



Helena Isabel de Matos Gaspar

Licenciada em Ciências de Engenharia Mecânica

**Melhoria de um Processo de Montagem numa
Empresa de Componentes Eletrónicos**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientadora: Professora Doutora Helena Victorovna Guitiss Navas,
Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor João Manuel Vicente Fradinho

Arguente: Professora Doutora Ana Paula Filipe Tomé

Vogal: Professora Doutora Helena Victorovna Guitiss Navas

Melhoria de um Processo de Montagem numa Empresa de Componentes Eletrónicos

Copyright © Helena Isabel de Matos Gaspar, 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

Em primeiro lugar, agradeço à organização Visteon Portuguesa, Ltd. por me ter proporcionado a realização de um estágio curricular conducente à realização da presente dissertação. A experiência revelou-se extremamente enriquecedora, tanto a nível profissional como pessoal. Agradeço particularmente à equipa de Engenharia Industrial, onde fui integrada e onde tive a oportunidade de desenvolver o meu trabalho. Obrigada pela paciência demonstrada no esclarecimento de todas as minhas dúvidas, pela boa disposição e pelo acompanhamento ao longo do estágio. Agradeço também ao Engenheiro Valeriano Vicente pelo seu contributo fundamental na concretização do meu trabalho. Agradeço ainda a todos os colaboradores da Visteon Portuguesa, Ltd. que tive a oportunidade de conhecer e que amavelmente me receberam e transmitiram valiosos conhecimentos.

Agradeço à minha orientadora científica, a Professora Doutora Helena Navas, pela disponibilidade imediata que sempre demonstrou, bem como pela orientação durante a elaboração da dissertação. Obrigada pela confiança e sabedoria transmitidas.

À minha mãe, Helena Gaspar, e ao meu pai, João Paulo Gaspar, obrigada pela educação que me proporcionaram e por toda a motivação transmitida. Obrigada pelo apoio incondicional e carinho demonstrados ao longo de toda a minha vida. À minha restante família, obrigada por todo o apoio e por me terem permitido chegar até este ponto.

Aos meus grandes amigos, Ana Margarida Alegria, Carla Gomes, Cristophe Brasil, Daniela Duarte, Inês Delgado, Inês Umbelino, Mafalda Lopes, Mariana Gamas, Marta Fidalgo, Sara Soares e Tiago Santos, obrigada pela verdadeira amizade e por todos os momentos de descontração e diversão proporcionados, sem os quais teria sido muito mais complicado concluir esta etapa da minha formação académica. Obrigada por toda a ajuda e por acreditarem sempre em mim.

Ao Gonçalo Madeira, obrigada pela paciência e carinho manifestados ao longo de todos estes anos, bem como pelo exemplo que é para mim. Obrigada pela constante preocupação e por me fazer acreditar nas minhas capacidades.

RESUMO

Face à globalização dos mercados e à concorrência crescente em diversos ramos de atividades económicas, as organizações sentem a necessidade de se manterem competitivas. Estas procuram aplicar novas técnicas e abordagens de gestão de processos, nomeadamente, ferramentas de gestão e controlo de processos produtivos, com o intuito de aumentar a produtividade e, por conseguinte, a sua eficiência operacional.

No caso concreto do setor das empresas que fabricam componentes eletrónicos para a indústria automóvel, caracterizado por uma concorrência internacional feroz, destaca-se a necessidade premente de reduzir custos e tempos de operações. Verifica-se ainda a necessidade de aplicar metodologias e abordagens inovadoras. Deste modo, estas tornam-se capazes de oferecer produtos com preços mais reduzidos, comparativamente aos preços praticados pelos concorrentes de mercado, sem que a qualidade dos mesmos diminua.

Neste contexto, surgiu a oportunidade de realizar um estágio curricular na Visteon Portuguesa, Ltd. conducente à realização da presente dissertação. O principal objetivo do estudo realizado consistiu na melhoria de um processo de montagem, visando concretamente o aumento da sua eficiência. O cumprimento do referido objetivo contribuiu para o aumento da competitividade da organização, tendo sido importante explorar metodologias que permitiram analisar detalhadamente os métodos de trabalho e quantificá-los. Nesta ótica, foi aplicada a análise substância-campo da metodologia TRIZ e conceitos de estudo do trabalho que, aliados à filosofia *Lean Manufacturing*, possibilitaram a identificação de oportunidades de melhoria e consequente eliminação de desperdícios.

O estudo realizado permitiu o cumprimento dos objetivos propostos, na medida em que se provou possível reduzir, aproximadamente, 11,00% da força de trabalho diária e aumentar a produtividade da célula de montagem em 14,40%, resultando numa poupança anual de €18.854,00. Face aos resultados atingidos, conclui-se que a eficiência da organização aumentou.

Palavras-chave: Estudo do trabalho, TRIZ, *Lean Manufacturing*, melhoria contínua, eficiência.

ABSTRACT

Many organisations need to remain competitive in an increasingly globalised and aggressive, ever-developing economy. As such, companies research and test out brand-new techniques and approaches to process management, namely management tools and control processes, in order to increase productivity and therefore operational efficiency.

With regards to companies assembling electronic components for the automotive industry, itself a sector with fierce international competition, their primary concern and focus is on the critical need to reduce costs and operation time, as well as on researching and applying new and unhackneyed methods and approaches. Thus, they become able to offer products at lower prices compared to their competitors, without any quality decrease.

The author had the opportunity to intern at Visteon Portuguesa, Ltd., leading to the writing of this dissertation, whose goal is to improve on the assembly process therein analysed. This essay is aimed at increasing productivity. Fulfilling the main goal promotes an increase in the organisation's productivity. As such, it was essential to explore methodologies that allow to analyse in detail the working methods and quantify them. This research therefore focuses on applying the substance-field analysis technique from the TRIZ method, as well as concepts and methods from the field of work studies, and combining them with Lean Manufacturing philosophy, allowing for the systematic identification and elimination of wastage.

This dissertation met the goals initially set out. Reducing the daily workforce by 11,00% and raising the productivity of the analysed assembly cell by 14,40% allows for €18,854.00 in savings. In view of these results, one can conclude an efficiency increase in this company.

Keywords: Work study, TRIZ, Lean Manufacturing, continuous improvement, efficiency.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

CAPÍTULO 1 - Introdução	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Motivação	2
1.3. Objetivos	2
1.4. Estrutura da dissertação	3
CAPÍTULO 2 – Enquadramento teórico	5
2.1. Teoria Inventiva de Resolução de Problemas (TRIZ).....	5
2.1.1. Caraterísticas	7
2.1.2. Conceitos fundamentais	7
2.1.3. Instrumentos analíticos.....	9
2.2. O estudo do trabalho e a produtividade	17
2.2.1. Estudo dos métodos.....	18
2.2.2. Estudo dos tempos.....	22
2.3. <i>Lean Manufacturing</i>	27
2.3.1. Princípios.....	31
2.3.2. Os sete desperdícios	32
2.3.3. Instrumentos analíticos.....	34
CAPÍTULO 3 – Apresentação e caraterização do caso de estudo	39
3.1. Caraterização geral da organização – Visteon Portuguesa, Ltd.	39
3.2. Apresentação do caso de estudo.....	39
3.2.1. Caraterização do sistema atual	39
3.2.2. Caraterização geral das operações de montagem	41
3.3. Metodologia de estudo	42
CAPÍTULO 4 – Análise do estado atual do processo de montagem.....	45
4.1. Descrição das operações de montagem.....	45
4.1.1. OP. 10 A/OP. 10 B.....	45
4.1.2. OP. 10 C	46
4.1.3. OP. 20.....	47

4.1.4. OP. 30.....	48
4.1.5. OP. 40.....	49
4.1.6. OP. 50.....	49
4.2. Registo e análise das frequências de abastecimento dos componentes.....	50
4.2.1. Abastecimento dos componentes montados no PT 1	51
4.2.2. Abastecimento dos componentes montados no PT 2	52
4.2.3. Abastecimento dos componentes montados no PT 3	52
4.2.4. Abastecimento dos componentes montados no PT 4	52
4.2.5. Abastecimento dos componentes montados no PT 5	53
4.2.6. Abastecimento dos componentes montados no PT 6	53
4.3. Cronometragem e análise dos tempos de operação.....	53
4.3.1. OP. 10 A/OP. 10 B.....	55
4.3.2. OP. 10 C e OP. 20	59
4.3.3. OP. 30.....	62
4.3.4. OP. 40.....	64
4.3.5. OP. 50.....	67
4.4. Síntese da análise do estado atual do processo de montagem.....	69
CAPÍTULO 5 – Procedimento de melhoria do processo de montagem	73
5.1. Aplicação da análise substância-campo na formulação de melhorias.....	73
5.1.1. Sistema atual	73
5.1.2. Introdução do campo 1 (C1).....	74
5.1.3. Introdução do campo 2 (C2).....	78
5.1.4. Introdução do campo 3 (C3).....	81
5.1.5. Modificação da substância 1 (S1)	81
CAPÍTULO 6 – Conclusões.....	85
6.1. Discussão de resultados	85
6.2. Trabalhos futuros	87
BIBLIOGRAFIA.....	89
ANEXOS	93

