Omitted parts* era de cerca de 114 minutos (como pode verificar-se na Figura 3.14 Processo de Montagem e Estimativa do Tempo de Trabalho do eCanter), no entanto, e como pode ser observado na Tabela 3.5, o tempo disponível real era de aproximadamente 105 minutos. Assim, para a realização das operações existiam apenas 6 operadores disponíveis.

Portanto, uma vez que a passagem dos três componentes excedia o tempo livre, decidiu avaliar-se a possibilidade de transferência de apenas um ou dois dos componentes.

Nos gráficos abaixo apresentados na Figura 3.16, na Figura 3.17 e na Figura 3.18, pretendeu demonstrar-se, de um modo meramente conceptual, o tempo ocupado nos postos de trabalho com as operações de submontagem para os veículos *diesel* e eCanter.

Nos dois gráficos iniciais é visível a diferença entre as submontagens necessárias para cada um deles. No terceiro gráfico está representado tempo total das montagens na eBox, nomeadamente o relativo às submontagens representadas a amarelo.

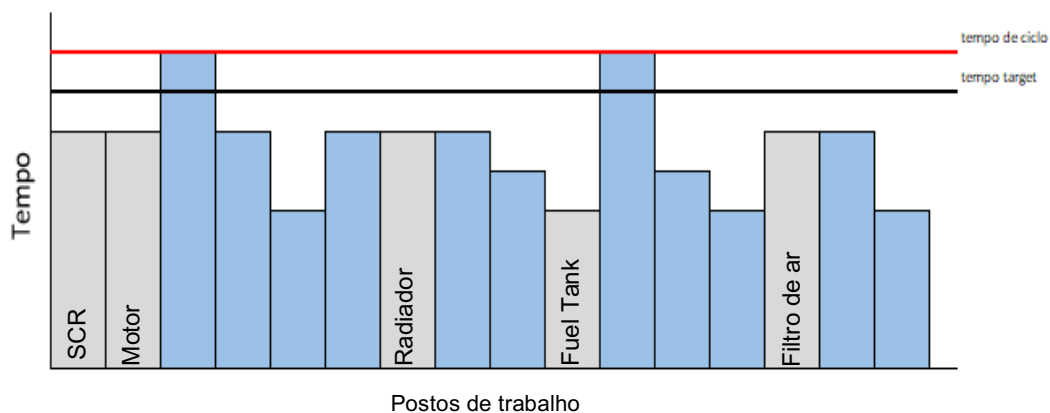


Figura 3.16 Operações de submontagem do veículo Diesel

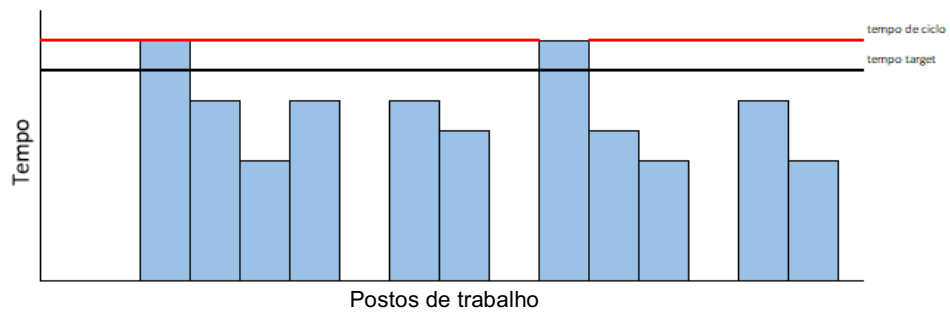


Figura 3.17 Operações de submontagens comuns (Diesel e eCanter)

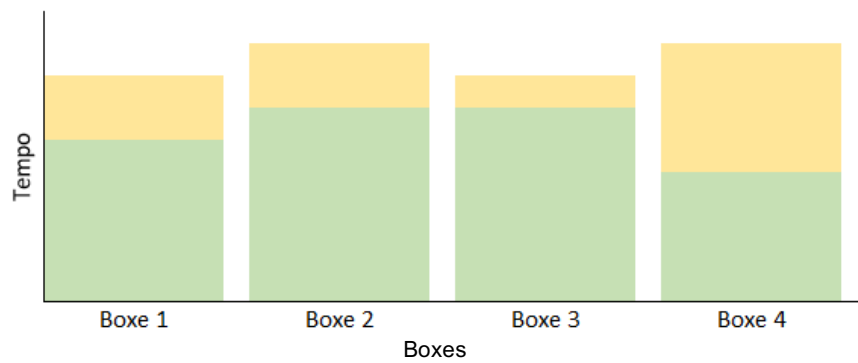


Figura 3.18 Operações de submontagem do veículo eCanter

A hipótese apresentada na Figura 3.19 pretendeu demonstrar a possibilidade de passagem de operações de submontagem do eCanter para junto das submontagens do *diesel*, equilibrando as operações nas submontagens, diminuindo os desperdícios e conseguindo reduzir a carga na eBox e, conseqüentemente, encurtando o tempo de ciclo do eCanter.

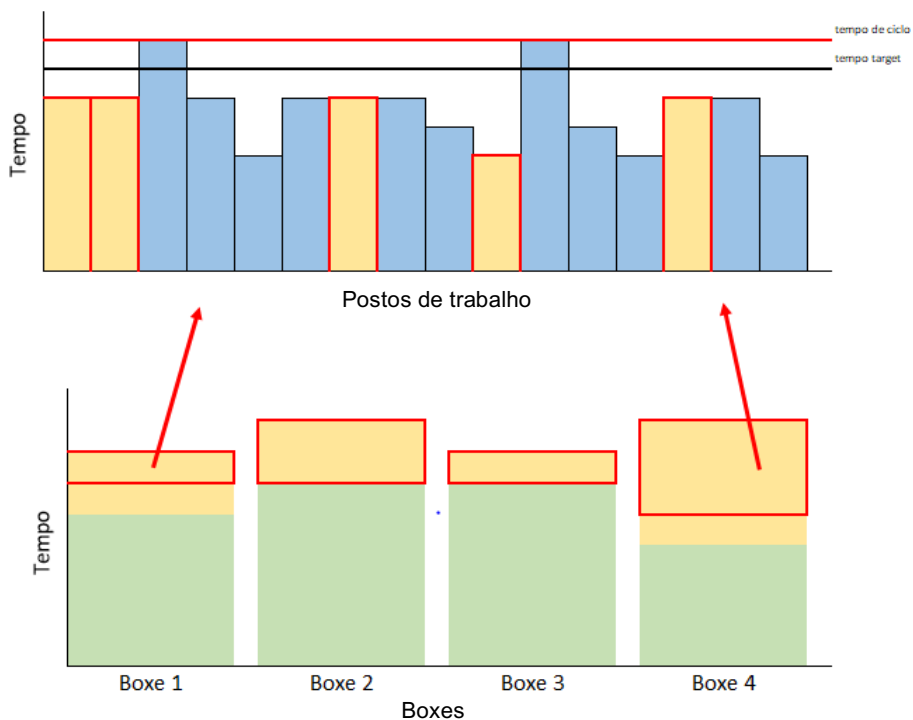


Figura 3.19 Cenário conceptual futuro

A integração da montagem do eCanter na Linha Final, deixando de ser um processo especial, era um ponto essencial para que a organização conseguisse dar resposta à previsão de aumento das unidades encomendadas para o veículo elétrico. Assim, a possibilidade de transferência gradual de operações para o processo de montagem regular constituiu uma oportunidade de melhoria para a organização.

4. PROPOSTAS DE MELHORIA

Depois de identificadas oportunidades de melhoria na organização, foram elaboradas propostas atendendo às situações específicas para cada uma para o cumprimento dos objetivos. De seguida, foram analisados os resultados da sua implementação.

4.1.1. PROPOSTAS DE MELHORIA: LINHA FINAL

Ao saber a carga real dos operadores com a devida antecedência poderão ser tomadas medidas para equilibrar a carga das estações de trabalho.

Para uma melhoria do processo de balanceamento, sugeriu-se que as tarefas que deveriam ser realizadas de forma sequencial pelo mesmo operador fossem “agrupadas” para que a alocação aos operadores pudesse ser facilitada.

Com conhecimento do plano de produção e recorrendo ao *Microsoft Office Excel*, foi possível analisar se os constrangimentos identificados estavam a ser ou não satisfeitos. Existia uma restrição relativa ao comprimento do *chassis* (*Wheelbase*) que indicava que os *chassis* longos (H e K) não deveriam ser colocados seguidos e que deveriam ser antecidos e sucedidos de *chassis* curtos (B e C). No Apêndice IV está o plano de produção relativo ao comprimento do *chassis*.

Como é observável, o plano nem sempre respeita esta restrição relativa ao comprimento do *chassis*. Esta distribuição traduzir-se-ia em postos críticos uma vez que a variabilidade de tempos era grande e poderia não haver tempo para concluir as tarefas uma vez que o operador estaria durante vários ciclos acima do tempo de ciclo.

Apesar da quantidade produzida em setembro ser inferior ao mês de março devido à alteração do *takt time*, em termos de percentagem, não existiram alterações significativas relativamente à percentagem de modelos produzidos, não se tratando de uma situação pontual, tal como podemos observar na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Comparação das quantidades produzidas em diferentes períodos

Wheelbase	março e abril 2020		15 julho a 24 setembro 2020	
	Quantidade	Percentagem	Quantidade	Percentagem
B	350	26%	318	28%
C	300	22%	274	24%
E	329	25%	303	27%
G	193	14%	123	11%
H	88	7%	71	6%
K	75	6%	40	4%
Total	1335	100%	1129	100%

De acordo com o balanceamento para o tempo de ciclo de 926 segundos, foram analisados dois postos de trabalho, 8409RH e 8410RH, que foram considerados críticos por análise das FTP, bem como pelas reclamações por parte dos operadores por não terem tempo para a realização das tarefas.

A análise passou por associar os tempos de operação ao plano de produção definido utilizando o ficheiro realizado e adaptado ao balanceamento para 15,4 minutos e à análise pretendida. Assim, pôde verificar-se qual seria a carga real da linha de produção, identificando os postos de maior ou menor carga.

Os gráficos seguintes são ilustrativos da carga real dos postos desde o início do estudo até aos 360 carros seguintes, o que se traduz em 12 dias de produção (Figura 4.1 e Figura 4.2). A vermelho estão representados os chassis longos e a cinza, os chassis curtos.

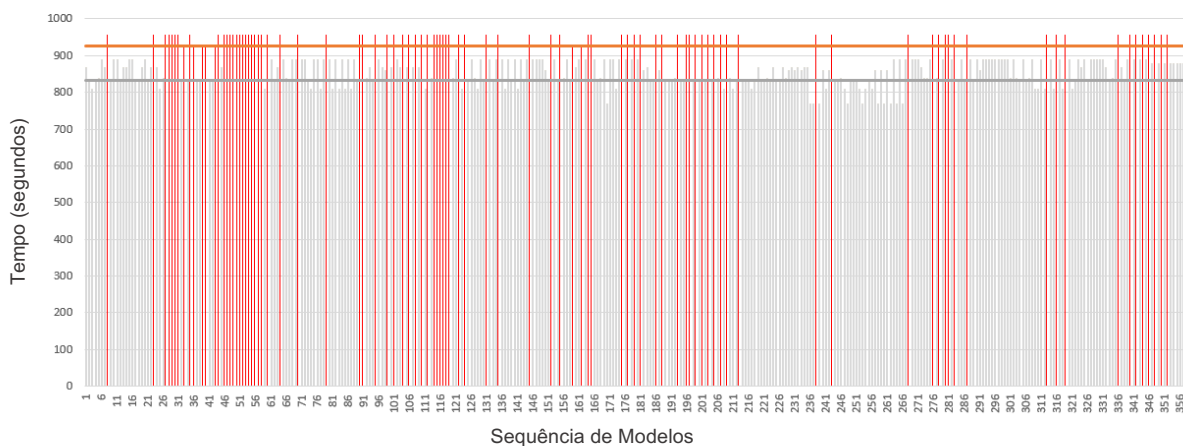


Figura 4.1 Carga do posto 8409RH para 12 dias de produção

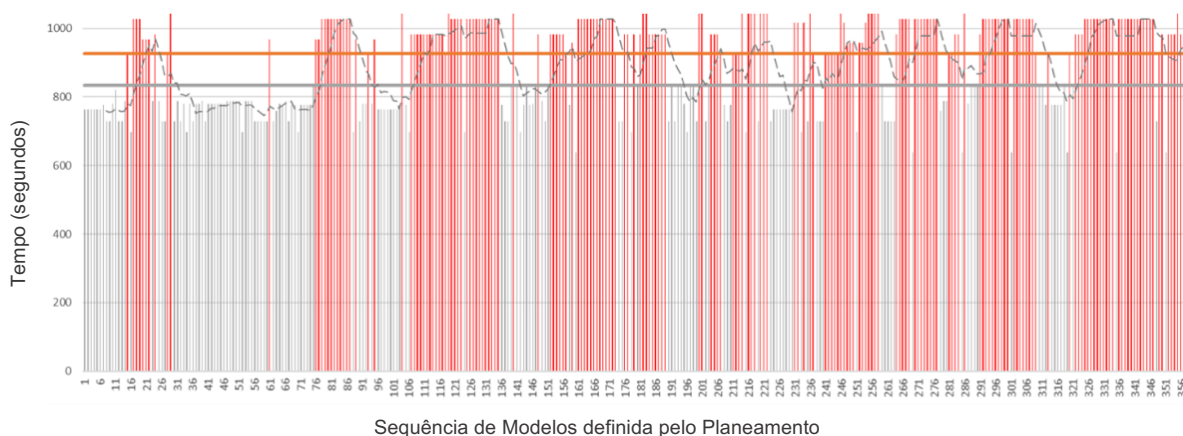


Figura 4.2 Carga do posto 8410RH para 12 dias de produção

A visualização gráfica tornou mais clara a análise dos tempos identificando os futuros postos críticos na linha final de acordo com o plano de produção fixado. Ao conhecer estes pontos, pôde atuar-se sobre eles antecipadamente para que fossem mitigados ou mesmo eliminados.

Com recurso aos documentos da empresa e ao *Microsoft Office Excel*, foi definida uma sequência com o objetivo de atenuar a carga do posto de trabalho. Como resultado, obteve-se uma distribuição mais uniforme, como pode verificar-se nos gráficos apresentados na Figura 4.3.