Anexo I – Folha de registos dos elementos cíclicos da operação OP. 10 C	93
Anexo II – Folha de registos dos elementos não cíclicos da operação OP. 10 C	94
Anexo III – Diagrama homem-máquina da operação OP. 10 A/OP. 10 B.....	95
Anexo IV – Diagrama homem-máquina das operações OP. 10 C e OP. 20.....	96
Anexo V – Diagrama homem-máquina da operação OP. 30.....	97
Anexo VI – Diagrama homem-máquina da operação OP. 40	98
Anexo VII – Diagrama homem-máquina da operação OP. 50	99
Anexo VIII – Diagrama homem-máquina da operação OP. 10 A/OP. 10 B (após as melhorias).....	100
Anexo IX – Diagrama homem-máquina das operações OP. 10 C e OP. 20 (após as melhorias).....	101
Anexo X – Diagrama homem-máquina da operação OP. 30 (após as melhorias).....	102
Anexo XI – Diagrama homem-máquina da operação OP. 50 (após as melhorias)	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1– Etapas da resolução de problemas	6
Figura 2.2 – Diagrama elementar da análise substância-campo	11
Figura 2.3 – Notação utilizada na análise substância-campo	12
Figura 2.4 – Sistema incompleto.....	13
Figura 2.5 – Sistema completo, insuficiente ou ineficiente	13
Figura 2.6 – Sistema completo com efeito prejudicial.....	13
Figura 2.7 – Solução geral 1.....	14
Figura 2.8 – Solução geral 2.....	15
Figura 2.9 – Solução geral 3.....	15
Figura 2.10 – Solução geral 4.....	15
Figura 2.11 – Solução geral 5.....	16
Figura 2.12 – Solução geral 6.....	16
Figura 2.13 – Solução geral 7.....	16
Figura 2.14 – Casa <i>Lean Manufacturing</i>	30
Figura 2.15 – Os sete desperdícios.....	32
Figura 2.16 – Metodologia 5S.....	35
Figura 3.1 – <i>Layout</i> atual da célula de montagem.....	40
Figura 3.2 – Metodologia de estudo.....	42
Figura 5.1– Sistema atual	74
Figura 5.2 – Introdução do campo 1 (C1)	74
Figura 5.3 – Introdução do campo 2 (C2)	78
Figura 5.4 – Introdução do campo 3 (C3)	81
Figura 5.5 – Modificação da substância 1 (S1).....	82

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Princípios inventivos	10
Tabela 2.2 – Parâmetros de engenharia.....	10
Tabela 2.3 – Metodologias utilizadas no âmbito do estudo dos métodos	19
Tabela 2.4 – Atribuição do fator de atividade de acordo com o ritmo da atividade.....	27
Tabela 4.1 – Análise do abastecimento dos componentes montados no PT 1	51
Tabela 4.2 – Análise do abastecimento dos componentes montados no PT 2	52
Tabela 4.3 – Análise do abastecimento dos componentes montados no PT 3	52
Tabela 4.4 – Análise do abastecimento dos componentes montados no PT 4	53
Tabela 4.5 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 10 A/OP. 10 B.....	56
Tabela 4.6 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 10 A/OP. 10 B.....	57
Tabela 4.7 – Análise dos elementos não cíclicos da operação OP. 10 A/OP. 10 B	58
Tabela 4.8 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 10 A/OP. 10 B	59
Tabela 4.9 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 10 C.....	59
Tabela 4.10 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 10 C.....	60
Tabela 4.11 – Análise dos elementos não cíclicos da operação OP. 10 C	60
Tabela 4.12 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 20.....	60
Tabela 4.13 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 20	61
Tabela 4.14 – Análise dos elementos não cíclicos da operação OP. 20.....	61
Tabela 4.15 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 10 C	61
Tabela 4.16 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 20.....	62
Tabela 4.17 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 30.....	63
Tabela 4.18 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 30	63
Tabela 4.19 – Análise dos elementos não cíclicos da operação OP. 30.....	64
Tabela 4.20 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 30.....	64
Tabela 4.21 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 40 (R1)	65
Tabela 4.22 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 40 (R1)	65
Tabela 4.23 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 40 (R2)	66
Tabela 4.24 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 40 (R2).....	66
Tabela 4.25 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 40 (R1)	67
Tabela 4.26 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 40 (R2)	67
Tabela 4.27 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 50.....	67
Tabela 4.28 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 50	68
Tabela 4.29 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 50.....	68
Tabela 4.30 – Tempos de operação do processo de montagem (estado atual).....	69
Tabela 4.31 – Resumo do estado atual do processo de montagem	70

Tabela 5.1 – Propostas de melhoria da operação OP. 10 A/OP. 10 B.....	76
Tabela 5.2 – Análise quantitativa das propostas de melhoria da operação OP. 10 A/OP. 10 B	77
Tabela 5.3 – Proposta de melhoria da operação OP. 10 C	77
Tabela 5.4 – Análise quantitativa da proposta de melhoria da operação OP. 10 C.....	77
Tabela 5.5 – Validação da dimensão da amostra para a melhoria da operação OP. 20	79
Tabela 5.6 – Proposta de melhoria da operação OP. 20.....	79
Tabela 5.7 – Análise quantitativa da proposta de melhoria da operação OP. 20	79
Tabela 5.8 – Proposta de melhoria da operação OP. 30.....	80
Tabela 5.9 – Análise quantitativa da proposta de melhoria da operação OP. 30	80
Tabela 5.10 – Proposta de melhoria da operação OP. 50 (R1)	82
Tabela 5.11 – Proposta de melhoria da operação OP. 50 (R2)	83
Figura 5.12 – Análise quantitativa da proposta de melhoria da operação OP. 50.....	83
Tabela 6.1 – Tempos de operação do processo de montagem baseados nas propostas de melhoria.....	85
Tabela 6.2 – Impacto das propostas de melhoria no processo de montagem.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS E SIGLAS

5W – *Five whys*

C – Campo

FA – Fator de atividade

GDL – Graus de liberdade

ISO – *International Organization for Standardization*

JIT – *Just In Time*

n – Dimensão da amostra (número de observações efetuadas)

N – Número de observações a realizar

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

OP. – Operação

OTS – *One Touch Setup*

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

PT – Posto de trabalho

S – Substância

SMED – *Single Minute Exchange of Die*

TC – Tempo de ciclo

TH – Tempo "homem"

TM – Tempo "máquina"

TMO – Tempo médio observado

TN – Tempo normal

TO – Tempo de operação

TP – Taxa de produção

TPM – *Total Productive Maintenance*

TPS – *Toyota Production System*

TRIZ – Teoria Inventiva de Resolução de Problemas

$t_{\alpha, n-1}$ – t de *Student*

WIP – *Work In Process*

x_i – n-ésima medição

SIMBOLOGIA

α – Nível de significância

σ – Desvio-padrão

CAPÍTULO 1 - Introdução

O intuito do presente capítulo é definir o âmbito da dissertação. Inicialmente, pretende-se contextualizar o estudo, bem como explicitar a motivação associada à escolha do tema. Este capítulo visa ainda a enumeração dos objetivos a atingir e a apresentação do modo como este documento se encontra estruturado e organizado.

1.1. Contextualização

A dimensão dos mercados e as suas dinâmicas, aliadas ao agravamento da crise económica e ao comportamento complexo dos clientes (Clark & Fujimoto, 1991), são motivos pelos quais as organizações sentem a necessidade de aumentar a sua flexibilidade de produção, de modo a operarem eficientemente e a manterem-se competitivas (Niebel & Freivalds, 2003). Esta necessidade traduz-se na capacidade de oferecer produtos com preços mais reduzidos comparativamente aos preços praticados pelos concorrentes de mercado, sem que a qualidade dos mesmos diminua (Chase & Aquilano, 1995). Além disto, a redução de custos está diretamente relacionada com a diminuição da força de trabalho (Thor & Christopher, 1993) e com o aumento da produtividade (Niebel & Freivalds, 2003), tornando-se importante, face a esta realidade, que as organizações definam rigorosamente o seu planeamento estratégico (Meyers & Stewart, 2002).

Nesta perspetiva, a aplicação da filosofia *Lean Manufacturing* revela-se muito interessante e vantajosa, pois sugere a introdução de ferramentas distintas que visam a identificação sistemática e a conseqüente redução ou eliminação de desperdícios, numa ótica de melhoria contínua (Gupta & Jain, 2013). Por outro lado, aliado à nomeada filosofia, a utilização de ferramentas de estudo dos métodos e dos tempos é pertinente, de modo a tornar as indústrias e os seus processos produtivos mais eficientes (Meyers & Stewart, 2002). De facto, aquando da aplicação de conceitos de estudo do trabalho, é particularmente proeminente atuar em atividades críticas e em atividades que não acrescentam valor aos processos, com o intuito de maximizar a relação entre a produção e os recursos utilizados para a obter (Chase & Aquilano, 1995). Destaca-se ainda que, por vezes, os recursos tecnológicos atualmente existentes não conseguem fazer face à competitividade verificada nos mercados (Navas, 2017). Deste modo, o recurso a novas metodologias e ferramentas analíticas, entre elas a Teoria Inventiva de Resolução de Problemas (TRIZ), revela-se promissor perante a forte necessidade de gerar melhorias significativas, na medida em que a inovação sistemática é crucial para o aumento da eficiência das organizações.