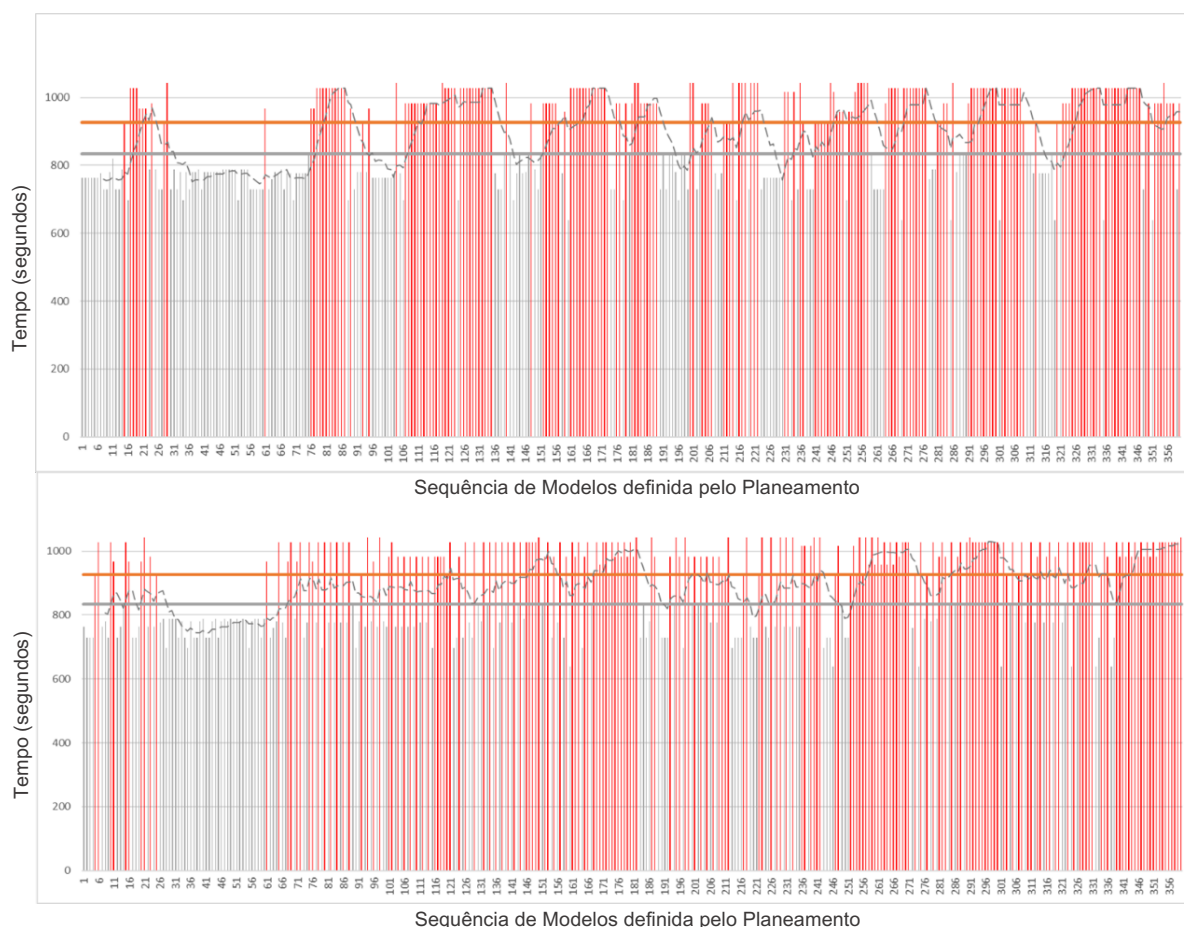


Figura 4.3 Alteração da sequência de trabalho no posto 8410RH

Sugeriu-se ainda, para esta linha, a identificação das operações realizadas por dois operadores para que fossem atribuídas aos postos da mesma estação de trabalho.

Como a quantidade de cada modelo produzido é variável, o que irá fazer com que os componentes também sejam variáveis, é importante conhecer os que são produzidos em maior quantidade e o foco deverá ser o maior equilíbrio possível desses modelos.

A sequência de produção também poderá ser determinante. Tanto quanto possível, os modelos que têm uma duração superior deverão ser precedidos ou sucedidos de modelos que permitam compensar esse desequilíbrio. Assim, o operador que realiza o modelo de menor duração poderá auxiliar na estação anterior ou seguinte de modo a eliminar a sobrecarga existente.

A existência de um diagrama de precedências de operações e processos torna-se fundamental e revela-se uma necessidade. Existindo a divisão em subprocessos, podem encontrar-se relações de precedência entre eles.

Outra sugestão é a identificação do local do carro onde são realizadas de tarefas. Isto permitiria aumentar a flexibilidade da linha. Por um lado, num tempo de ciclo mais curto poderá ser necessário alocar operadores a zonas do carro. Por outro lado, em caso de sobrecarga numa estação e folga noutra, poderão ser alocadas operações da estação saturada ao operador com tempo disponível e essa identificação do local permitiria a escolha das tarefas a realizar e avaliar as diferentes possibilidades.

4.1.2. PROPOSTAS DE MELHORIA: *END OF LINE*

Com o objetivo de uniformização dos tempos de operação em todos os postos de trabalho e de acordo com as operações listadas, foi realizado um teste à possibilidade de funcionamento do EoL com 4 operadores.

Indo ao encontro dos objetivos definidos, foi testado um esquema novo de mobilidade de operadores (Figura 4.4). Assim, um operador realizou as operações dos postos 1 e 2. Dois operadores foram atribuídos aos postos 3, 4 e fossa e foram realizadas operações em conjunto nestes postos. Por fim, ao posto 5 ficou alocado um operador.

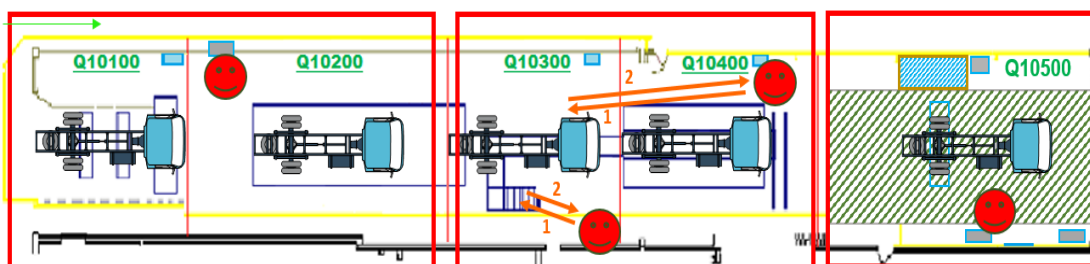


Figura 4.4 Proposta de novo esquema de mobilidade de operadores

O esquema proposto contemplou os postos 3, 4 e fossa. Os dois operadores realizaram tarefas em simultâneo no posto 3 e, de seguida, o operador do posto 3 deslocou-se para a fossa e o operador do posto 4 voltou para o seu posto. Assim, o operador da fossa deixou de ser fixo e, passando por todos postos de trabalho, a sua destreza seria superior e adquiriria formação para realizar tarefas em qualquer ponto da linha. Pretendeu cumprir-se o tempo da Tabela 4.2 para um *takt time* de 926 segundos.

Tabela 4.2 Tempo e número de operadores alocados às estações

Postos	Tempo (min)	Nº Operadores
Q10100	15,5	1
Q10200		
Q10300	15,5	2
Q10400		
Fossa		
Q10500	15,5	1
TOTAL	62,0	4

Realizou-se o teste segundo o proposto e foram registados os tempos de três veículos com características diferentes (Tabela 4.3).

Verificou-se que o esquema proposto excedia o tempo de ciclo de 15,4 minutos nas estações definidas, sendo que apenas o posto Q10500 não excedeu esse tempo possuindo uma folga de cerca de 50%.

Tabela 4.3 Registo dos tempos do teste realizado em diferentes veículos

Postos	Opção A		Opção B		Opção C 4X4			
	Cabine Simples		Cabine Dupla		Opções e Documentação	Rolos eixo traseiro	Rolos eixo dianteiro	
Q10100	8	17	8	18	4	3	3	20
Q10200	9		10			10		
Q10300	6,5	15,5	7,5	15,5		9		18
Q10400 + Fossa	9		8			8		
Q10500	7,5	7,5	7,5	7,5		7,5		7,5
TOTAL	55,5		56,5			63,5		

4.1.3. PROPOSTAS DE MELHORIA: LINHAS DE PINTURA

O tempo ocioso na linha de produção é considerado desperdício pelo que o objetivo passou por reduzir esse tempo e tornar a linha mais eficiente. A uniformização dos tempos de operadores também foi um ponto fundamental e um objetivo a alcançar pois a carga de trabalho deveria ser idêntica para todos os operadores.

Foram desenvolvidos cenários para que a linha se tornasse mais eficiente e que os desperdícios associados à mesma pudessem ser diminuídos.

a. CENÁRIO 1

No primeiro cenário (Tabela 4.4 e Figura 4.5), o operador responsável pela aplicação de primário nos eixos, efetuará uma deslocação até ao *chassis* e auxilia nas operações iniciais desta estação até ao início da pintura do *chassis*, ou seja, nas tarefas de preparação do *chassis* para a pintura. Assim, o operador do *chassis* já teria tempo para transferir o *chassis* para o transportador da *B-line*. Realizando operações durante cerca de 2 minutos no *chassis*, o seu tempo de inatividade seria inferior e o operador do *chassis* teria um tempo total de tarefas menos próximo do tempo limite.

Tabela 4.4 Tempo atribuído ao cenário 1

		Operador	Tempo	Alteração de Tempo	Tempo após alteração
Pintura	Chassis	OP.1	914	-120	794
		OP.3	674	120	794
	Eixos	OP.4	735	0	735

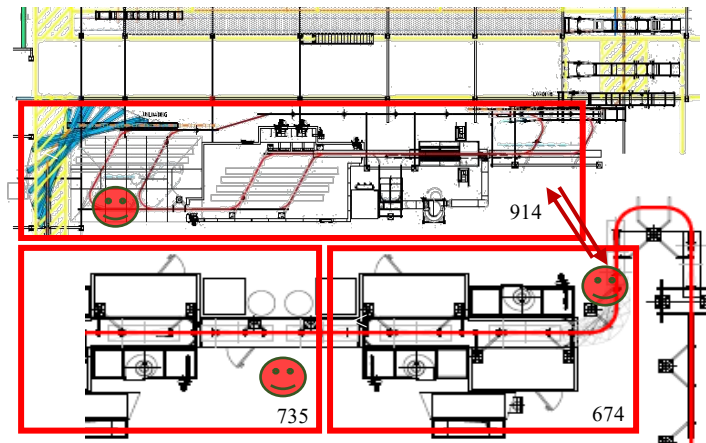


Figura 4.5 Esquema ilustrativo do cenário 1

b. CENÁRIO 2

O segundo cenário (Figura 4.6) propôs uma alocação de tarefas aos operadores idêntica ao cenário 1, no entanto, o operador deslocar-se-ia para a pintura do *chassis* e acompanha o *chassis*. Os três operadores iriam rodar pelos 3 postos de trabalho, conseguindo, assim, um equilíbrio de operações realizadas por cada um. A exequibilidade deste cenário residia na possibilidade de a movimentação dos eixos ser controlada pelos operadores e o sincronismo de operações era essencial e difícil de conseguir.

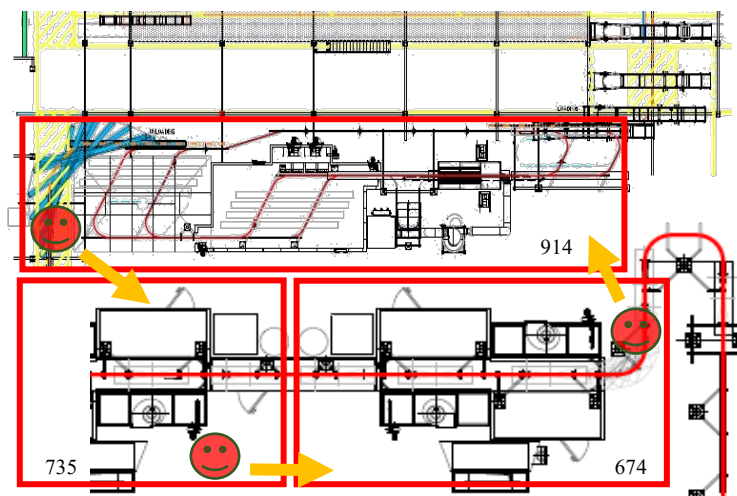


Figura 4.6 Esquema ilustrativo do cenário 2

Devido aos constrangimentos identificados, os cenários 1 e 2 não foram considerados viáveis e decidiu-se que as linhas deveriam continuar a funcionar de forma independente. Em termos do tempo global de operações, seria praticável, no entanto, as linhas tinham características especiais que as impediam de funcionar dessa forma.

c. CENÁRIO 3

Avaliou-se, então, um terceiro cenário (Tabela 4.5) no qual o operador de uma estação de trabalho vizinha (operador que estava encarregue de descarregar e separar as longarinas e transportá-las até à entrada da Linha do *Frame*) auxiliaria o posto da pintura do *chassis*. O operador das longarinas deslocar-se-ia até ao *chassis* para o transferir para o transportador da *B-line*, tendo a duração dessa operação 147 segundos.

Tabela 4.5 Tempo atribuído ao cenário 3

Pintura	Chassis	OP.1	767
		OP. Longarinas	147
	Eixos	OP.3	674
		OP.4	735

Este operador já conseguiu executar as tarefas com uma produção de 40 carros/dia. Com uma produção de 30 carros/dia tinha tempo "livre" (não contabilizado), conseguindo auxiliar o posto da pintura do chassis na transferência do chassis para o transportador da *B-line*. O operador, ficou com cerca de 779 segundos (12,98 min) para realizar as suas tarefas no seu posto de trabalho, tarefas estas que já desempenhou com um tempo de ciclo de 11,57 min.

Para a implementação do cenário viável e mais vantajoso para a empresa e para os operadores, existiu outra situação que teve de ser resolvida. O operador das longarinas, o qual se pretendia que desse auxílio ao posto da pintura do *chassis*, estava alocado ao modelo 4x4, cujas tarefas ocupavam a parte do seu tempo disponível e o tornavam indisponível para se deslocar ao outro posto para realizar tarefas. No entanto, a produção de 4x4 era de cerca de 1 ou 2 carros por dia e existia um operador da Linha do *Frame* com tempo disponível quando o carro a ser produzido não possuía *brackets* (*BRKTS*) e estava disponível para realizar o 4x4 em avanço e criar *stock*.

Estava definido que este operador necessitava de 7 carros sem *BRKTS* para conseguir realizar 1 carro 4x4 e o espaço disponível para *stock* era limitado a 1,5 carros. Assim, avaliando o plano, apurou-se que, até ao dia 02 de setembro de 2020 e mantendo o plano de produção definido, o operador teria capacidade disponível para realizar o 4x4, deixando disponível o operador das longarinas para transferir o *chassis* que saía da linha da pintura para o transportador da *B-line*.

No Anexo IV encontra-se o plano de produção de veículos com *BRKTS* (FK) e de veículos 4x4. Assim, é demonstrada a possibilidade de o operador realizar em avanço o 4x4 até ao dia 02 de setembro.

4.1.4. PROPOSTAS DE MELHORIA: SUBMONTAGENS eCANTER

Com o tempo disponível para receber as operações do eCarter, foram propostos dois cenários, os quais estão representados na Figura 4.7. O primeiro passou pela alocação de 5 operadores à submontagem da Yagura. A segunda opção corresponderia à utilização de 6 operadores para a submontagem do eMotor e do Radiador.

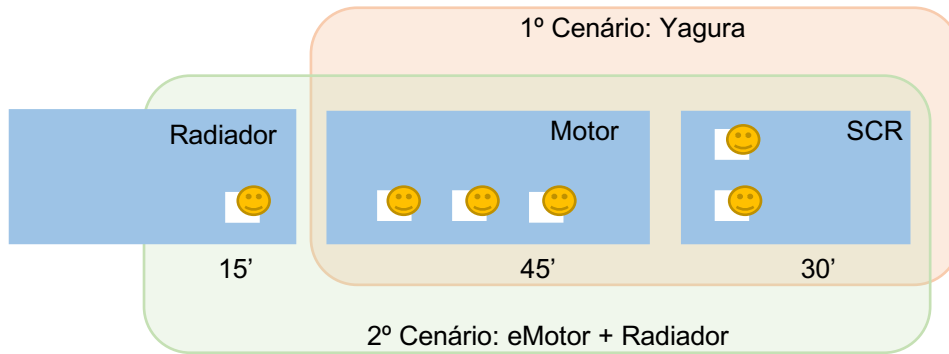


Figura 4.7 Cenários possíveis para as Submontagens

Uma das variáveis de decisão prendeu-se com o abastecimento. A Yagura é um componente do eCarter constituído por um elevado número de referências com impacto significativo no abastecimento. Por outro lado, os abastecimentos do Radiador e da Yagura estavam distribuídos nos mesmos *racks* por possuírem algumas peças comuns, o que implicaria a revisão do abastecimento destes dois componentes.

A Figura 4.8 pretendeu relacionar duas variáveis importantes para a decisão do componente que serviu como prova de conceito.