No caso concreto das empresas que fabricam componentes eletrónicos para a indústria automóvel, a realidade descrita anteriormente também é aplicável, sendo que a satisfação dos requisitos do cliente é encarada como um indicador de sucesso das organizações. Neste contexto,

surgiu a oportunidade de realizar um estágio curricular na Visteon Portuguesa, Ltd., sendo o objeto de estudo deste trabalho um processo de montagem que é realizado numa célula da organização acima mencionada.

1.2. Motivação

A concretização deste estudo surgiu devido à necessidade apresentada pela Visteon Portuguesa, Ltd. de melhorar um dos processos de montagem realizados na referida organização, numa ótica de aumento de eficiência. A empresa procurou ainda que o estudo efetuado fosse ao encontro das políticas e normas aplicadas na organização.

Assim, dado que a satisfação dos requisitos do cliente é um dos principais focos da organização, é importante que esta preocupação seja articulada com os objetivos definidos para a qualidade. No âmbito da qualidade, a organização segue uma política rigorosa e exigente, em concordância com a norma ISO 9001. A política praticada pressupõe a melhoria contínua dos diversos processos produtivos, a prevenção de defeitos e a redução da variação e dos desperdícios na cadeia de abastecimento, assegurando, por conseguinte, a satisfação do cliente. A Visteon Portuguesa, Ltd. preocupa-se ainda em garantir que os processos produtivos e os resultados operacionais estejam alinhados com a estratégia definida pela mesma. Como tal, uma vez que esta procura atuar em conformidade com o parecer do cliente, do sistema, dos processos e dos produtos, de modo a atingir os níveis de excelência operacional previamente definidos, tornou-se relevante estudar detalhadamente um dos processos de montagem realizados na organização, procurando melhorá-lo.

1.3. Objetivos

O objetivo fulcral do presente estudo é o aumento da eficiência do processo de montagem de um painel de instrumentos, denominado produto *Sample A*. Pretende-se que sejam apresentadas propostas de melhoria do processo, sendo que a aplicação das mesmas deve fomentar o cumprimento do objetivo enunciado.

O produto *Sample A* é processado numa célula de montagem da Visteon Portuguesa, Ltd. e, devido ao atual volume de produção, todas as oportunidades de melhoria identificadas, por menores que sejam, apresentam um potencial impacto financeiro positivo. De facto, a redução de custos promove o aumento da eficiência do processo de montagem e, por conseguinte, da organização.

Importa ainda salientar que, de acordo com os requisitos expostos pela empresa, o cumprimento do objetivo proposto não deve incorrer em novos investimentos para a Visteon

Portuguesa, Ltd., pelo que as melhorias devem ser determinadas em concordância com condição definida.

1.4. Estrutura da dissertação

Este documento encontra-se dividido em seis capítulos.

O presente capítulo é um capítulo introdutório, que visa explicitar o âmbito do caso em estudo, pelo que o seu enquadramento deve ser realizado em primeira instância. Além disto, a sua relevância deve ser explicada, através da explicitação da motivação subjacente ao mesmo. Os objetivos devem ser clarificados e, por fim, deve ser apresentada a forma como este documento se encontra organizado, através da descrição da sua estrutura.

O segundo capítulo consiste no enquadramento teórico deste trabalho. A pesquisa bibliográfica é uma etapa crucial, na medida em que são detalhadas as ferramentas a utilizar na concretização do estudo, de modo a sustentá-lo. Neste caso, com o intuito de melhorar um processo de montagem, são explorados conceitos relacionados com o estudo do trabalho, com a filosofia *Lean Manufacturing* e com a metodologia TRIZ.

O terceiro capítulo introduz o caso em estudo, consistindo na apresentação da Visteon Portuguesa, Ltd. e na caracterização do processo de montagem. O referido capítulo visa ainda esquematizar a sequência de aplicação das metodologias utilizadas para o cumprimento do objetivo proposto.

No quarto capítulo é efetuada a análise do estado atual do processo de montagem, sendo esta baseada nos dados recolhidos. Após o registo dos dados, os mesmos são tratados e analisados com recurso a ferramentas e metodologias de estudo do trabalho.

No seguimento da análise crítica concretizada, no quinto capítulo são propostas melhorias ao processo de montagem. Estas propostas visam aumentar a eficiência do mesmo, na medida em que a produtividade deve aumentar e os custos no seio da organização devem ser reduzidos. Refere-se ainda que as propostas formuladas são sustentadas por conceitos teóricos expostos no segundo capítulo da presente dissertação.

Por último, no sexto capítulo são discutidos os resultados obtidos, bem como apresentadas as conclusões do estudo realizado. Além disto, uma vez que este estudo se encontra integrado numa ótica de melhoria contínua, é pertinente propor trabalhos futuros. O aumento da eficiência produtiva deve ser uma prioridade constante da organização, ou seja, a determinação de novas melhorias não deve estagnar, sendo que a Visteon Portuguesa, Ltd. deve procurar manter-se competitiva no mercado.

CAPÍTULO 2 – Enquadramento teórico

Sendo o objetivo primordial deste estudo a melhoria de um processo de montagem, a análise dos métodos de trabalho e a medição de tempos são áreas que devem ser aprofundadas, uma vez que estas possibilitam a identificação de oportunidades de aumento da produtividade. Além disto, numa ótica de melhoria contínua e visando a eliminação de tarefas não geradoras de valor, é relevante a aplicação dos princípios e ferramentas subjacentes à filosofia *Lean Manufacturing*. Salienta-se ainda que a Teoria Inventiva de Resolução de Problemas (TRIZ) auxilia na resolução de problemas identificados, promovendo a eliminação de contradições num sistema, pelo que o seu estudo se revela pertinente no âmbito deste trabalho.

Em suma, a redução ou eliminação de desperdícios em conjunto com o aumento da produtividade, têm um impacto significativo na diminuição de custos, possibilitando, assim, que as organizações se mantenham competitivas face aos seus concorrentes de mercado.

2.1. Teoria Inventiva de Resolução de Problemas (TRIZ)

Mediante a globalização dos mercados e o aumento da competitividade verificada no seio dos mesmos, as organizações procuram aplicar novas técnicas e abordagens de gestão de processos produtivos, com o intuito de aumentar a produtividade e, por conseguinte, a sua eficiência operacional. Destaca-se ainda que as organizações pretendem satisfazer a procura dos clientes de forma rápida e eficaz e garantir a melhoria contínua dos seus produtos e serviços (Navas & Machado, 2015a).

O aumento da eficiência operacional é, geralmente, alcançado através de melhorias nos processos produtivos. Porém, verifica-se que a melhoria dos recursos tecnológicos atualmente existentes não é suficiente para fazer face à competitividade dos mercados, pelo que as organizações necessitam de recorrer a novas metodologias e ferramentas analíticas que permitam implementar alterações significativas no respetivo universo. Assim, as iniciativas esporádicas de inovação devem dar lugar a atividades contínuas e planeadas. Em particular, a inovação deve deixar de ser vista como um momento de inspiração ou uma iniciativa descontínua e imprevisível, passando a ser encarada como uma atividade planeada e sistemática (Navas, 2017). Neste contexto, a partir de 1946, na Rússia, Genrich Altshuller desenvolveu a Teoria Inventiva de Resolução de Problemas (TRIZ) (Altshuller, 1995).

A teoria acima introduzida, usualmente designada pelo seu acrónimo, TRIZ, é considerada uma metodologia e consiste num conjunto de ferramentas analíticas que permitem a identificação de contradições em sistemas, bem como a formulação e solução de problemas através da eliminação ou diminuição das referidas contradições. De acordo com a figura 2.1, a metodologia

mencionada permite transformar um problema específico num problema genérico, sendo que a solução para o problema genérico é, posteriormente, transformada numa solução específica (Navas, 2017).