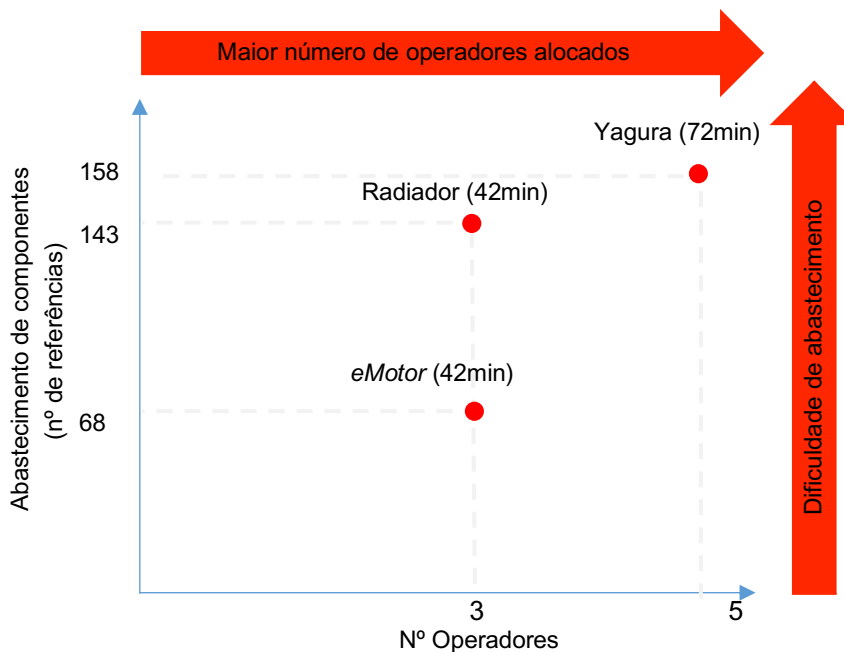


Figura 4.8 Nº Operadores Vs. Abastecimento dos componentes

A mudança do eMotor para as *Sub Assemblies* alocaria um menor número de operadores embora o abastecimento de referências fosse facilitado por estas serem em número inferior. Todavia, os equipamentos necessários à sua submontagem eram robustos e a sua montagem em linha tinha características particulares tornando-se inviável nesta fase. Além disso, o eMotor necessitava de uma nova bancada de trabalho mais funcional, cómoda e completamente adaptada às suas características, a qual ainda se encontrava numa fase embrionária de projeto, pelo que a sua implementação ficou para uma fase posterior.

Uma vez que o objetivo final era eliminar o desperdício de tempo verificado quando ocorria a montagem do eCanter na Linha Final, a alocação do máximo número de operadores às tarefas foi considerado um fator decisivo. Por essa razão, e por ser possível a sua implementação mais rápida, entre as duas variáveis acabou por ser dada primazia ao número de operadores alocados, efetuando-se a análise da Yagura.

O número de componentes a abastecer era elevado, havendo a necessidade de espaço para a sua distribuição e abastecimento. Os componentes da Yagura estavam distribuídos em conjunto com alguns componentes do Radiador e para a montagem da Yagura decidiu constituir-se um *kit* com os componentes necessários. Assim, utilizando um *kit* estaria disponível a quantidade de peças necessária a uma unidade da Yagura, com menor necessidade de espaço. A questão do abastecimento foi, portanto, ultrapassada e de simples resolução para o caso.

a. PROPOSTA PARA MUDANÇA DA YAGURA

O componente escolhido para a mudança foi a Yagura uma vez que, atendendo aos fatores de decisão definidos, se considerou o mais vantajoso trazendo um maior proveito e conseguindo incluir um maior número de condições a analisar nesta fase.

Além disso, a Yagura permitiu explorar várias possibilidades para os processos de montagem o que é uma vantagem para determinar a solução final. A Figura 4.9 ilustra a Yagura, componente do eCanter.



Figura 4.9 Componente do eCanter - Yagura

A Figura 4.10 representa, de forma esquemática, a sequência de produção atual e pretendeu determinar a disponibilidade dos operadores para a realização de atividades. É também ilustrado o local onde se realiza a submontagem da Yagura, na fase inicial.

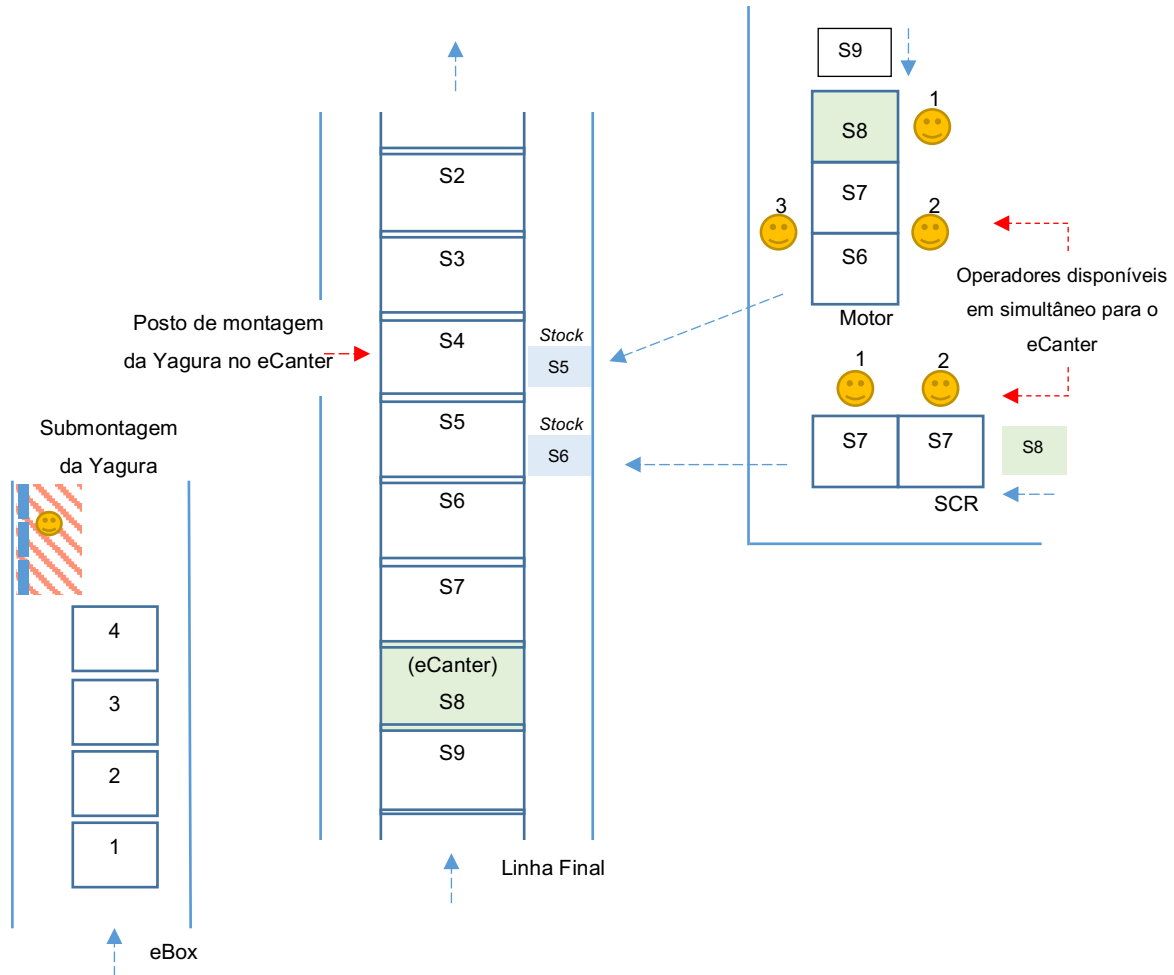


Figura 4.10 Determinação da disponibilidade dos operadores para realizar atividades

Como pode verificar-se, existia mais que um operador disponível no mesmo ciclo e, deste modo, era inviável a montagem da Yagura com recurso a uma linha de montagem contínua, aparentemente o mais desejável. Assim, foi avaliada a possibilidade de realização de operações em simultâneo concluindo-se ser possível dividir a submontagem em montagens menores e distribuí-las pelos operadores.

A definição das atividades a realizar por cada operador é um fator determinante. As Folhas de Operação existentes, onde eram descritas as tarefas e os componentes associados consideraram-se desajustadas para o resultado pretendido. Por essa razão, realizaram-se novos documentos com imagens como as da Figura 4.11 e com a definição de uma nova sequência de montagem, mais confortável e clara que a original.

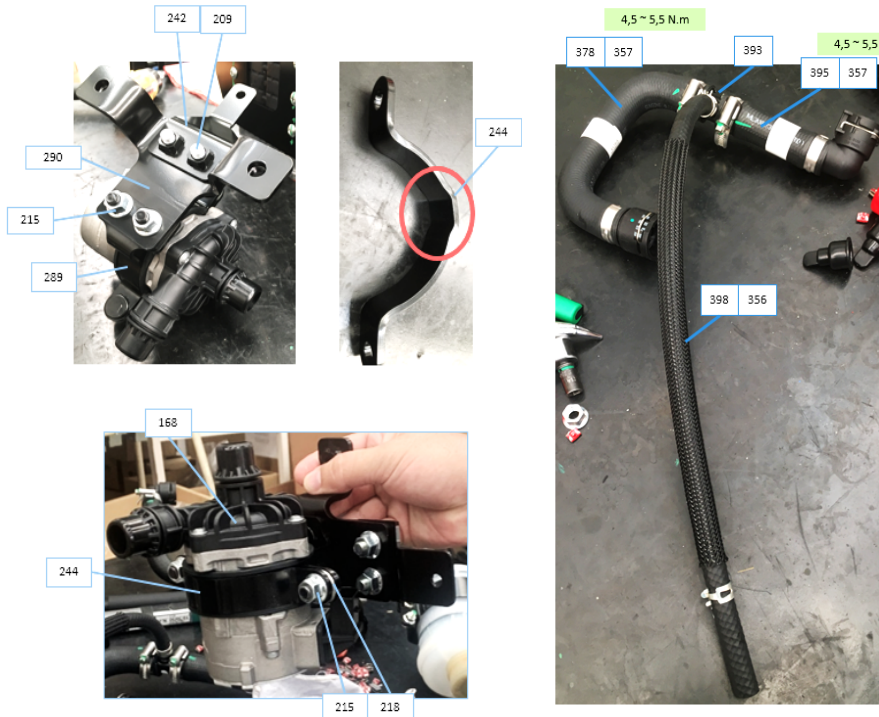


Figura 4.11 Imagens utilizadas em novos documentos com componentes identificados

Por observação direta do processo de montagem e recorrendo às imagens capturadas (como na Figura 4.11), definiram-se operações de submontagem e identificaram-se os componentes necessários a cada uma. Esta divisão permitiu diferentes possibilidades de alocação de tarefas, podendo ser realizadas em qualquer momento até ao momento anterior à sua montagem.

Simultaneamente com a observação do processo de montagem, procedeu-se à cronometragem da montagem dos diferentes componentes da Yagura. Esta cronometragem pretendeu apenas verificar se os tempos estimados estariam próximos do observado. Verificou-se, então, depois de cronometrar as tarefas, que, em vez de cinco operadores, seriam necessários 6 operadores. Como o processo e o conceito seriam diferentes do habitual, optou-se por alocar as tarefas com alguma folga nesta fase de aprendizagem e interiorização do conceito.

Como resultado, nesta fase embrionária, pretendeu-se uma distribuição eficaz das operações pelos recursos disponíveis; posteriormente, trabalhar-se-ia no aumento da sua eficiência.

Depois de uma estimativa de duração das tarefas a realizar, foram definidas relações de precedência entre as diferentes operações de montagem da Yagura de modo a que atribuição de tarefas respeitasse a ordem de montagem (Tabela 4.6). As operações A a I foram definidas como submontagens pelo que não existia qualquer precedência; eram operações que apenas tinham de estar concluídas quando necessárias para incorporação na estrutura principal.

A partir das relações de precedência identificadas, foi construído um Diagrama de Precedências e as tarefas foram alocadas aos operadores disponíveis.

Tabela 4.6 Tabela de Precedências

Tarefa	Duração (minutos)	Precedência
A	15	-
B	7	-
C	2	-
D	1,5	-
E	4,5	-
F	2,5	-
G	1,5	-
H	2	-
I	2	-
1	7,5	-
2	3	1, B
3	8,5	2, A
4	2	I
5	1,5	C, H
6	9,5	3, 4, D, F
7	3	E, G
8	3	6, 7
9	4	8
10	3,5	5, 9
11	1	10
12	2	11
13	2	12

Para minimizar *stocks* e atrasos de entrega de peças consideram-se *stocks* de submontagens mínimos. Ainda assim, devido à simultaneidade da disponibilidade dos operadores e à restrição de apenas um operador a realizar tarefas na Yagura (operações 1 a 13), excluindo as submontagens (operações A a I), foi necessário definir que fossem montadas três Yaguras ao mesmo tempo, como é visível no Diagrama de Precedências (Figura 4.12) e no Diagrama de Gantt (Figura 4.13), nos Apêndices V e VI, respetivamente.

O Diagrama de Gantt relaciona-se com o Diagrama de Precedências e espelha as atividades a concretizar por cada operador e o momento da sua realização. Uma vez que o tempo de operação

da Yagura excedeu o número de operadores disponíveis, definiu-se que a sua montagem seria iniciada na eBox (onde estava inicialmente) e, posteriormente, encaminhada para a área das *Sub Assemblies*.

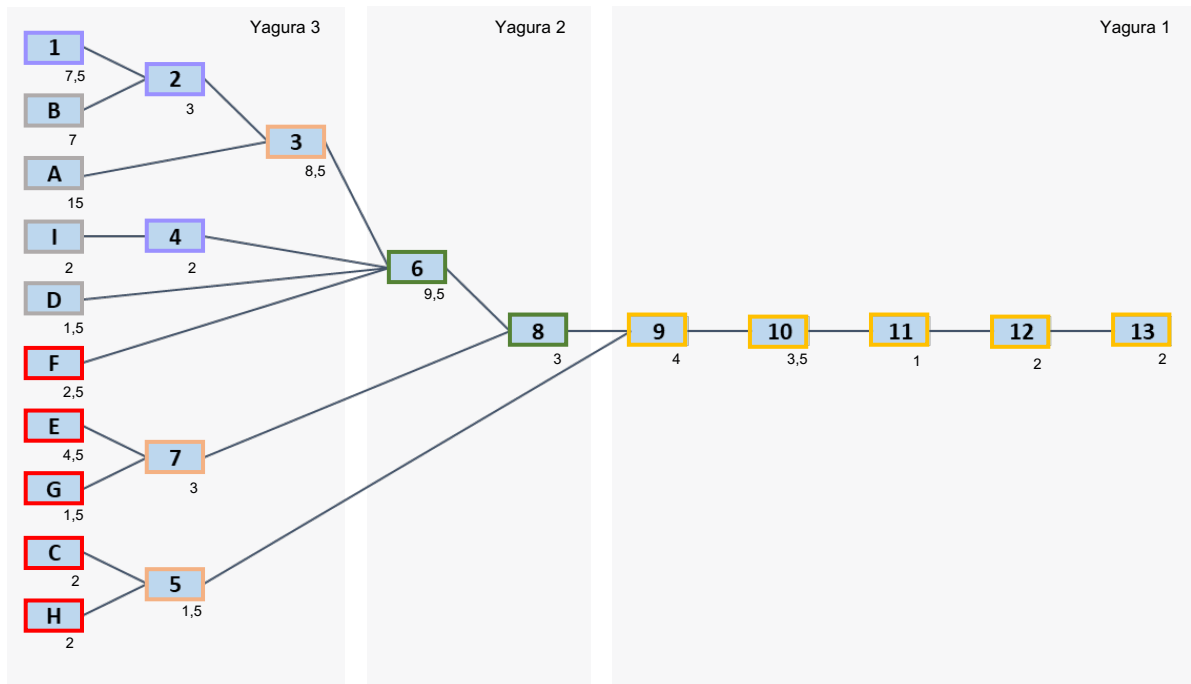


Figura 4.12 Diagrama de Precedências

O posto de trabalho na eBox não operava com o mesmo tempo de ciclo da Linha Final (15,4 minutos) e, por essa razão, as operações alocadas a esse posto não estavam limitadas em termos de tempo. A alocação de operações foi realizada para que, nesta fase de introdução do conceito e aprendizagem, a ocupação dos operadores rondasse valores entre os 80 e 85% de modo a que não existissem atrasos na produção.