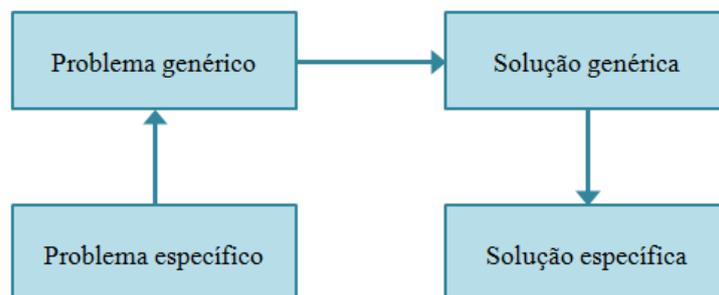


Figura 2.1– Etapas da resolução de problemas

(Adaptado de Navas, 2017)

Altshuller, ao estudar mais de um milhão de patentes, concluiu que a maioria dos problemas técnicos podem ser solucionados utilizando apenas alguns princípios de invenção. De acordo com Souchkov (2007), a sistematização das soluções identificadas por Altshuller permitiu dividi-las em cinco níveis distintos, entre eles:

- a) Nível 1 – O primeiro nível é composto por soluções de rotina, que são determinadas através da utilização de métodos bem conhecidos na respetiva área da especialidade. Este nível constitui cerca de 30% da totalidade das soluções existentes;
- b) Nível 2 – O nível 2 representa cerca de 45% das soluções identificadas por Altshuller e consiste na aplicação de pequenas correções a sistemas existentes, recorrendo a métodos conhecidos na indústria;
- c) Nível 3 – As melhorias relevantes que solucionam contradições em sistemas típicos de um determinado ramo industrial são agrupadas no nível 3 e representam, aproximadamente, 20% da totalidade de soluções. É no referido nível que se encontram as soluções criativas de projeto;
- d) Nível 4 – O quarto nível engloba as soluções baseadas na aplicação de novos princípios científicos e representa 4% das soluções identificadas por Altshuller;
- e) Nível 5 – Por último, as soluções inovadoras baseadas em descobertas científicas pertencem ao nível 5 e constituem menos de 1% da totalidade de soluções existentes.

Concretamente, a metodologia TRIZ auxilia na determinação de soluções dos níveis 3, 4 e 5, visto que, nos níveis mencionados, a aplicação de simples técnicas tradicionais de engenharia e de gestão não produz resultados significativos e positivos nos problemas identificados (Navas, 2013).

2.1.1. Características

Atualmente, as organizações inserem-se num ambiente que sofre alterações constantes, sendo que os seus objetivos financeiros são muito ambiciosos (Navas & Machado, 2015a). Não obstante, verifica-se que as soluções inovadoras formuladas no âmbito da metodologia TRIZ contribuem favoravelmente para o aumento da eficácia e eficiência das organizações e dos respetivos mercados (Navas, et al., 2015).

De acordo com Savransky (2000), a TRIZ é caracterizada como uma metodologia sistemática baseada no conhecimento e orientada para o ser humano, permitindo a resolução inventiva de problemas. Em particular, Savransky (2000) afirma que a metodologia TRIZ se baseia no conhecimento, visto que:

- a) O estudo de várias patentes em campos de engenharia distintos promove o conhecimento acerca da resolução genérica de problemas;
- b) Os efeitos descobertos em ciências naturais e de engenharia são utilizados na resolução de problemas;
- c) A área onde o problema ocorre é considerada.

Além disto, Savransky (2000) refere que se trata de uma metodologia orientada para o ser humano, porque o uso computacional não substitui o uso humano. De facto, a tecnologia atualmente existente não consegue fazer face às capacidades do ser humano aquando da resolução de problemas.

Savransky (2000) menciona ainda que a TRIZ é uma metodologia sistemática, pois possui métodos estruturados para orientar aquando da resolução de problemas, considerando como sistemas os modelos de situações problemáticas, a solução para esses problemas e o respetivo processo de solução.

Por último, Savransky (2000) menciona que a TRIZ é orientada para a solução inventiva de problemas, dado que é direcionada para a resolução de uma classe específica de problemas, nas quais existem contradições.

2.1.2. Conceitos fundamentais

A compreensão plena da metodologia TRIZ pressupõe que os respetivos conceitos fundamentais sejam conhecidos e bem definidos. De facto, a correta aplicação da metodologia mencionada requer que, em primeira instância, os seus conceitos fundamentais sejam compreendidos. No âmbito deste trabalho, revela-se pertinente explorar dois dos conceitos subjacentes à TRIZ, entre eles as contradições e os recursos.

2.1.2.1. Contradições

A metodologia TRIZ apresenta um conjunto de ferramentas analíticas que permitem a identificação de contradições. Designa-se por contradição todos os conflitos verificados em sistemas (Rantanen & Domb, 2002), sendo que as mesmas podem ser classificadas como contradições técnicas, contradições físicas ou contradições administrativas (Ilevbare, et al., 2011).

As contradições técnicas surgem quando se verificam conflitos entre dois parâmetros de um determinado sistema. Concretamente, quando um parâmetro é prejudicado pela tentativa de melhorar um outro parâmetro, considera-se a existência de uma contradição (Navas, 2017). Ilevbare, et al. (2011) acrescentam que a contradição enunciada anteriormente ocorre quando se cria ou se intensifica uma função útil num subsistema, traduzindo-se numa nova função prejudicial ou na intensificação de uma função prejudicial já existente noutra subsistema. Por outro lado, a referida contradição pode também ocorrer aquando da eliminação ou redução de uma função nociva, provocando a deterioração de uma outra função útil noutra subsistema.

As contradições físicas surgem quando existem requisitos inconsistentes para a condição física do mesmo sistema, isto é, simultaneamente à intensificação de uma função útil num subsistema, ocorre a intensificação de uma função negativa existente no mesmo subsistema. As contradições mencionadas sucedem quando existe uma redução de uma função negativa no subsistema, provocando, conseqüentemente, uma redução da função útil no mesmo subsistema (Ilevbare, et al., 2011)

Por último, Ilevbare, et al. (2011) referem que as contradições administrativas surgem quando se executa um processo no qual um fenómeno indesejado é acompanhado de um resultado desejado.

2.1.2.2. Recursos

A correta identificação e definição dos recursos de um sistema é fulcral para a obtenção de resultados fidedignos aquando da aplicação da metodologia TRIZ. A identificação de recursos caracteriza-se pela definição apropriada de quaisquer aspetos do sistema e do ambiente onde estes se encontram inseridos (Gadd, 2011).

Savransky (2000) acrescenta que os recursos podem ser agrupados de acordo com a seguinte classificação:

- a) Recursos naturais ou ambientais;
- b) Recursos do sistema;
- c) Recursos funcionais;

- d) Recursos de substância;
- e) Recursos energéticos/campo;
- f) Recursos temporais;
- g) Recursos espaciais;
- h) Recursos de informação.

Além da classificação apresentada anteriormente, visando a redução de custos de produção de recursos e a minimização de danos, de acordo com Savransky (2000), os recursos devem ser ordenados preferencialmente do seguinte modo:

- i) Recursos nocivos – Os recursos nocivos identificam funções nocivas ou objetos das quais é possível extrair benefícios;
- ii) Recursos prontamente disponíveis – Os recursos prontamente disponíveis são recursos livres disponíveis, sendo que estes que podem ser utilizados no seu estado atual;
- iii) Recursos provenientes – Os recursos provenientes consistem nos recursos que podem ser obtidos através da transformação de recursos livremente disponíveis e que não são úteis nos respectivos estados atuais;
- i) Recursos diferenciais – Os recursos diferenciais são recursos de identidades deriváveis, onde existem diferenças na estrutura ou nas propriedades das substâncias ou campos disponíveis.

2.1.3. Instrumentos analíticos

A metodologia TRIZ disponibiliza instrumentos analíticos que contribuem para o cumprimento do objetivo a que a mesma se propõe, ou seja, estes visam auxiliar a resolução de problemas, promovendo a eliminação de contradições num sistema. Na presente dissertação são explorados os conceitos subjacentes aos princípios de invenção e matriz de contradições, bem como a análise substância-campo.

2.1.3.1. Princípios de invenção e matriz de contradições

A matriz de contradições é um instrumento analítico da metodologia TRIZ, sendo esta constituída por quarenta princípios inventivos e trinta e nove parâmetros de engenharia (Navas, 2013b).

Considera-se que os princípios inventivos são heurísticas ou propostas de potenciais soluções para um determinado problema. Os referidos princípios foram obtidos através da generalização e conseqüente agrupamento de soluções repetidamente utilizadas na criação, desenvolvimento e melhoria de sistemas técnicos em diferentes áreas de atuação (Carvalho & Back, 2001) e são enumerados na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Princípios inventivos

Nº	Princípio inventivo	Nº	Princípio inventivo
1	Segmentação	21	Aceleração
2	Remoção	22	Transformação do prejuízo em lucro
3	Qualidade localizada	23	<i>Feedback</i>
4	Mudança de simetria	24	Intermediação
5	União ou consolidação	25	Autosserviço
6	Universalização	26	Cópia
7	Alinhamento	27	Objetos descartáveis
8	Contrapeso	28	Substituição dos meios mecânicos
9	Compensação prévia	29	Pneumática e hidráulica
10	Ação prévia	30	Membranas flexíveis e filmes finos
11	Proteção prévia	31	Materiais porosos
12	Equipotencialidade	32	Mudança de cor
13	Inversão	33	Homogeneização
14	Recurvação	34	Descarte e regeneração
15	Dinamização	35	Mudança de parâmetros e propriedades
16	Ação parcial	36	Mudança de fase
17	Outra dimensão	37	Expansão térmica
18	Vibração mecânica	38	Oxidantes fortes
19	Ação periódica	39	Atmosferas inertes
20	Continuidade de ação útil	40	Materiais compostos

Por outro lado, os parâmetros de engenharia correspondem a grandezas genéricas presentes em problemas técnicos de áreas distintas. As contradições existentes num determinado problema original devem ser transpostas em termos de um primeiro parâmetro de engenharia, o qual se deseja melhorar, e de um segundo parâmetro que, em contrapartida, piora em função da melhoria do primeiro (Carvalho & Back, 2001). Os parâmetros de engenharia encontram-se apresentados na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Parâmetros de engenharia

Nº	Parâmetro de engenharia	Nº	Parâmetro de engenharia
1	Peso do objeto móvel	21	Potência
2	Peso do objeto imóvel	22	Perda de energia
3	Comprimento do objeto móvel	23	Perda de substância
4	Comprimento do objeto imóvel	24	Perda de informação
5	Área do objeto móvel	25	Perda de tempo
6	Área do objeto imóvel	26	Quantidade de substância
7	Volume do objeto móvel	27	Confiabilidade
8	Volume do objeto imóvel	28	Precisão de medição
9	Velocidade	29	Precisão de fabricação
10	Força	30	Fatores prejudiciais que afetam o objeto
11	Esforço ou pressão	31	Fatores prejudiciais gerados pelo objeto

12	Forma	32	Facilidade de fabricação
13	Estabilidade da composição do objeto	33	Facilidade de operação
14	Resistência	34	Facilidade de reparo
15	Duração da ação do objeto móvel	35	Adaptabilidade ou versatilidade
16	Duração da ação do objeto imóvel	36	Complexidade do objeto
17	Temperatura	37	Dificuldade de detecção e medição
18	Intensidade/brilho da iluminação	38	Grau de automação
19	Energia gasta pelo objeto móvel	39	Produtividade
20	Energia gasta pelo objeto imóvel		

2.1.3.2. Análise substância-campo

Para além dos princípios de invenção e da matriz de contradições, no âmbito da metodologia TRIZ, destaca-se a análise substância-campo. A referida ferramenta analítica auxilia na identificação de problemas num determinado sistema técnico e encontra soluções inovadoras para os nomeados problemas, permitindo a esquematização dos sistemas através de uma abordagem gráfica (Navas, 2017).

Para definir um sistema técnico recorrendo à análise substância-campo, é necessário e suficiente a existência de um campo e de duas substâncias, tal como ilustrado na figura 2.2.

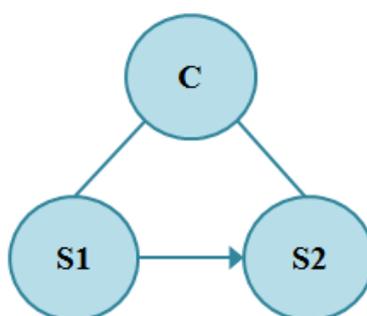


Figura 2.2 – Diagrama elementar da análise substância-campo

(Adaptado de Navas, 2017)

O termo substância (S) é utilizado na TRIZ para identificar um objeto material de qualquer nível de complexidade, isto é, uma substância pode ser um elemento único ou um sistema complexo. Uma substância age sobre outra substância para fornecer uma função. A função fornecida devido à interação entre substâncias pode ser benéfica, suficiente, ineficiente, ausente ou prejudicial (Savransky, 2000).

Por outro lado, o campo (C), que atua sobre as substâncias, pode ser mecânico, térmico, químico, elétrico ou magnético (Navas, 2014a).

Identificado o tipo de problema, deve aplicar-se a solução padrão mais adequada para corrigir quaisquer problemas identificados no sistema. A solução padrão consiste na alteração, remoção ou adição de substâncias ou campos (Navas, 2017). Refere-se ainda que, para a construção dos modelos substância-campo, utiliza-se a notação apresentada na figura 2.3.

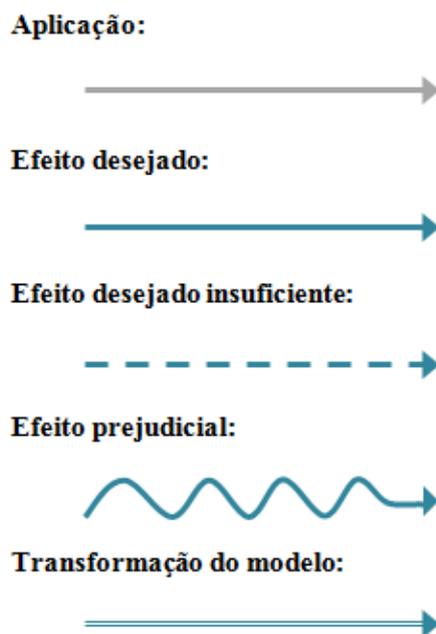


Figura 2.3 – Notação utilizada na análise substância-campo

Adicionalmente, a aplicação da metodologia TRIZ visa o seguimento das etapas enunciadas abaixo aquando da implementação da análise substância-campo (Navas, 2014a; Navas, 2014b):

- a) Identificação dos elementos disponíveis;
- b) Construção do modelo substância-campo e identificação da situação problemática;
- c) Seleção de uma solução genérica (solução-padrão);
- d) Desenvolvimento da solução específica.

No âmbito da análise substância-campo, podem ainda ser considerados quatro modelos básicos. O primeiro modelo identificado corresponde a um sistema completo (Navas, 2017), tal como esquematizado na figura 2.2. Por outro lado, o segundo modelo traduz-se num sistema incompleto. Perante a segunda situação enunciada, o sistema deve ser completado ou deve ser construído um sistema novo (Navas, 2017). A figura 2.4 ilustra um sistema incompleto, tal como apresentado seguidamente.

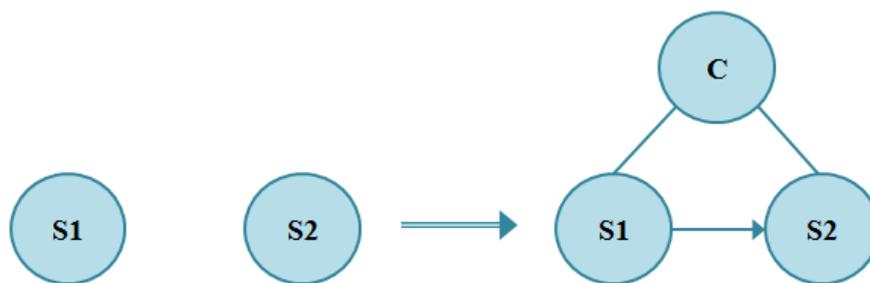


Figura 2.4 – Sistema incompleto

O terceiro modelo básico passível de ser identificado representa sistemas completos ineficientes ou insuficientes. Com o intuito de solucionar os referidos sistemas, é necessário modificar as substâncias, S1 ou S2, e o campo ou introduzir uma nova substância, de modo a melhorar o sistema e gerar o efeito desejado (Navas, 2017). O modelo descrito encontra-se na figura 2.5.

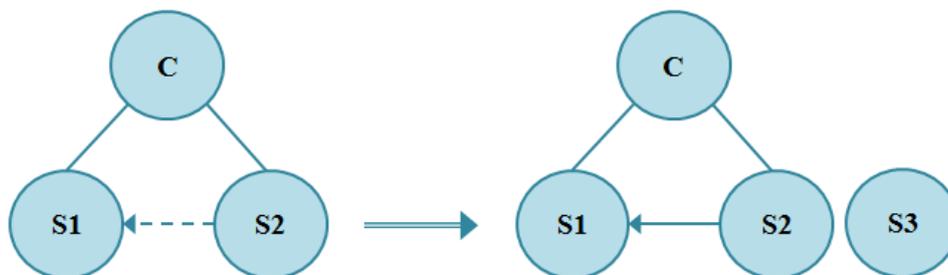


Figura 2.5 – Sistema completo, insuficiente ou ineficiente

Por último, o quarto modelo básico corresponde a um sistema completo com efeito prejudicial. De facto, verifica-se a existência de um efeito negativo que é necessário eliminar, através da criação de um novo campo ou de uma nova substância (Navas, 2017). O quarto modelo básico é ilustrado na figura 2.6.