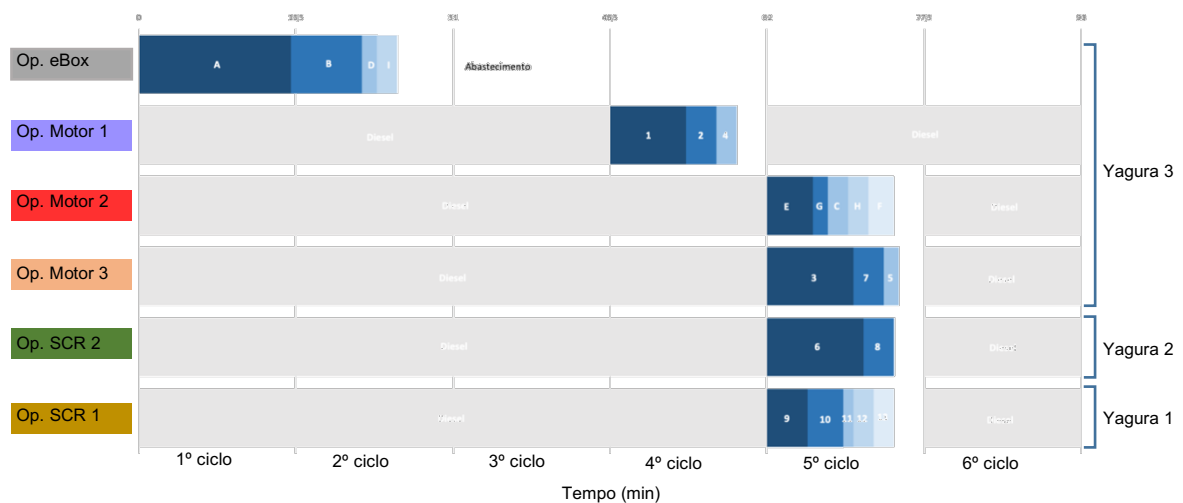


Figura 4.13 Diagrama de Gantt

Após a alteração descrita, a situação final pretendida está ilustrada na figura seguinte (Figura 4.14). A montagem deste componente encontra-se repartida por três áreas, como já descrito anteriormente.

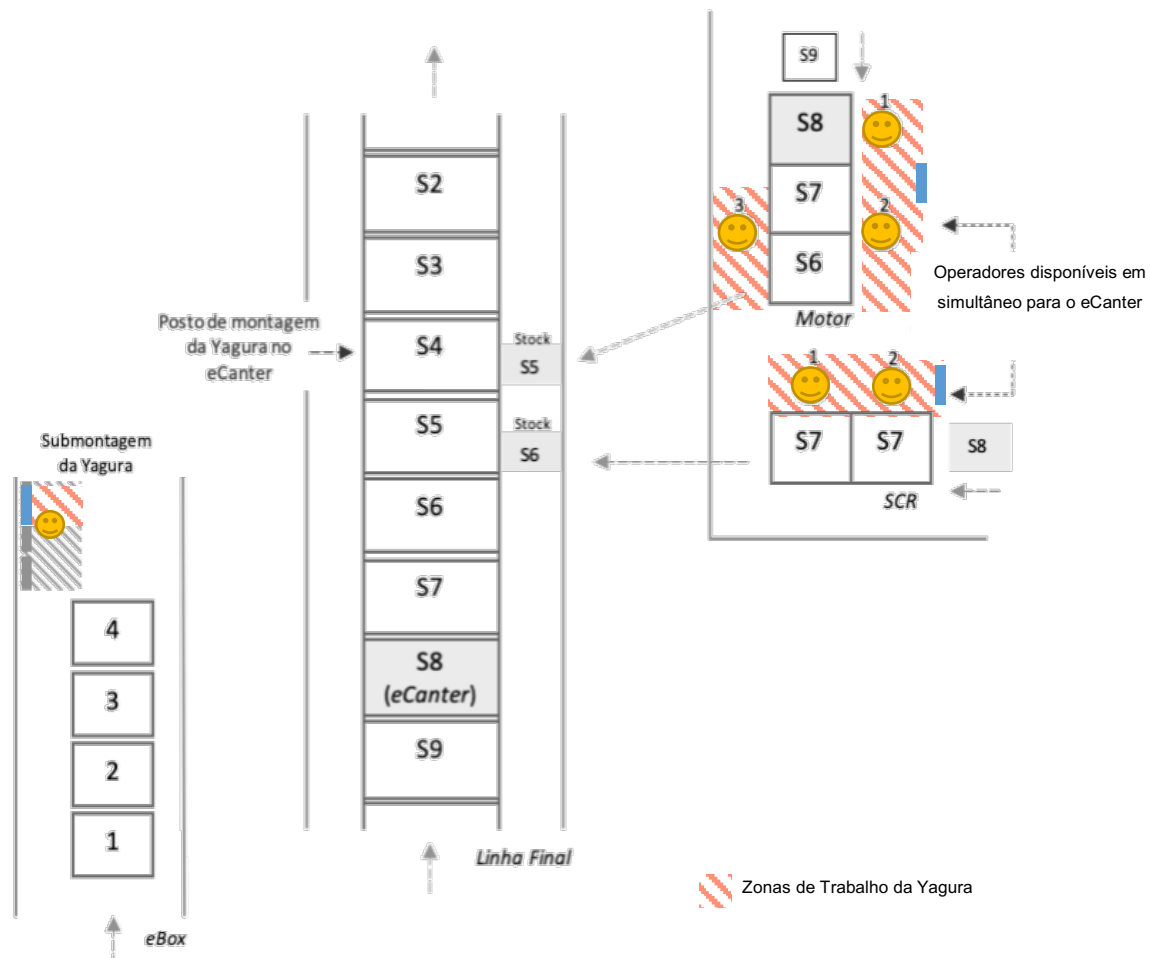


Figura 4.14 Identificação dos locais de montagem da Yagura

Prevê-se que os tempos estimados diminuam à medida que os operadores ganham experiência, conseguindo, numa próxima fase, realizar a montagem da Yagura na sua totalidade com 5 operadores para o *takt time* de 15,4 minutos, deixando de existir a necessidade de recorrer ao operador da eBox.

b. EFORUM ECANTER

Depois de definidos os alicerces para a concretização da prova de conceito, foi realizada uma apresentação do conceito e do trabalho em execução na sequência de um *eForum* organizado pela equipa da ME. Sendo o eCarter um produto *Premium* e para que a empresa se mantenha competitiva torna-se necessário preparar o futuro e pensar de uma forma distinta. A emergência deste primeiro *eForum* pretendeu-se com a necessidade de partilha de conhecimentos e ideias entre diversas áreas da empresa, incluindo os *workers* mais experientes e mais ligados à montagem do eCarter, para definição do processo de montagem, pois a previsão é de aumento do número de unidades encomendadas.

Como é visível na

Figura 4.15, na atual condição de montagem do eCanter, o aumento da produção implica um maior acumular do desperdício, pelo que a linha deverá permitir a coexistência dos dois produtos de forma mais otimizada.

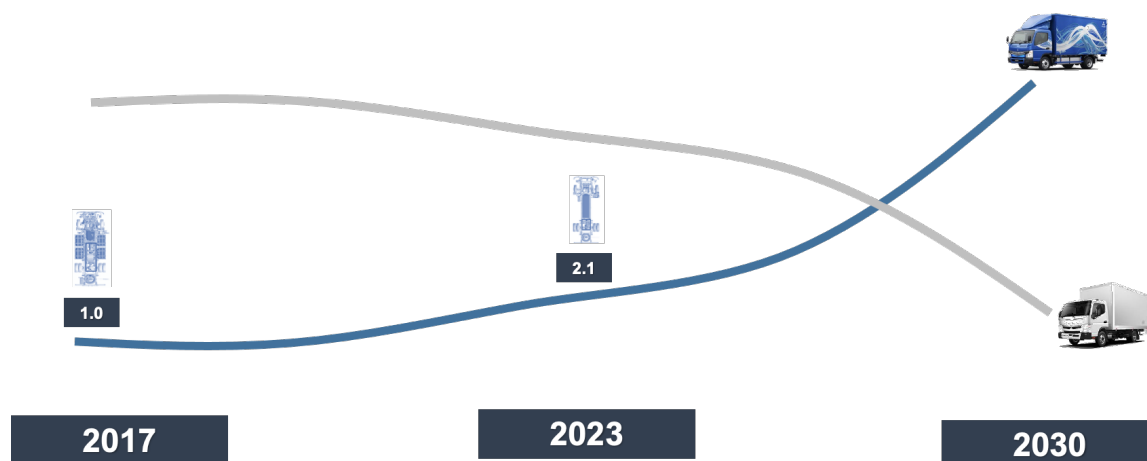


Figura 4.15 Previsão da evolução do número de unidades produzidas

Esta proposta de mudança da Yagura foi bem acolhida pelos intervenientes no *eForum*, e confirmadas as condições para a sua implementação, surgindo alguns *inputs* importantes para este tema. Definiram-se duas fases de implementação da prova de conceito para que a alteração fosse gradual, especialmente por questões de treino e de preparação dos meios de abastecimento.

4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS E ESTADO DE IMPLEMENTAÇÃO

Analisando os seus diferentes segmentos foi possível ficar a conhecer o seu comportamento desta linha de produção e a dificuldade de balanceamento existente devido a grande quantidade de variantes produzidas na organização.

A implementação das propostas sugeridas para a Linha Final revelar-se-á uma mais-valia para a organização, não só pela diminuição do tempo ocioso como pela melhoria da agilidade na alocação de tarefas e melhor programação dos meios humanos.

É importante referir que, ao determinar uma nova sequência, existem condicionantes a ter em conta. Por um lado, foi benéfica para os postos de trabalho em questão, mas, por outro lado, ao aliviar a carga a esse posto de trabalho, outros postos podem ser sobrecarregados. Assim, mais que a sequência, o balanceamento é fundamental para evitar que estas situações se verifiquem.

O balanceamento da linha de produção é um processo frequentemente avaliado, que pode ser alterado e é alvo de melhorias constantes. Assim, após a análise dos postos de trabalho da Linha Final selecionados, a produção foi alertada e tomou medidas para solucionar os problemas

existentes. O Planeamento também tomou conhecimento da situação e o plano foi revisto. O balanceamento também foi alterado de modo a conseguir-se uma carga mais confortável para o trabalhador do posto. O posto 8412RH, por ser um posto com tempo disponível, acolheu algumas operações específicas dos modelos acima do tempo.

O teste no EoL validou a exequibilidade do esquema de operadores proposto e permitiu a análise das tarefas desempenhadas nos postos de trabalho. Contudo, o tempo de operações excedeu o tempo de ciclo.

Determinou-se que seria possível sincronizar as operações e que o esquema proposto era simples e funcionaria naturalmente. As operações listadas correspondiam a cerca de 2700 segundos e foram observados cerca de 3600 segundos de verificações, não havendo acréscimo significativo de novas operações em relação às FTP. Foram identificadas como tarefas adicionais a calibração do MPC e a verificação das palas do sol.

Com recurso a vídeos, foram identificadas algumas limitações que daí decorreram, as quais se encontram listadas de seguida.

- Verificou-se que os operadores estavam pouco treinados para as operações a realizar, tendo sido necessário o apoio de colegas na concretização de algumas tarefas, nomeadamente no alinhamento de direção e na calibração da câmara.
- Os tempos registados foram superiores ao listados e decorreram devido falta da formação observada.
- Nesta linha de inspeção foram realizadas algumas reparações por operadores da produção, originando perdas e tempos de espera para a realização de verificações.
- Inspeções repetidas: no vídeo constatou-se que as palas do sol foram verificadas mais que uma vez pelo mesmo operador, sem razão aparente.

Em termos de tempo, o teste pode considerar-se inconclusivo devido às limitações descritas pelo que, nesta fase, não existiu a possibilidade de operação da linha com 4 trabalhadores, sendo necessárias 5 pessoas (Tabela 4.7). Ainda assim, verificou-se uma redução de um operador nesta linha.

Tabela 4.7 Redução do número de operadores e eficiência da linha

Tempo médio de Atividades (x)	Takt Time	Nº Operadores	Tempo Target x Nº Operadores (y)	Eficiência (x/y)
		6	5556	63,2%
3510	926	5	4630	75,8%
		4	3704	94,8%

Com a redução de um operador na linha, e considerando os tempos de operação registados durante o teste, os quais foram considerados acima do real, a linha ficou a operar com uma eficiência de cerca de 76%.

A linha ficou a operar com 5 colaboradores. Pretendendo-se que, no futuro, o EoL opere com 4 colaboradores para o *takt time* de 15,4 minutos. O passo seguinte à concretização do teste prende-se com a realização de um maior número de observações e deve ser realizado um estudo aprofundado das operações efetuadas de modo a obter um conhecimento real dos tempos de operação.

Relativamente às linhas do *chassis* e dos eixos, a proposta foi apresentada à produção, foi aceite e implementada ficando estabelecida a sua avaliação com regularidade. Ao definir que o operador das longarinas deveria efetuar o transbordo do *chassis* para a *B-line* conseguiu alcançar-se o objetivo definido. Embora o conjunto das duas linhas continuasse a trabalhar com 4 operadores (3 operadores fixos e um operador externo), a tarefa de transferência do chassis para o transportador da *B-line* deixou de ser realizada por um operador que apenas realizava essa operação e conseguiu empregar-se um operador que tinha disponibilidade e que executava tarefas numa estação vizinha.

O conjunto das estações da Linha do *Frame*, Linha de Pintura dos Eixos, Linha de Pintura do Chassis experimentou uma redução em 1 operador, passando de um total de 11 para 10 operadores.

O tempo total médio de atividade no conjunto das linhas era de 5741 segundos, sendo este valor de acordo com os registos nas FTP. O tempo de operação do trabalhador que abastece a Linha do *Frame* não estava cronometrado, no entanto, e como já referido, desempenhou essa tarefa no tempo de 11,57 minutos (694,2 segundos). Assim, o tempo contabilizado no cálculo do tempo médio de atividade foi de 694,2 segundos para poder avaliar-se a eficiência. Na Tabela 4.8 é calculada a eficiência do conjunto de acordo com o tempo *target*.

Tabela 4.8 Eficiência calculada de acordo com o tempo *target*

Tempo médio de Atividade (x)	Takt Time	Nº Operadores	Tempo Target x Nº Operadores (y)	Eficiência (x/y)
7542	926	11	9167	74,0%
		10	8334	81,4%

Verificou-se uma melhoria de 10% na eficiência do conjunto das linhas analisadas, com um ganho de 7,4% na eficiência. Esta situação continuou a ser alvo de avaliação permanente e as alterações necessárias foram efetivadas para que o plano de produção pudesse ser cumprido.

Com a passagem das operações de montagem Yagura para a zona de submontagens, o tempo disponível passou a estar ocupado com operações e libertaram-se operadores da eBox para

realização de outras tarefas. Em termos de abastecimento, esta alteração implicou uma revisão do abastecimento.

O resultado mais importante a retirar do estudo realizado foi a possibilidade de implementação deste conceito. No futuro, com a mudança da montagem de outros componentes do eCanter, prevê-se um tempo de ciclo inferior e a industrialização do processo. Assim, o veículo elétrico passa ser montado de forma regular (semelhante ao *diesel*), deixando de existir o processo especial que foi definido para o eCanter e permitindo a coexistência dos dois produtos na linha.

A sua implementação não se encontrava concluída no final do estudo. No entanto, espera-se que a ocupação dos postos de trabalho para o eCanter seja semelhante à ocupação para o veículo *diesel*. A tendência é que o número de veículos eCanter produzidos aumente, pelo que a mudança gradual trará benefícios à organização.