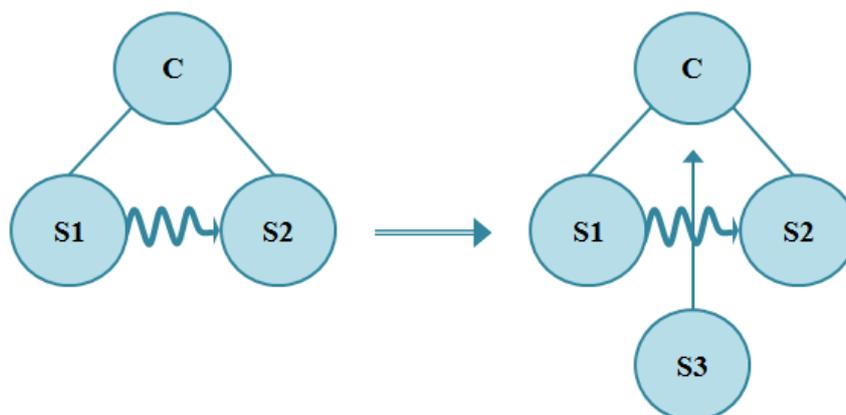


Figura 2.6 – Sistema completo com efeito prejudicial

Para além dos quatro modelos básicos passíveis de identificar na análise substância-campo, existem setenta e seis soluções-padrão distribuídas por cinco classes distintas (Miller, et al., 2001), entre elas:

- i) Classe 1 – Na classe 1 são agrupadas treze soluções-padrão que visam a melhoria de sistemas com nenhuma ou pequenas alterações;
- ii) Classe 2 – Quando um sistema é melhorado através da alteração do próprio sistema, considera-se que a solução-padrão utilizada pertence à classe 2, onde se encontram agrupadas vinte e três soluções-padrão;
- iii) Classe 3 – A transição de um sistema pertence à classe 3, onde se encontram reunidas seis soluções-padrão;
- iv) Classe 4 – A medição e deteção de um determinado parâmetro dentro de um sistema pertence à classe 4, na qual existem dezassete soluções-padrão;
- v) Classe 5 – As estratégias para a simplificação e melhoria de um sistema encontram-se englobadas na classe 5, sendo que na respetiva classe existem dezassete soluções-padrão agrupadas.

Por conseguinte, as setenta e seis soluções-padrão previamente classificadas podem ser condensadas em sete soluções gerais (Navas & Machado, 2015b). A solução geral 1 visa completar um modelo substância-campo que se encontre incompleto, tal como esquematizado na figura 2.7.

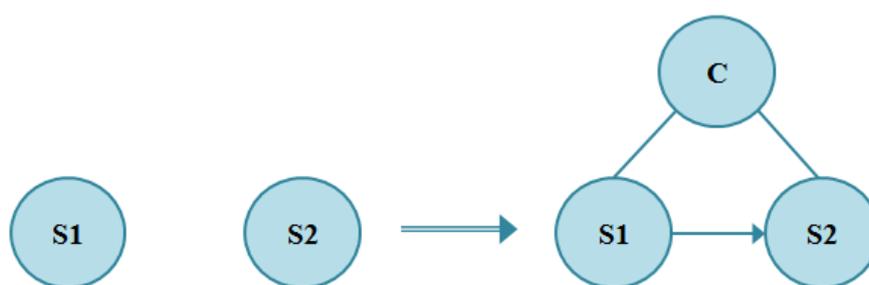


Figura 2.7 – Solução geral 1

Por outro lado, a solução geral 2 consiste na modificação da substância S1 com o intuito de reduzir/eliminar o impacto negativo ou para melhorar/produzir o impacto positivo (Navas, 2017), tal como apresentado na figura 2.8.

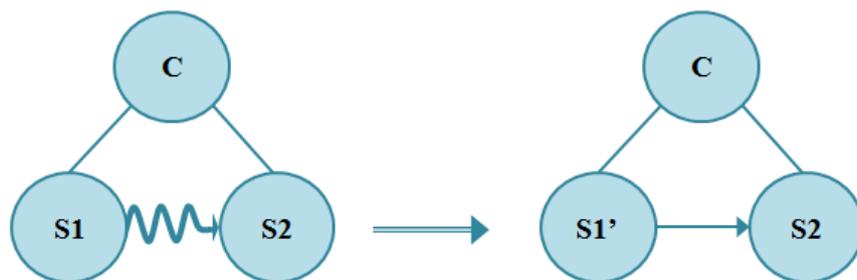


Figura 2.8 – Solução geral 2

Em terceiro lugar, apresenta-se a solução geral 3 que consiste na alteração da substância S2, de modo a reduzir/eliminar o impacto negativo ou para melhorar/produzir o impacto positivo (Navas, 2017), de acordo com a figura 2.9 apresentada seguidamente.

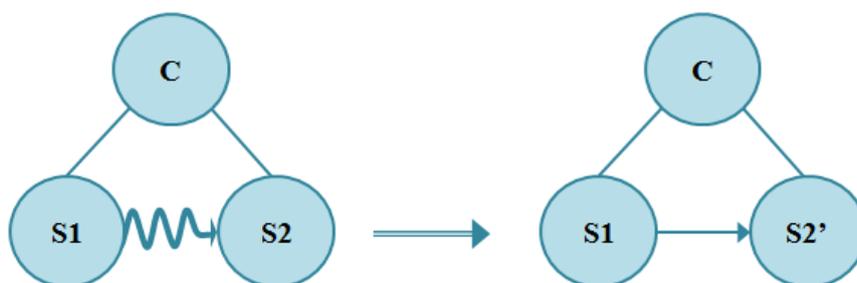


Figura 2.9 – Solução geral 3

A solução geral 4 consiste na modificação do campo (C) para reduzir/eliminar o impacto negativo ou para melhorar/produzir o impacto positivo (Navas, 2017), tal como apresentado na figura 2.10.

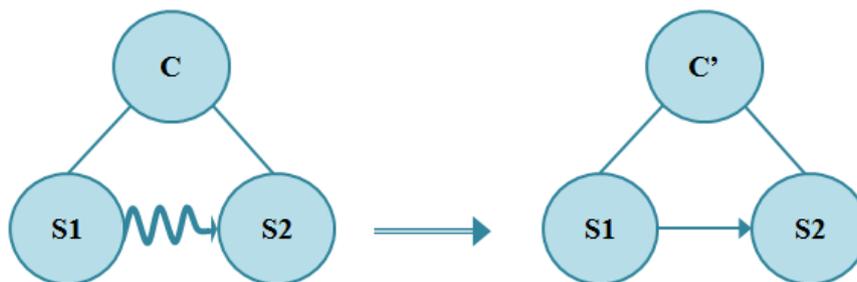


Figura 2.10 – Solução geral 4

A solução geral 5 visa eliminar, neutralizar ou isolar o impacto negativo, recorrendo a outro campo (C') que interaja com o sistema (Navas, 2017). Esta solução encontra-se apresentada na figura 2.11.

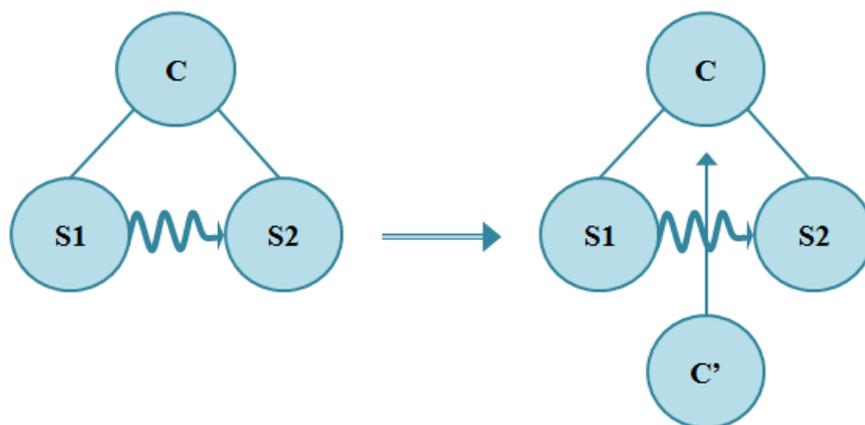


Figura 2.11 – Solução geral 5

A solução geral 6 consiste na introdução de um novo campo positivo (Navas, 2017). A referida solução geral encontra-se esboçada na figura 2.12.

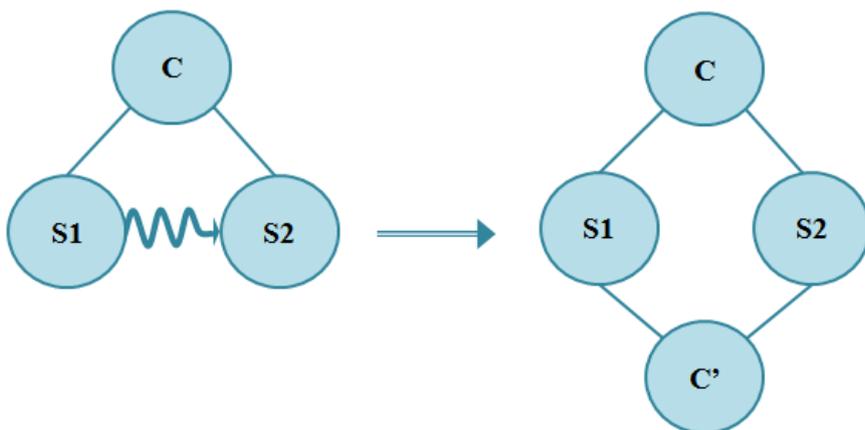


Figura 2.12 – Solução geral 6

Em último lugar, refere-se que a solução geral 7 consiste na expansão de um modelo substância-campo existente, obtendo, por conseguinte, um novo sistema em cadeia (Navas, 2017). A solução geral mencionada encontra-se apresentada na figura 2.13.