4.2.1. ESTADO DE IMPLEMENTAÇÃO DAS PROPOSTAS DE MELHORIA

No fim do estudo, das propostas de melhoria apresentadas, quatro encontravam-se implementadas na sua totalidade. Existiam propostas em fase de implementação, e que ainda não se encontravam a funcionar na sua plenitude. As restantes encontravam-se em fase de avaliação pelos responsáveis.

Na Tabela 4.9 estão resumidos os principais impactos a esperar da implementação destas propostas, bem como o estado de implementação em que as mesmas se encontravam.

Tabela 4.9 Propostas de melhoria, impactos e estado de implementação

Ação	Local	Descrição	Impacto	Estado de Implementação		
				Em análise	Em execução	Concluído
1	Linha Final	Agrupar tarefas realizadas de forma sequencial pelo mesmo operador	- Alocação de tarefas facilitada. - Tempo menor despendido na alocação de tarefas	✓		
2	Linha Final	Identificar as tarefas realizadas sempre por 2 operadores	- Atribuição rápida das tarefas aos postos da mesma estação de trabalho.	✓		
3	Linha Final	Modelos com duração superior precedidas e sucedidas de modelos de duração menor	- Os operadores das estações seguintes/ anteriores poderiam auxiliar o posto sobrecarregado, não se refletindo a sobrecarga em toda a linha.	✓		
4	Linha Final	Elaboração de um diagrama de precedências	- Conseguir-se-iam visualizar todas as possibilidades de alocação de tarefas.	✓		

5	Linha Final	Identificação do local do veículo onde é realizada a tarefa	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento da flexibilidade da linha. - Avaliação de diferentes possibilidades para realização de operações. 	✓
---	-------------	---	--	---

Tabela 4.9 Propostas de melhoria, impactos e estado de implementação (continuação)

Ação	Local	Descrição	Impacto	Estado de Implementação		
				Em análise	Em execução	Concluído
6	Linha Final	Alteração do balanceamento, passando tarefas para postos que as possam acolher	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminação da sobrecarga para o operador do posto. - Atenuação das discrepâncias de tempo existentes entre estações de trabalho. 			✓
7	Linha Final	Revisão do plano de produção, alterando a sequência de modelos	<ul style="list-style-type: none"> - Os modelos cujo tempo de montagem é maior passaram a estar mais distribuídos no plano (não existem picos seguidos). 			✓
7	EoL	Novo esquema de mobilidade de operadores	<ul style="list-style-type: none"> - Redução do número de operadores. - Os operadores do EoL passam a realizar tarefas em todos os postos (sem operadores fixos). 			✓
8	Linhas Chassis e Eixos	Redução de 1 operador nas linhas de pintura	<ul style="list-style-type: none"> - Melhoria de 10% na eficiência das linhas, com um ganho de 7,4%. 			✓
10	Submontagens	Alteração local de montagem do componente Yagura	<ul style="list-style-type: none"> - Operadores com tempos de espera passam a estar ocupados com tarefas do eCanter. - Libertação de operadores especialistas. - Primeiro passo para a industrialização do processo. 		✓	

As ações de melhoria propostas e em análise por parte dos responsáveis foram propostas numa fase inicial do estudo, o qual foi obrigatoriamente adiado devido à pandemia Covid-19. Depois do regresso ao estudo diversas condições foram alteradas, nomeadamente o tempo de ciclo, pelo que a sua implementação e análise ficaram para uma fase posterior.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1. CONCLUSÕES

Uma indústria deve definir estratégias que tornem o seu processo produtivo mais eficiente, como referido em outros tópicos do presente estudo.

A crescente preocupação com a satisfação do cliente, e das suas necessidades, leva este setor a disponibilizar um enorme número de variantes e opções distintas, o que representa um enorme desafio em termos de balanceamento e gestão dos recursos disponíveis.

Foi proposto um estudo de diferentes segmentos da linha de montagem no decorrer do estudo. O objetivo foi comum aos diferentes segmentos estudados, o aumento da eficiência do processo de montagem.

Assim, foi estabelecido o enquadramento teórico daqueles que foram os alicerces para o estudo na empresa.

A aplicação da filosofia LM tem como objetivo principal maximizar o valor para o cliente, minimizando ou eliminando qualquer tipo de desperdício. O balanceamento das linhas de produção é fulcral para a melhoria da produtividade e redução dos custos associados. Portanto, a distribuição das tarefas uniformemente pelas estações de trabalho para que o tempo de inatividade possa ser minimizado é essencial.

Por outro lado, o conhecimento dos tempos de laboração é imprescindível para que os fatores que afetam o sistema sejam controlados. Com esses elementos, o desempenho dos trabalhadores poderá ser avaliado, bem como planeadas as necessidades de força de trabalho. As operações também poderão ser programadas e uma avaliação regular, com recurso a métricas de desempenho, revelar-se-á benéfica para que possam existir comparações com outros períodos e para avaliar a necessidade de melhorias para que a organização atinja os objetivos estabelecidos.

Devido ao elevado número de variantes produzidas, o balanceamento da linha de montagem é uma tarefa pesada e demorada. Além disso, o número de unidades produzidas é muito variável. Para o balanceamento da Linha Final, diversos fatores deverão ser considerados e automatizados e a sequência de modelos poderá ser determinante para que exista ou não sobrecargas nos Postos de Trabalho.

Analisou-se outro segmento da linha, nomeadamente um posto de trabalho sobrecarregado. Foi estudado o balanceamento com a carga real da estação de trabalho de acordo com o plano de produção fixado. Verificou-se que existia sobrecarga porque algumas das restrições não estavam a ser cumpridas. Alterando a sequência e transferindo tarefas para o posto de trabalho seguinte que estaria mais “livre”, conseguiu anular-se essa sobrecarga. Ao determinar a nova sequência, existem benefícios para o posto de trabalho, no entanto outros postos de trabalho poderão ser sobrecarregados. Assim, mais que a sequência, o balanceamento é fundamental.

Nos Postos de Trabalho do EoL foram identificadas limitações ao estudo realizado. O objetivo passou pela redução de dois operadores, no entanto apenas foi possível a redução de um operador nesta linha. Com esta redução e considerando os tempos de operação registados, os quais se consideraram acima do real, a linha alcançou uma eficiência de 76%.

Ao investigar as estações de Pintura do *Chassis* e dos Eixos, previu-se a redução de quatro para três operadores, tendo sido sugeridos diversos cenários. Essa redução foi possível, no entanto foi necessário recorrer a um operador de uma estação adjacente, *Frame*, para realizar a tarefa de transbordo do *chassis*. Para a análise da eficiência obtida consideraram-se as estações em conjunto, *Frame* e Pintura do *Chassis* e dos Eixos, reduzindo um operador e passando a existir um total de 10 operadores. Assim, a eficiência passou de 74,0% para 81,4%, verificando-se uma melhoria de cerca de 10%, com um ganho de 7,4% na eficiência.

Avaliando o “novo” processo relativo ao veículo elétrico, apurou-se que os operadores que realizam submontagens apenas tinham o tempo totalmente ocupado quando o veículo Diesel estava a ser montado, ficando com tempo disponível quando o eCanter passava na Linha Final. Com a passagem da montagem do componente Yagura para estes operadores “livres”, os trabalhadores da eBox, especialistas, puderam começar a ser alocados a novas tarefas. O resultado mais significativo a retirar deste estudo foi a possibilidade de implementação deste conceito. A tendência era que o eCanter deixasse de ser um processo especial e que passasse a ser um processo com montagem regular (semelhante ao *Diesel*) permitindo a coexistência dos dois produtos na mesma Linha.

O desenvolvimento de propostas de melhoria para os diferentes segmentos da linha com características distintas permitiu diferentes abordagens que poderão ser reproduzidas futuramente ou servir de base para outros projetos futuros na MFTE, SA.

5.2. TRABALHOS FUTUROS

O estudo realizado na MFTE, SA. encontra-se integrado numa perspetiva de melhoria contínua. Deste modo, estes contributos deverão ser constantemente estudados e passíveis de desenvolvimentos e melhorias ao longo do tempo.

Para que os processos não sofram estagnação e a empresa consiga responder às exigências do mundo atual, deverão ser continuamente analisadas novas metodologias para os seus processos.

Após a implementação das melhorias propostas neste estudo, a avaliação dos processos deverá ser frequente. Especificamente, os métodos de trabalho necessitam de um controlo e análise regulares bem como as operações de montagem. A aferição habitual do estado real dos processos é essencial para o bom desempenho de todas as organizações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alhuraish, I., Robledo, C. & Kobi A. (2017). A Comparative Exploration of Lean Manufacturing and Six Sigma in Terms of Their Critical Success Factors. *Journal of Cleaner Production*, 164, 325–337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.146>
- AlManei, M., Salonitis, K. & Xu, Y. (2017). Lean Implementation Frameworks: The Challenges for SMEs. *Procedia CIRP*, 63, 750–755. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.170>
- Álvarez-Miranda, E., & Pereira J. (2019). On the Complexity of Assembly Line Balancing Problems. *Computers & Operations Research*, 108, 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.04.005>
- Baumer-Cardoso, M., Campos L., Portela Santos, P. & Frazzon, E. (2020). Simulation-Based Analysis of Catalyzers and Trade-Offs in Lean & Green Manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118411>
- Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, M. & Pilati, F. (2017). Multi-Objective Assembly Line Balancing Considering Component Picking and Ergonomic Risk. *Computers & Industrial Engineering*, 112, 348–367. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.08.029>
- Čiarnienė, R., & Vienažindienė M. (2012). LEAN MANUFACTURING: THEORY AND PRACTICE. *Economics and Management*, 17(2), 726–732. <https://doi.org/10.5755/j01.em.17.2.2205>
- Courtois, A., Pillet, M., & Martin-Bonnefous, C. (2011). *Gestão da Produção*. (7ª Edição). Lidel - Edições Técnicas, Lda., Lisboa, Portugal
- Deshkar, A., Kamle S., Giri, J. & Korde, V. (2018). Design and Evaluation of a Lean Manufacturing Framework Using Value Stream Mapping (VSM) for a Plastic Bag Manufacturing Unit. *Materials Today: Proceedings*, 5(2, Part 2), 7668–7677. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.442>
- Dolgui, A., & Gafarov, E. (2017). Some New Ideas for Assembly Line Balancing Research. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 2255–2259. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.189>
- Dombrowski, U., & Malorny, C. (2018). Methodological Approach for a Process-Orientated Lean Service Implementation. *Procedia CIRP*, 73, 235–240. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.001>
- Douglas, J., Antony, J., & Douglas, A. (2015). Waste identification and elimination in HEIs: the role of Lean thinking ed. Professor Jiju Antony. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 32(9), 970–981. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-10-2014-0160>
- Eghtesadifard, M., Khalifeh, M. & Khorram, M. (2020). A Systematic Review of Research Themes and Hot Topics in Assembly Line Balancing through the Web of Science within 1990–2017. *Computers & Industrial Engineering*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106182>
- EIMaraghy, H., & Deif, A. (2014). Dynamic Modelling of Impact of Lean Policies on Production

- Levelling Feasibility. *CIRP Annals*, 63(1), 389–392. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.03.108>
- Fernandes, C. (2017). Estudo de Melhoria do Processo de Fabrico de Unidades de Tratamento de Ar. Dissertação de Mestrado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
- Fisel, J., Exner, Y., Stricker, N. & Lanza, G. (2019). Changeability and Flexibility of Assembly Line Balancing as a Multi-Objective Optimization Problem. *Journal of Manufacturing Systems*, 53, 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.09.012>
- Gaspar, H. (2017). Melhoria de um Processo de Montagem numa Empresa de Componentes Eletrónicos. Dissertação de Mestrado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
- Ghobadian, A., Talavera, I. Bahttacharya, A., Humar, V., Garza-Reyes & J. O'Regan, (2020). Examining Legitimation of Additive Manufacturing in the Interplay between Innovation, Lean Manufacturing and Sustainability. *International Journal of Production Economics*, 219, 457–468. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.06.001>
- Gleeson, F., Coughlan, P., Goodman, L., Newell, A. & Hargaden, V. (2019). Improving Manufacturing Productivity by Combining Cognitive Engineering and Lean-Six Sigma Methods. *Procedia CIRP*, 81, 641–646. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.169>
- Islam, A. (2019). End of the Day, Who Is Benefited by Lean Manufacturing? A Dilemma of Communication and Pricing in Buyer-Supplier Relationship. *Manufacturing Letters*, 21, 17–19. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2019.06.002>
- Kafuku, J. (2019). Factors for Effective Implementation of Lean Manufacturing Practice in Selected Industries in Tanzania. *Procedia Manufacturing*, 33, 351–358. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.043>
- Kęsek, M., Bogacz, P. & Migza, M. (2019). The Application of Lean Management and Six Sigma Tools in Global Mining Enterprises. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 214, 012090. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/214/1/012090>
- Knol, W., Slomp, J., Schouteten, R. & Lauche, K. (2019). The Relative Importance of Improvement Routines for Implementing Lean Practices. *International Journal of Operations & Production Management* 39 (2): 214–237. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2018-0010>
- Krishnaiyer, K., Chen, F. & Bouzary, H. (2018). Cloud Kanban Framework for Service Operations Management. *Procedia Manufacturing*, 17, 531–38. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.093>
- Kumar, M., Vaishya, R. & Parag. (2018). Real-Time Monitoring System to Lean Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 20, 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.019>
- Kundgol, S., Petkar, P. & Gaitonde, V. (2020). Implementation of Value Stream Mapping (VSM)

- Upgrading Process and Productivity in Aerospace Manufacturing Industry. *Materials Today: Proceedings*, 46, 4640-4646. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.28>
- Lalaoui, M. & Afia, A. (2018). A Fuzzy Generalized Simulated Annealing for a Simple Assembly Line Balancing Problem. *IFAC-PapersOnLine*, 51(32), 600–605. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.489>
- Liker, J. & Morgan, J. (2006) “The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development”, *Academy of Management Perspectives*, pp. 5-20 <https://doi.org/10.5465/amp.2006.20591002>
- Lizotte-Latendresse, S. & Beauregard, Y. (2018) Implementing self-service business analytics supporting lean manufacturing: A state-of-the-art review, *IFAC-PapersOnLine*, 51, n. 11, 1143–1148. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.436>
- Llach, J., Vázquez, X. & Castro, R. (2017). How Much Does Lean Manufacturing Need Environmental and Information Technologies? *Journal of Manufacturing Systems*, 45, 260–272. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.10.005>
- Lopes, T., Pastre, G., Michels, A. & Magatão, L. (2019). Flexible Multi-Manned Assembly Line Balancing Problem: Model, Heuristic Procedure, and Lower Bounds for Line Length Minimization. *Omega*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.04.006>.
- Manaye, M. (2019). Line Balancing Techniques for Productivity Improvement. *International Journal of Mechanical and Industrial Technology*, 7(1), 89-104.
- Marodin, G., Frank, A., Tortorella, G. & Netland, T. (2018). Lean Product Development and Lean Manufacturing: Testing Moderation Effects. *International Journal of Production Economics* 203, 301–310. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.009>
- Masuti, P. & Dabade, U. (2019). Lean Manufacturing Implementation Using Value Stream Mapping at Excavator Manufacturing Company. *Materials Today: Proceedings*, 19, 606–610. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.740>
- MFTE. (2018). *MAN GRH 10 10 – Manual de Acolhimento*. MFTE
- MFTE. (2019). *M ES 10 10 – Organigrama*. MFTE
- MFTE. (2020). *2020_ Official Company Presentation*. MFTE
- Möldner, A., Garza-Reyes, J. & Kumar, V. (2020). Exploring Lean Manufacturing Practices’ Influence on Process Innovation Performance. *Journal of Business Research*, 106, 233–249. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.09.002>
- Moussavi, S., Zare, M., Mahdjoub, M. & Grunder, O. (2019). Balancing High Operator’s Workload through a New Job Rotation Approach: Application to an Automotive Assembly Line. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 71, 136–144.

<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.03.003>

Nassereddine, A., & Wehbe, A. (2018). Competition and Resilience: Lean Manufacturing in the Plastic Industry in Lebanon. *Arab Economic and Business Journal*, 13(2), 179–189. <https://doi.org/10.1016/j.aebj.2018.11.001>

Nourmohammadi, A., Fathi, M. & Ng, A. (2019). Choosing Efficient Meta-Heuristics to Solve the Assembly Line Balancing Problem: A Landscape Analysis Approach. *Procedia CIRP*, 81, 1248–1253. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.302>

Omogbai, O. & Saloniitis, K. (2017). The Implementation of 5S Lean Tool Using System Dynamics Approach. *Procedia CIRP*, 60, 380–385. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.01.057>

Orji, I. & Liu, S. (2018) A dynamic perspective on the key drivers of innovation-led lean approaches to achieve sustainability in manufacturing supply chain, *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.12.002>

Otto, A. & Battaïa, A. (2017). Reducing Physical Ergonomic Risks at Assembly Lines by Line Balancing and Job Rotation: A Survey. *Computers & Industrial Engineering*, 111, 467–480. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.011>

Pearce, B., Antani, K., Mears, L., Funk, K., Mayorga, M. & Kurz, M. (2019). An Effective Integer Program for a General Assembly Line Balancing Problem with Parallel Workers and Additional Assignment Restrictions. *Journal of Manufacturing Systems*, 50, 180–192. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.12.011>

Pinto, J. (2010). *Gestão de Operações na Indústria e nos Serviços*. 3ª Edição. Lidel - Edições Técnicas, Lda., Lisboa, Portugal.

Pinto, J. (2014). *Pensamento Lean – A filosofia das organizações vencedoras*. 4ª Edição. Lidel - Edições Técnicas, Lda., Lisboa, Portugal.

Raj, A., Mathew, J., Jose, P. & Sivan, G. (2016). Optimization of Cycle Time in an Assembly Line Balancing Problem. *Procedia Technology*, 25, 1146–1153. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.231>

Ramis, B., Muhammad, U., Mohammed, W. & Lastra, J. (2018). Implementing and Visualizing ISO 22400 Key Performance Indicators for Monitoring Discrete Manufacturing Systems. *Machines*, 6, 39. <https://doi.org/10.3390/machines6030039>

Raoufi, K, Raman, A., Haapala, K. & Paul, B. (2018) Benchmarking Undergraduate Manufacturing Engineering Curricula in the United States, *Procedia Manufacturing*, 26, 1378–1387. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.114>

Roldão, V. & Ribeiro, J. (2014). *Gestão das Operações - Uma abordagem integrada*. Monitor - Edições e Projetos, Lda., Lisboa, Portugal.

- Salonitis, K. & Tsinopoulos, C. (2016). Drivers and Barriers of Lean Implementation in the Greek Manufacturing Sector. *Procedia CIRP*, 57, 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.033>
- Samouei, P., Fattahi, P., Ashayeri, J. & Ghazinoory, S. (2016). Bottleneck Easing-Based Assignment of Work and Product Mixture Determination: Fuzzy Assembly Line Balancing Approach. *Applied Mathematical Modelling*, 40(7), 4323–4340. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.11.011>
- Sime, H., Jana, P. & Panghal, D. (2019). Feasibility of Using Simulation Technique for Line Balancing In Apparel Industry. *Procedia Manufacturing*, 30, 300–307. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.043>
- Suzaki, K. (2010). *Gestão de Operações Lean*. (1ª Edição). Mansores: LeanOp Press. Lisboa, Portugal
- Varisco, M., Deuse, J., Johnsson, C. Nohring, F., Schiraldi, M. & Wostmann, P. (2018). From Production Planning Flows to Manufacturing Operation Management KPIs: Linking ISO18828 & ISO22400 Standards. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.229>
- Yahya, M., Mohammad, M., Omar, B., Ramly, E. & Atan, H. (2019). Awareness, implementation, effectiveness and future use of lean tools and techniques in Malaysia organisations: a survey. *Journal of Physics: Conference Series*, 1150. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1150/1/012010>
- Zhong, Y., Deng, Z. & Xu, K. (2019). An Effective Artificial Fish Swarm Optimization Algorithm for Two-Sided Assembly Line Balancing Problems. *Computers & Industrial Engineering*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106121>

ANEXOS E APÊNDICES

ANEXO I – ORGANIGRAMA DA ORGANIZAÇÃO

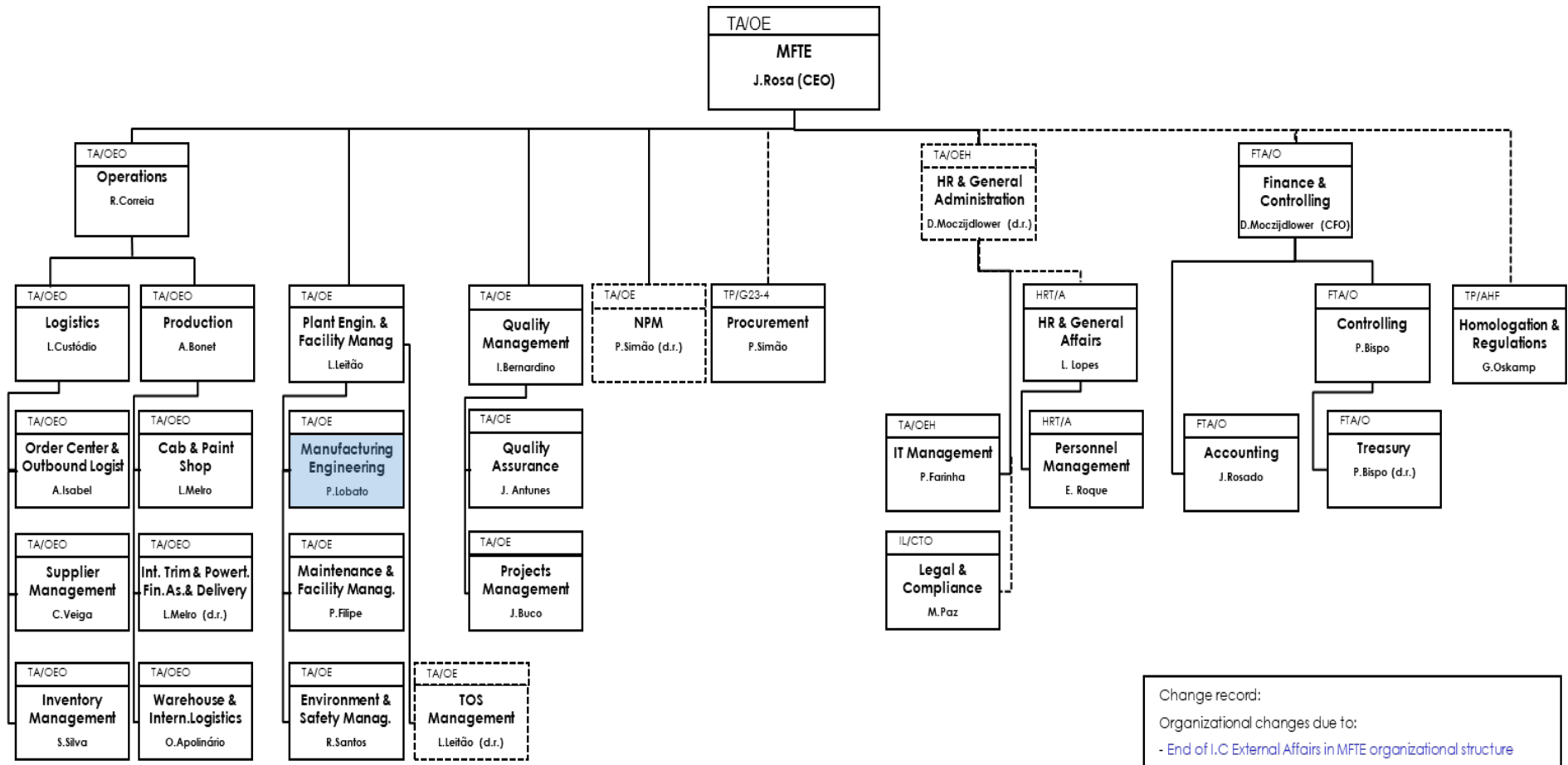


Figura A. 1 Organigrama da Organização

ANEXO II – LAYOUT DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

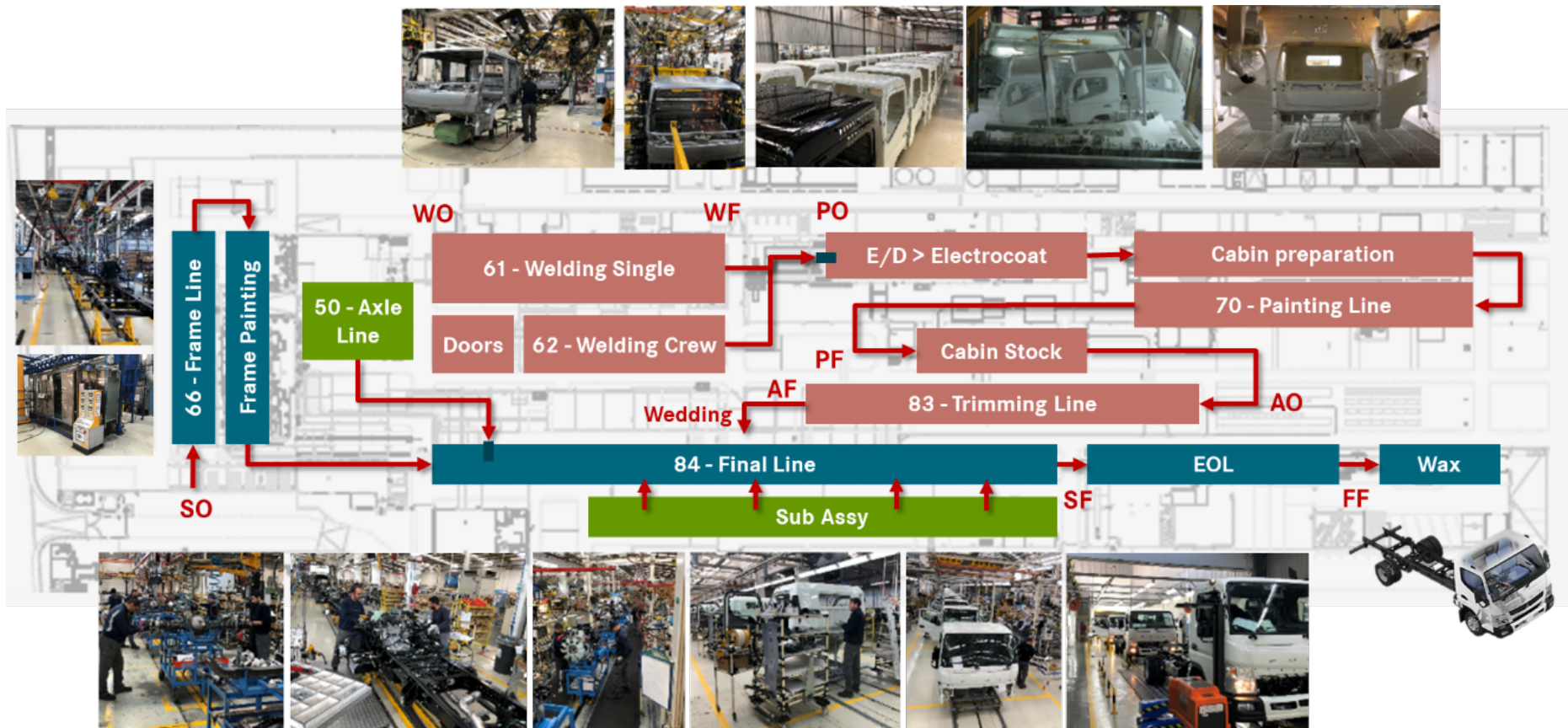


Figura A. 2 Layout do Sistema de Produção

ANEXO III – CONSTRANGIMENTOS NA ELABORAÇÃO DO PLANO DE PRODUÇÃO



TRAMAGAL Plant | Production Capacity & Constraints to be considered in Production Plan creation
Takt Time 30 u/ dia ver.0 2020.07.15 me@mte

	CiW	Painting	Trimming	Frame	Axle Line	B-Line	Final Line	eBOX	Sub Assy	EOL	1h extra-time
1. 4X4 MODELS				2 / dia					2 / dia		
BRKT RR Body				7 BU seguidos sem opção antes do F3							
4WD - ATG - EXHAUST SYSTEM					de 12 em 12 (pernos cubos)				de 12 em 12 (de 5 em 5)		
2. Double Cab	2 / dia	2 / dia	2 / dia				2 / dia				
	15 em 15		15 em 15								
3. eCarter			3 / dia	3 / dia			3 / dia	2 / dia			
			8 em 8 (apolo spare)				8 em 8				
4. Wheelbase											
K							Chacals longos (K&H) não seguidos e antecedidos e sucedidos de curtos (B&C)			Máx 2 seguidos	
H											
B & C							3 em 3 (+80" escape)				
5. OPTIONS											
PTO									10 / dia 3 em 3		+3
Double Fuel Tank							2 / dia (não seguidos, apolo spare)				
Dual A/C							2 / dia (apolo Capre)				
BRKT RR Body (opt FK)				7 BU seguidos sem opção FK antes dos eC e 4x4							
BRKT Doors	5 BU / dia										
5. COLOURS		30 / dia									
Single White		23									
W-Cab White		1									
Single Special		5									
W-Cab Special		1									

max 2 in row

Em avaliação a) túnel com tempo acima do takt time devido a novas operações não consideradas nas FTP (pro info) b) transfeço do chassis do forno p/ B-line
c) W-Cab (sub) + Windshield d) rotação de chassis e, consequentemente postos 10 & 11 da linha

Notas: a) algumas limitações relativas aos modelos de Marrocos não foram consideradas b) Médio PTO em 12 u/ dia