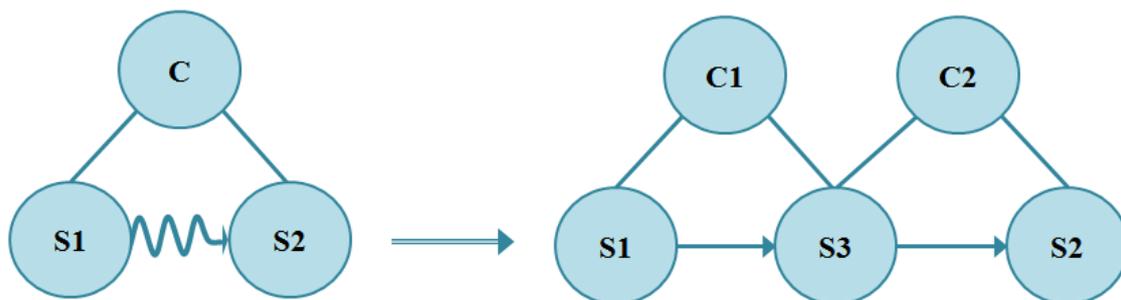


Figura 2.13 – Solução geral 7

2.1.3.3. Idealidade

Na metodologia TRIZ, a idealidade é a medida utilizada para aferir o quão perto um sistema se encontra da sua melhor solução para determinadas condições definidas (Savransky, 2000). Destaca-se ainda que o aumento da idealidade constitui um dos objetivos primordiais da referida metodologia.

De acordo com Navas (2017), a idealidade de um sistema é calculada através da expressão (2.1), tal como apresentado de seguida.

$$Idealidade = \frac{\Sigma Funções benéficas}{\Sigma (Funções prejudiciais + custos)} \quad (2.1)$$

Navas (2014b) acrescenta que é possível alcançar o máximo de idealidade aumentando as funções benéficas de um dado sistema ou reduzindo as funções prejudiciais. Por outro lado, Bligh (2006) refere que a idealidade surge como uma ferramenta de resolução de problemas, assim como um método de análise final de resultados.

2.2. O estudo do trabalho e a produtividade

A produtividade é usualmente abordada em conjunto com a competitividade, sendo que o aumento da primeira constitui um fator indispensável para atingir um nível elevado de competitividade (Chase & Aquilano, 1995). De acordo com Courtois, et al. (1997), um elevado grau de competitividade implica a redução de custos, um nível de qualidade indubitável, o cumprimento de prazos de entrega, a renovação de produtos cuja vida útil é curta e a adaptação à evolução dos produtos e das técnicas de fabrico.

Adicionalmente, por definição, a produção é a criação de bens e serviços (*outputs*) através de um conjunto de atividades que acrescentam valor, transformando os recursos utilizados (*inputs*) em *outputs* (Monks, 1987). Por conseguinte, o conceito de produtividade pode ser definido como uma relação entre os *outputs* e *inputs* (Thor & Christopher, 1993), sendo os recursos utilizados mão de obra, capital, materiais e energia (Chase & Aquilano, 1995). De acordo com Thor & Christopher (1993), a medida de produtividade total é determinada através da equação (2.2).

$$Produtividade = \frac{\Sigma Outputs}{\Sigma Inputs} \quad (2.2)$$

Salienta-se que a relação supramencionada deve ser maximizada (Niebel & Freivalds, 2003), visto que aumentar a produtividade significa que é possível produzir mais com igual quantidade de recursos ou produzir o mesmo com uma quantidade menor de recursos, diminuindo os custos e aumentando o lucro líquido por unidade produzida (ILO, 1984). Além disto, também é possível

determinar a medida de produtividade parcial, que relaciona os *outputs* apenas com um *input*, e a medida de produtividade multifator, expressa através de um rácio entre os *outputs* e mais do que um *input* (Thor & Christopher, 1993).

Neste contexto e numa ótica de aumento da produtividade, surge uma das disciplinas mais importantes em engenharia industrial – o estudo do trabalho. Visando a melhoria de processos produtivos, é imperativo explorar ferramentas de estudo do trabalho, de modo a tornar as organizações mais eficientes (Meyers & Stewart, 2002), pois estas procuram manter-se competitivas no mercado e obter lucro, através do aumento da produtividade (Niebel & Freivalds, 2003). No âmbito desta disciplina, podem ser consideradas duas áreas – o estudo dos métodos e o estudo dos tempos (ou medida do trabalho). Ambas as áreas se complementam e estão estreitamente relacionadas. As competências que lhes estão subjacentes são empregues quando se pretende estudar o trabalho efetuado pelo homem e estas implicam a análise sistemática de todos os fatores que afetam a eficácia e a economia da situação em estudo (ILO, 1984). De acordo com Buffa (1972), o estudo do trabalho permite desenvolver uma combinação ótima entre todas as variáveis envolvidas num processo. Em suma, a disciplina supracitada está diretamente relacionada com a produtividade, pois visa aumentar a produtividade sem que tal incorra em novos investimentos (ILO, 1984). Por último, de acordo com Meyers & Stewart (2002), a aplicação dos conceitos relativos às áreas mencionadas promove:

- a) A compreensão da natureza dos custos que estão na origem do trabalho, bem como a sua redução e controlo;
- b) O apoio à gestão na redução de custos desnecessários;
- c) O equilíbrio das células de trabalho, de modo a que os processos produtivos se desenvolvam agilmente;
- d) A melhoria das condições de trabalho;
- e) A motivação dos trabalhadores.

2.2.1. Estudo dos métodos

O estudo dos métodos consiste no registo e análise, de modo crítico e sistemático, dos métodos existentes e previstos para a execução de um trabalho (ILO, 1984). A aplicação dos conceitos associados a esta área auxilia na determinação do melhor modo para executar uma determinada tarefa, isto é, o método de trabalho que permite ao operador realizar a respetiva tarefa no menor tempo possível, com facilidade e satisfação (Assis, et al., 1977). De acordo com ILO (1984), os principais objetivos da aplicação do estudo dos métodos são:

- a) A melhoria dos processos e dos métodos de execução;
- b) A melhoria da implantação dos espaços de trabalho;

- c) A economia do esforço humano e a diminuição da fadiga;
- d) A melhoria da utilização dos recursos alocados (*inputs*);
- e) A criação de condições materiais de trabalho favoráveis.

Com o intuito de cumprir os objetivos anteriormente enumerados, utilizam-se diferentes metodologias consoante o foco do caso em estudo. Estas metodologias baseiam-se na elaboração de diagramas e permitem uma melhor compreensão dos processos produtivos (Assis, et al., 1977). A tabela 2.3 sintetiza algumas metodologias que podem ser utilizadas consoante os objetivos que se pretendem atingir e o principal foco do caso em análise.

Tabela 2.3 – Metodologias utilizadas no âmbito do estudo dos métodos

(Adaptado de Chase & Aquilano, 1995)

Metodologias	Objetivos	Foco
Diagrama de processo	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar ou combinar etapas • Diminuir as distâncias de transporte • Identificar atrasos 	Processo produtivo
Diagrama de operação	<ul style="list-style-type: none"> • Simplificar os métodos de trabalho • Minimizar as movimentações 	Trabalhador com um posto de trabalho fixo
Diagrama homem-máquina	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar os tempos de inatividade • Determinar a quantidade ideal de máquinas de modo a equilibrar o custo do tempo de inatividade dos operadores e das máquinas 	Interação de um operador com equipamentos
Diagrama de atividade	<ul style="list-style-type: none"> • Maximizar a produção • Minimizar as interferências 	Interação entre trabalhadores

Tal como mencionado anteriormente, cada metodologia possui uma aplicabilidade diferente, sendo que no presente trabalho revela-se pertinente explorar os diagramas de processo e os diagramas homem-máquina.

2.2.1.1. Diagrama de processo

Quando se pretende estudar um processo produtivo, nomeadamente o método de trabalho utilizado, é relevante construir diagramas de processo, tal como indicado na tabela 2.3. A concretização da metodologia mencionada visa a representação e a análise das tarefas realizadas num determinado posto de trabalho (Chase & Aquilano, 1995).

Previamente à elaboração dos diagramas de processo, as tarefas em análise devem ser distinguidas e caracterizadas. De acordo com PRONACI (2003), uma tarefa pode ser classificada como:

- a) Operação – Uma operação ocorre quando uma peça é modificada intencionalmente relativamente a uma ou mais das suas características. Usualmente, uma operação é realizada num posto de trabalho;

- b) Transporte – Numa tarefa, ocorre transporte quando uma peça é deslocada de um local para outro, exceto quando o referido transporte pertence a uma operação ou inspeção;
- c) Inspeção – Quando uma peça é examinada com o intuito de ser identificada ou comparada com um determinado padrão de quantidade ou qualidade, diz-se que ocorre uma inspeção;
- d) Espera – Uma espera ocorre quando a execução da operação planeada sucessiva não é realizada;
- e) Armazenagem – A armazenagem implica que a que a movimentação de uma peça parada só aconteça perante uma autorização. A título de exemplo, a autorização pode consistir numa ordem de trabalho.