Figura A. 3 Constrangimentos no Plano de Produção

ANEXO IV – PLANO DE PRODUÇÃO DOS FK E 4x4

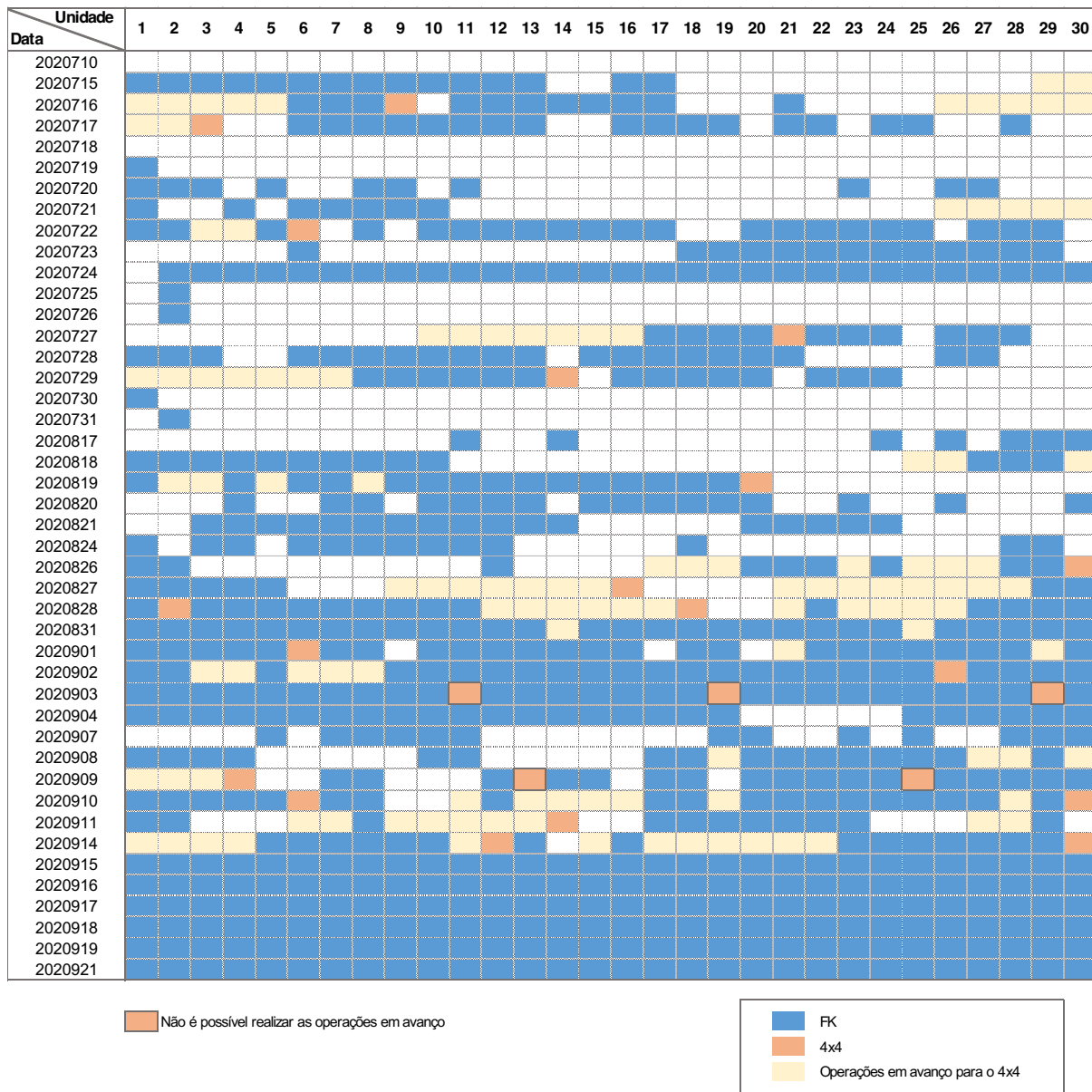


Figura A. 4 Plano de Produção FK e 4x4

APÊNDICE I – ANÁLISE DE TAREFAS DA LINHA FINAL

				Euro 5 CO2																		
				N1																		
				3.5t																		
				Narrow								2WD										
				Single				Wide				W/Cab										
				5M/T		6AMT		5M/T		6AMT		5M/T		6AMT								
				FEA01				FEB01				FEB01										
				Dual				Dual				Dual										
				B	C	E	B	C	E	B	C	E	G	B	C	E	G	B	C	E	E	E
				FEA01B5	FEA01C4S	FEA01E5	FEA01B3S	FEA01C3S	FEA01E3S	FEB01B4S	FEB01C4S	FEB01E4S	FEB01G4S	FEB01B3S	FEB01C3S	FEB01E3S	FEB01G3S	FEB01B4W	FEB01C4W	FEB01E4W	FEB01E3W	FEB01E3W
				14634	14694	14405	14835	16777	16400	16812	16908	14451	16641	16792	17020	16839	16853	17142	18258	17552	17552	17552
8406TR	RH	RH	14	Móvel	-ALL	4	Ligação da barra estabilizadora traseira															
8406TR	RH	RH	14	Móvel	-ALL	5	Aplicar binário na barra estabilizadora traseira Régua/Eixo															
8406TR	RH	RH	14	Móvel	ALL	6	Montar amortecedor traseiro															
8406TR	RH	RH	16	Móvel	-ALL	7	Montar suporte batentes molas LH (FGB)															
8406TR	LH	LH	2	Móvel	-ALL	5	Fixação mola posição traseira FEA01															
8406TR	LH	LH	14	Móvel	-ALL	6	Ligação da barra estabilizadora traseira															
8406TR	LH	LH	14	Móvel	-ALL	7	Aplicar binário na barra estabilizadora traseira Régua/Eixo															
8406TR	LH	LH	14	Móvel	ALL	8	Montar amortecedor traseiro															
8406TR	LH	LH	16	Móvel	-ALL	9	Montar suporte batentes molas RH (FGB)															
8406FR	RH	RH	9	Móvel	ALL	2	Montar união do tubo embriagem															
8406FR	RH	RH	4	Móvel	ALL	3	Montar tubos metálicos travão															
8406FR	RH	RH	8	Móvel	ALL	4	Montar tubo metálico travão da roda frente esquerda															
8406FR	RH	RH	8	Móvel	ALL	5	Montar clip separador tubos metálicos travão, travessa n°1															
8406FR	RH	RH	11	Móvel	-ALL	6	Montar clip na cablagem das pastilhas															
8406FR	RH	RH	11	Móvel	-ALL	7	Montar amortecedor dianteiro															
8406FR	RH	RH	9	Móvel	-ALL	8	Montar bráts radiador no eixo frente (IFS)															
8406FR	RH	RH	9	Móvel	-ALL	15	Ligação da barra estabilizadora dianteira															
8406FR	RH	RH	16	Móvel	-ALL	16	Montar cover do radiador															
8406FR	LH	LH	7	Móvel	OPT	4	Montar suportes travessa n°1															
8406FR	LH	LH	11	Móvel	-ALL	5	Montar amortecedor dianteiro															
8406FR	LH	LH	9	Móvel	-ALL	6	Montar bráts radiador no eixo frente (IFS)															
8406FR	LH	LH	11	Móvel	-ALL	13	Ligação da barra estabilizadora dianteira															
8406FR	LH	LH	16	Móvel	-ALL	14	Montar cover do radiador															
8406RH	RH	RH	2	Móvel	ALL	2	Movimentar caros amarelos para linha final															
8406RH	RH	RH	7	Móvel	ALL	3	Montar suporte cablagem chassi na travessa frente															
8406RH	RH	RH	7	Móvel	ALL	4	Montar BRKT do Radar															
8406RH	RH	RH	7	Móvel	ALL	5	Montar suportes tubos travão e cablagem chassi na travessa frente															
8406RH	RH	RH	7	Móvel	ALL	6	Montar tubo metálico travão roda frente direita, interior longarina															
8406RH	RH	RH	7	Móvel	ALL	7	Montar sub-montagem unidade hidráulica abs															
8406RH	RH	RH	11	Móvel	ALL	8	Aplicar binário na ligação dos tubos metálicos de travão à unidade hidráulica de abs															
8406RH	RH	RH	9	Móvel	ALLDIF	9	Montar sub-montagem tubos flexíveis de travão na travessa n°1															
8406RH	RH	RH	10	Móvel	-ALL	10	Aplicar BIN molas/brincois eixo frente (RIG)															
8406RH	RH	RH	10	Móvel	-ALL	11	Aplicar BIN barra estab FR															
8406RH	RH	RH	10	Móvel	-ALL	12	Montar suportes refrigeração e filtro ar															
8406RH	RH	RH	11	Móvel	-ALL	13	Montar tubo TF controlo na longarina FG															
8406RH	RH	RH	11	Móvel	-ALL	14	Montar bráts para DUAL AC															
8406RH	RH	RH	11	Móvel	-ALL	15	Montar suporte deposito vacuo															
8406RH	RH	RH	11	Móvel	-ALL	16	Montar esquadros tf gearshift controlos FG															
8406RH	RH	RH	11	Móvel	-ALL	17	Montar esquadro Surge Tank na longarina FG															
8406RH	RH	RH	14	Móvel	-ALL	18	Aplicar BIN mola posição traseira FEA01															
8406RH	RH	RH	14	Móvel	-ALL	19	Aplicar binário na barra estabilizadora traseira Pendular/Longarina															
8406RH	RH	RH	14	Móvel	-ALL	20	Aplicar BIN mola posição traseira FEA01															
8406RH	RH	RH	14	Móvel	-ALL	21	Aplicar binário na barra estabilizadora traseira Pendular/Longarina															

Figura A. 5 Análise de Tarefas da Linha Final

APÊNDICE II – SITUAÇÃO INICIAL DO BALANCEAMENTO

POSTOS DO LADO DIREITO (RH)

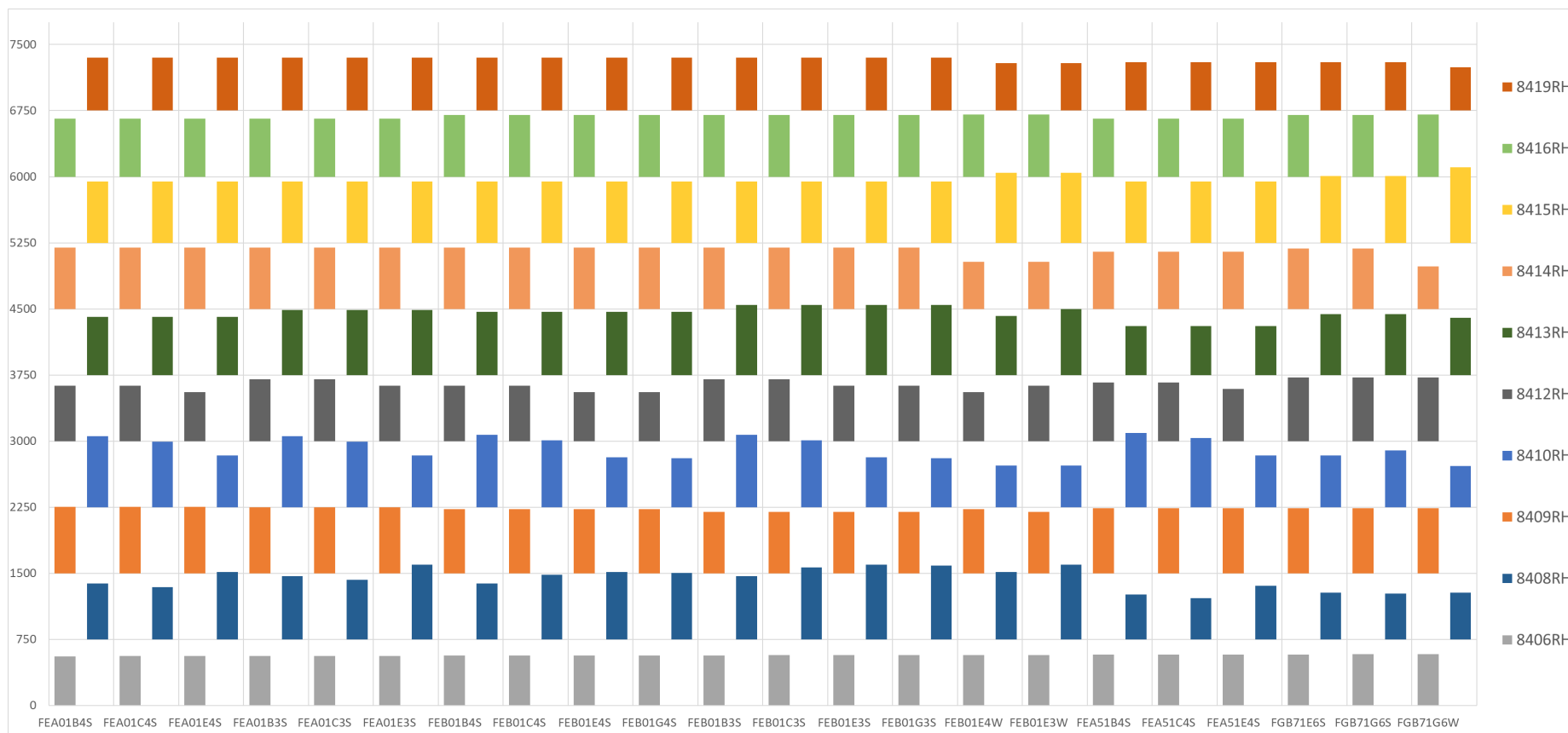


Figura A. 6 Situação Inicial Lado Direito

POSTOS DO LADO ESQUERDO (LH)

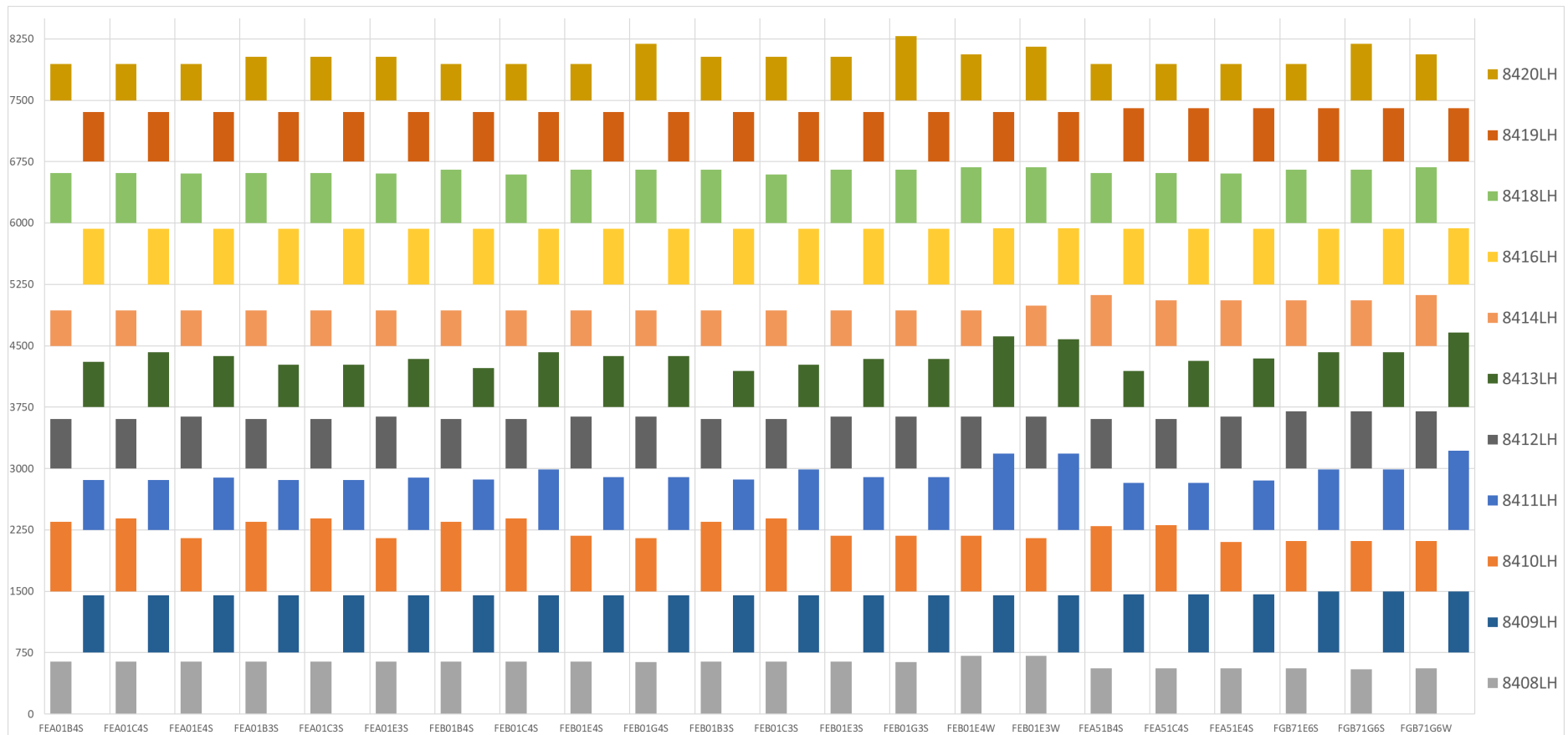


Figura A. 7 Situação Inicial Lado Esquerdo

APÊNDICE III – ANÁLISE DE ACORDO COM O PLANO DE PRODUÇÃO

Tabela A. 1 Análise postos de trabalho segundo o plano de produção

Posto de Trabalho		>750		675 < x ≤ 750		615 < x ≤ 675		≤ 615	
8406TR	RH	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1335	100,0%
8406TR	LH	0	0,0%	0	0,0%	347	26,0%	988	74,0%
8406FR	RH	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1335	100,0%
8406FR	LH	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1335	100,0%
8406RH	RH	0	0,0%	0	0,0%	37	2,8%	1298	97,2%
8408RH	RH	195	14,6%	341	25,5%	371	27,8%	428	32,1%
8408LH	LH	0	0,0%	49	3,7%	659	49,4%	627	47,0%
8409RH	RH	326	24,4%	889	66,6%	0	0,0%	120	9,0%
8409LH	LH	0	0,0%	1215	91,0%	0	0,0%	120	9,0%
8410RH	RH	549	41,1%	101	7,6%	45	3,4%	640	47,9%
8410LH	LH	650	48,7%	333	24,9%	60	4,5%	292	21,9%
8411LH	LH	55	4,1%	315	23,6%	215	16,1%	750	56,2%
8412RH	RH	0	0,0%	96	7,2%	844	63,2%	395	29,6%
8412LH	LH	0	0,0%	20	1,5%	545	40,8%	770	57,7%
8413RH	RH	59	4,4%	553	41,4%	534	40,0%	189	14,2%
8413LH	LH	55	4,1%	110	8,2%	331	24,8%	839	62,8%
8414RH	RH	0	0,0%	679	50,9%	466	34,9%	190	14,2%
8414LH	LH	0	0,0%	0	0,0%	27	2,0%	1308	98,0%
8415RH	RH	90	6,7%	1125	84,3%	0	0,0%	120	9,0%
8416RH	RH	18	1,3%	781	58,5%	416	31,2%	120	9,0%
8416LH	LH	0	0,0%	1212	90,8%	0	0,0%	123	9,2%
8417IN	IN	3	0,2%	81	6,1%	791	59,3%	460	34,5%
8418LH	LH	0	0,0%	183	13,7%	446	33,4%	706	52,9%
8419FR	FR	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1335	100,0%
8419RH	RH	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1335	100,0%
8419LH	LH	0	0,0%	0	0,0%	507	38,0%	828	62,0%
8420LH	LH	171	12,8%	90	6,7%	2	0,1%	1072	80,3%

Tabela A. 2 Disponibilidade Postos de Trabalho**Março de 2020**

		Tempo Produtivo	Tempo Disponível	Disponibilidade
8406TR RH	RH	18347	27780	66%
8406TR LH	LH	22394	27780	81%
8406FR RH	RH	16459	27780	59%
8406FR LH	LH	18332	27780	66%
8406RH	RH	20334	27780	73%
8408RH	RH	24768	27780	89%
8408LH	LH	22496	27780	81%
8409RH	RH	26621	27780	96%
8409LH	LH	25847	27780	93%
8410RH	RH	25233	27780	91%
8410LH	LH	28204	27780	102%
8411LH	LH	24346	27780	88%
8412RH	RH	22976	27780	83%
8412LH	LH	23135	27780	83%
8413RH	RH	25243	27780	91%
8413LH	LH	22426	27780	81%
8414RH	RH	24693	27780	89%
8414LH	LH	17982	27780	65%
8415RH	RH	26043	27780	94%
8416RH	RH	25531	27780	92%
8416LH	LH	25227	27780	91%
8417IN	IN	23665	27780	85%
8418LH	LH	23525	27780	85%
8419FR	FR	19685	27780	71%
8419RH	RH	21400	27780	77%
8419LH	LH	23132	27780	83%
8420LH	LH	19703	27780	71%

APÊNDICE IV – PLANO DE PRODUÇÃO CONSOANTE O COMPRIMENTO DO CHASSIS

Data	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
2020715	E	E	E	C	C	C	K	C	C	C	E	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	E	C	C	E	E	C				
2020716	C	C	C	G	E	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	E	E	E	E	E	H	H	E	E	K	B	C	C	C		
2020717	C	C	E	C	C	C	G	C	K	B	K	E	C	B	B	C	C	B	B	B	B	B	E	B	C	C	K	E	B	B		
2020720	B	B	C	B	B	E	B	B	B	B	B	G	B	B	C	E	G	C	G	E	G	E	B	E	H	C	C	C	C	C		
2020721	E	C	E	C	C	C	E	C	C	E	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	E	E	H	E	G	H	G		
2020722	C	H	H	H	H	B	B	E	C	C	C	C	E	G	E	G	H	G	C	C	C	B	C	E	C	E	E	E	E	E		
2020723	E	G	E	G	G	B	C	C	C	B	B	E	E	C	E	K	E	K	G	E	E											
2020724	C	C	H	E	G	E	H	E	G	C	H	E	E	E	E	E	G	C	C	B	C	C	C	C	C	C	E	C	E	E		
2020727	E	E	E	E	E	E	K	G	G	G	H	K	E	C	E	B	B	B	C	C	C	E	C	E	H	K	C	B	H			
2020728	E	H	G	E	G	H	G	G	E	K	G	G	G	G	G	G	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	H	K	G	K	H	
2020729	C	H	E	G	E	E	H	E	E	E	E	E	E	E	E	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B		
2020819	G	G	C	G	C	E	E	E	E	E	E	E	B	E	E	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B	B	
2020820	B	B	B	E	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	E	G	G	E	B	E	E	E	E	E	G	E	C	E	K		
2020821	E	C	C	C	C	C	E	C	E	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	G	G	C	C	E	C	E	
2020824	C	B	B	C	C	C	C	C	H	E	K	E	E	G	E	E	E	E	E	E	E	E	E	B	K	B	C	H	K	H		
2020825	C	C	C	B	E	B	B	B	H	B	B	B	G	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	B	K	B	C	H	K	H		
2020826	C	C	C	C	B	B	C	C	C	E	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
2020827	B	B	B	B	B	B	E	E	E	C	C	C	G	B	G	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	B	
2020828	G	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
2020831	B	B	B	B	E	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	K	C	C	E	C	C	C	B	C	C	C	C	K	C		
2020901	C	C	C	C	C	C	G	C	C	B	B	C	C	E	C	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
2020902	C	C	B	C	C	C	E	C	C	C	C	K	C	G	C	E	C	C	G	G	C	G	G	C	G	E	E	E	E	K	B	
2020903	G	G	G	E	E	K	C	C	G	E	G	G	G	G	G	G	G	G	C	C	G	G	E	G	E	G	E	E	E	G	G	
2020904	G	E	C	C	B	G	G	G	G	H	E	E	G	E	C	E	B	B	B	B	G	G	G	E	E	E	E	E	E	G	G	
2020907	E	E	E	E	G	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	G	H	H	G	C	E	E	E	E	E	E	E	E	E	G	C	
2020908	C	C	C	C	C	G	C	C	B	B	B	B	B	C	C	E	C	C	C	E	E	E	E	C	E	C	E	C	E	G	H	
2020909	C	C	C	C	E	E	G	G	C	C	G	C	C	C	E	E	H	E	E	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	G	
2020910	B	B	B	B	E	E	E	G	C	C	G	G	E	B	K	B	B	B	E	E	E	H	G	E	E	E	E	E	E	E	E	
2020911	E	G	C	C	E	C	C	B	B	C	B	B	G	E	K	H	G	G	G	E	C	E	H	E	E	E	E	B	E	B		
2020914	G	B	B	B	B	E	E	E	G	G	H	G	H	B	E	C	E	B	G	E	E	B	B	B	C	E	B	B	B	B		
2020915	B	C	G	B	E	B	B	C	H	B	C	B	E	B	B	B	B	G	B	B	B	E	B	E	E	E	B	B	E	E		
2020916	E	B	B	C	E	B	B	B	E	B	B	B	E	E	C	C	B	E	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	E	
2020917	E	B	B	B	B	B	B	C	C	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	C	C	B	B	B	B	B	H		
2020918	H	B	B	B	B	C	C	H	H	H	H	H	H	H	H	H	C	E	C	E	E	C	E	B	C	C	C	E	E	E		
2020921	E	E	E	E	H	H	C	H	H	H	H	H	F	F	F	F	F	F	F	F	E	H	H	H	H	G	K	H	K	H	G	K
2020922	G	B	E	E	E	E	G	K	K	K	K	K	K	B	B	H	H	H	G	H	B	B	B	B	B	B	B	B	E	E	E	
2020923	E	B	B	B	B	B	B	B	B	B	E	B	B	B	C	C	E	E	C	C	C	C	B	E	B	B	B	B	E	H		
2020924	C	E	E	C	B	B	E	C	E	E	B	B	C	G	G	G	E	G	G	E												

Figura A. 8 Plano de Produção consoante comprimento do chassis

APÊNDICE V – DIAGRAMA DE PRECEDÊNCIAS DA YAGURA

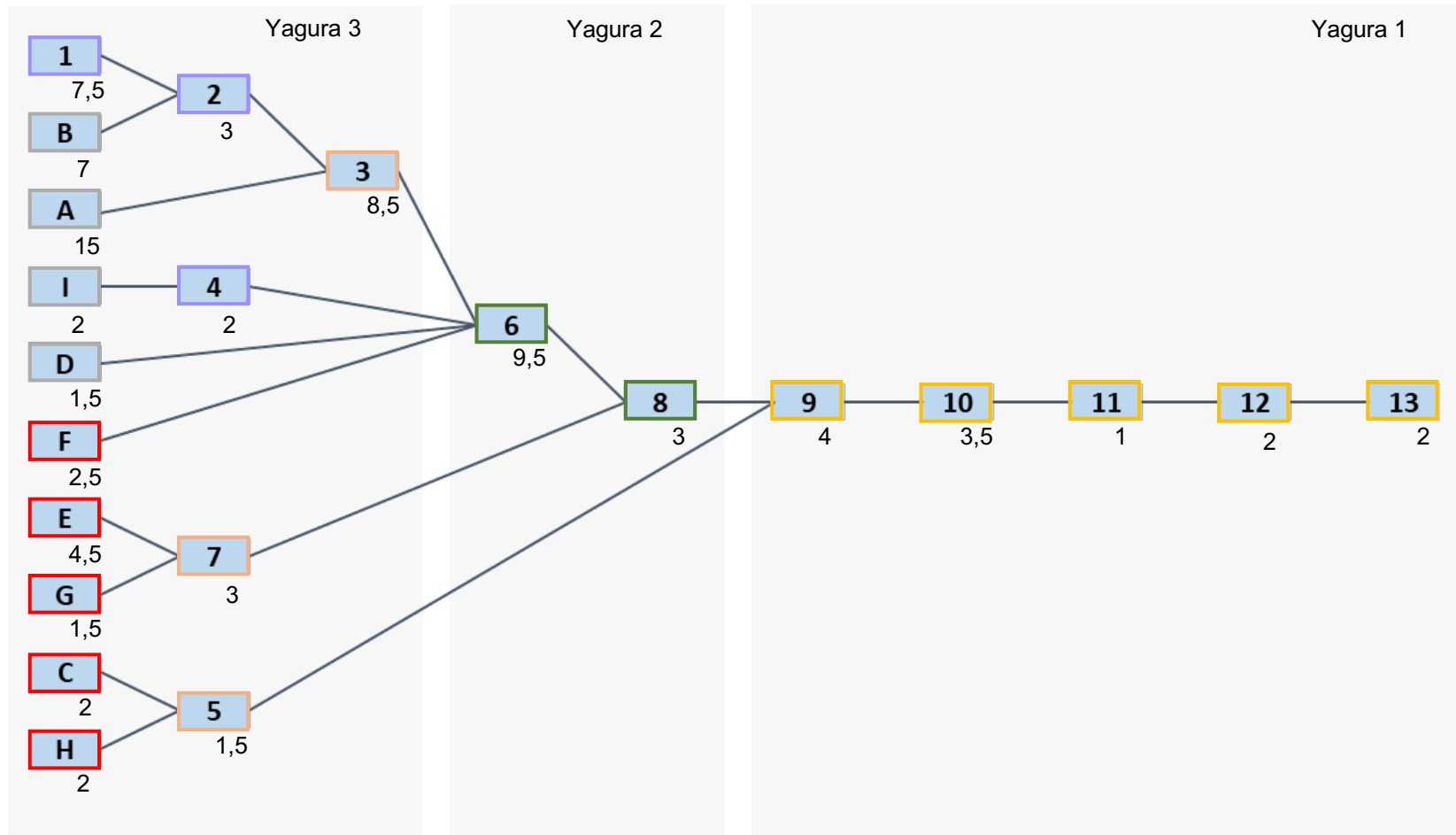


Figura A. 9 Diagrama de Precedências Yagura

APÊNDICE VI – DIAGRAMA DE GANTT PARA A YAGURA

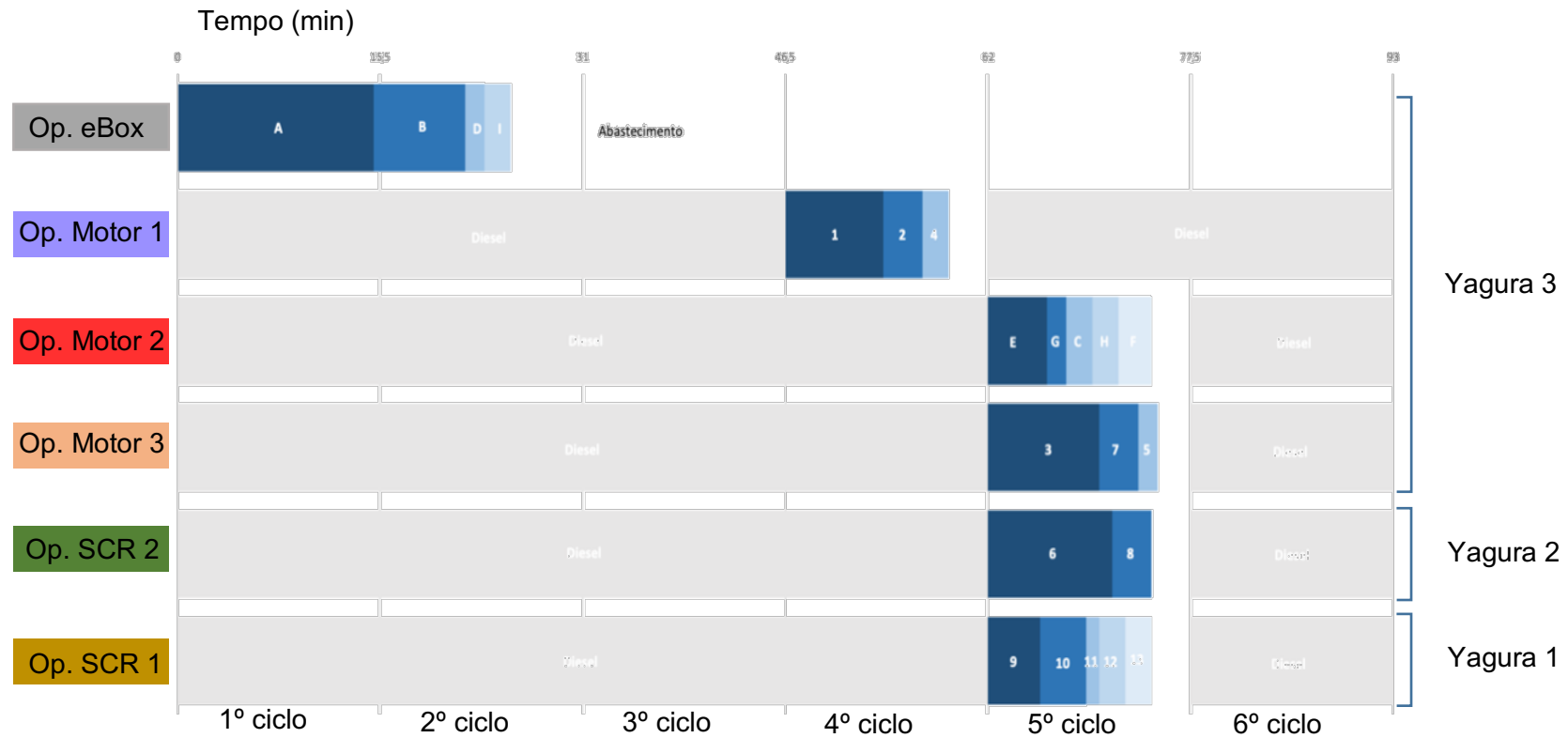


Figura A. 10 Diagrama de Gantt Yagura