2.2.1.2. Diagrama homem-máquina

No âmbito do estudo dos métodos, a construção de diagramas homem-máquina é particularmente vantajosa quando se pretende estudar situações em que o operador interage com equipamentos (Chase & Aquilano, 1995). Esta ferramenta possibilita visualizar graficamente a relação exata entre o tempo de trabalho humano e o tempo durante o qual o equipamento se encontra em funcionamento. Por conseguinte, a partir da análise deste tipo de diagramas, é possível equilibrar os ciclos de trabalho, minimizando os tempos de inatividade do operador e do equipamento (Niebel & Freivalds, 2003).

Monks (1987) refere que um ciclo de trabalho tem início no primeiro elemento de uma tarefa e termina quando se atinge novamente o mesmo momento. Nesse instante, inicia-se o segundo ciclo de trabalho, sendo que o tempo decorrido entre os dois momentos é denominado tempo de operação. Por outro lado, o tempo de ciclo é definido como o período temporal entre a realização do último produto e a realização do produto sucessivo (Suzaki, 1987), isto é, representa o tempo necessário para fabricar uma unidade de um produto acabado (Meyers & Stewart, 2002). Deste modo, considera-se que o tempo de ciclo de um processo produtivo é igual ao tempo de operação da tarefa mais demorada (Suzaki, 1987).

A construção de um diagrama homem-máquina aplicado ao estudo de uma tarefa pressupõe, em primeiro lugar, a divisão da mesma em elementos de atividade, ou seja, a tarefa deve ser decomposta em partes menores que se pretendem medir e analisar (Niebel & Freivalds, 2003). Posteriormente, é efetuada a distinção entre três parâmetros: o tempo "homem", o tempo "máquina" e o tempo de inatividade, sendo que este último pode ainda ser decomposto em tempo de inatividade "homem" e tempos de inatividade "máquina" (Meyers & Stewart, 2002).

O tempo "homem" corresponde ao período em que o operador está a trabalhar, quer seja a carregar ou descarregar a máquina ou a desempenhar outra atividade e o tempo "máquina" é o

período em que o equipamento está a operar (Santos, 1977). Por outro lado, os períodos improdutivos do homem e do equipamento são designados por tempos de inatividade "homem" e tempos de inatividade "máquina", respetivamente (Aft, 2000).

De facto, em condições ideais, o trabalho sucede de modo contínuo, isto é, sem interrupções. No entanto, na prática, ocorrem períodos de inatividade. De acordo com ILO (1984), todas as interrupções que forcem a paragem da produção ou do trabalho de um operador ou de uma máquina, qualquer que seja a causa, devem ser classificadas como tempos improdutivos ou de inatividade, uma vez que nenhum trabalho útil à tarefa em curso é desenvolvido durante a respetiva paragem (Aft, 2000). Embora se pretenda que os tempos de inatividade sejam nulos, pois estes favorecem a diminuição da produtividade (Chase & Aquilano, 1995), Buffa (1972) explica que é necessário compreender se os tempos improdutivos do operador são, de facto, tempos de inatividade puros.

Relativamente à representação de um diagrama homem-máquina, este deve ser realizado à escala e por ordem cronológica (Niebel & Freivalds, 2003). Além disto, Aft (2000) acrescenta que, quando necessário, devem ser representados num diagrama homem-máquina tantos ciclos de trabalho quanto necessários até os tempos de operação estabilizarem.

A determinação dos diferentes tempos de operação de um processo produtivo permite aferir qual é o estrangulamento do mesmo, sendo este a operação cuja execução apresenta o tempo mais elevado (Wilson, 2010). O tempo de operação do estrangulamento (ou gargalo de estrangulamento) representa o tempo de ciclo do respetivo processo produtivo e limita a sua taxa de produção (Suzaki, 1987). Adicionalmente, salienta-se que os gargalos produtivos bloqueiam o seguimento das operações de produção e, devido à acumulação do trabalho em atraso, retardam, eventualmente, as operações precedentes (ILO, 1984).

De acordo com PRONACI (2003), a taxa de produção de um processo é calculada de acordo com a equação (2.3), sendo necessário determinar previamente o tempo de ciclo do respetivo processo, isto é, o tempo de execução da operação mais lenta (Meyers & Stewart, 2002).

$$TP = \frac{1}{TC} \times 3600 \quad (2.3)$$

Onde:

- TP – Taxa de produção
- TC – Tempo de ciclo

O resultado obtido através da equação (2.3) é expresso em unidades produzidas por hora, desde que o tempo de ciclo seja apresentado em segundos (Meyers & Stewart, 2002).

2.2.2. Estudo dos tempos

O estudo dos tempos, também designado por medida do trabalho (Assis, et al., 1977), é uma área cujo principal objetivo é estimar com precisão o tempo-padrão para que um operador qualificado, devidamente treinado e experiente execute uma determinada tarefa (Aft, 2000), trabalhando a um ritmo considerado normal (Assis, et al., 1977). De facto, o conhecimento do tempo de fabrico de um produto é um fator que reforça a gestão eficiente no seio das organizações (Chase & Aquilano, 1995). Contrariamente ao estudo dos métodos, que é uma área predominantemente analítica, o estudo dos tempos envolve a medição do trabalho, sendo que o resultado do mesmo é o tempo, expresso nas unidades mais adequadas à situação em estudo (Assis, et al., 1977).

De acordo com Assis, et al. (1977), embora o estudo dos tempos seja principalmente aplicado aquando da determinação do tempo necessário para realizar uma determinada tarefa, o mesmo possui outras finalidades, entre as quais se destacam:

- a) Planear e programar o trabalho;
- b) Determinar os custos padrão e realizar orçamentos;
- c) Estimar os custos de um produto antes da sua produção;
- d) Auxiliar o processo de equilíbrio de linhas ou células de montagem, através da determinação da eficiência dos equipamentos, do número de máquinas que um trabalhador pode operar e do número de operadores necessários ao funcionamento de um processo produtivo.

Por outro lado, de acordo com Meyers & Stewart (2002), podem ser enumeradas cinco metodologias relativas ao estudo dos tempos, entre elas:

- i) O estudo dos tempos por cronometragem;
- ii) A amostragem do trabalho;
- iii) Os sistemas de tempos predeterminados;
- iv) Os dados de referência;
- v) O historial de dados e a opinião de especialistas.

O estudo dos tempos por cronometragem, formalizado inicialmente por Frederick W. Taylor¹ em 1881, é a metodologia mais utilizada no âmbito da medida do trabalho. Aquando da aplicação desta metodologia, pretende-se observar diretamente o trabalho realizado pelos operadores e medir o tempo requerido para executar uma determinada tarefa (Chase & Aquilano, 1995). Além

¹ Frederick W. Taylor (1856 – 1915) destacou-se por desenvolver os quatro princípios da gestão científica e é considerado o pai da engenharia industrial e do estudo dos tempos (Meyers & Stewart, 2002).

disto, Chase & Aquilano (1995) e Meyers & Stewart (2002) referem que, para que o processo de observação seja realizado de modo satisfatório, é importante que sejam seguidas as seguintes etapas:

- a) Seleção do trabalho a medir e recolha de informação;
- b) Divisão das tarefas em elementos de atividade mensuráveis;
- c) Registo dos tempos observados para cada elemento de atividade;
- d) Cálculo do tempo médio observado para cada elemento de atividade;
- e) Validação da dimensão da amostra;
- f) Atribuição de um fator de atividade a cada operador observado durante a medição de cada elemento de atividade;
- g) Determinação do tempo normal de cada elemento de atividade.

Além das etapas referidas anteriormente, também é possível calcular as margens de tempo a atribuir e, conseqüentemente, calcular o tempo-padrão de uma tarefa (Chase & Aquilano, 1995).

2.2.2.1. Seleção do trabalho a medir e recolha de informação

A necessidade de mensurar um trabalho pode surgir devido a diferentes razões, entre as quais se destacam a criação de novos postos de trabalho, o surgimento de novos produtos, as ações de redução de custos e a melhoria dos métodos de trabalho existentes. Como tal, é importante compreender o processo que se pretende analisar, através de uma fase de familiarização com o ambiente operacional. É particularmente relevante compreender as instruções de trabalho e conhecer os operadores que as executam, uma vez que é essencial aferir os ritmos de trabalho dos mesmos (Meyers & Stewart, 2002).

2.2.2.2. Divisão das tarefas em elementos de atividade

A cronometragem de uma tarefa na íntegra como um único elemento raramente é satisfatória, pelo que é importante que esta seja dividida em elementos mais curtos e que seja feita a cronometragem individual de cada um deles (Assis, et al., 1977). A divisão em elementos de atividade permite ainda obter a descrição detalhada e sistemática do método observado, a verificação da regularidade dos tempos de cada elemento em cada ciclo de trabalho, bem como o equilíbrio e a normalização dos tempos numa mesma sequência de movimentos (Felippe, et al., 2012).

Relativamente às regras que devem ser cumpridas aquando da divisão de uma tarefa em elementos de atividade, Assis, et al. (1977) e Aft (2000) referem que:

- a) Os elementos devem ser tão curtos quanto o compatível com uma medida precisa;

- b) O tempo de manuseamento dos componentes (tempo “homem”) deve ser distinguido do tempo de funcionamento dos equipamentos (tempo “máquina”);
- c) Os elementos cíclicos devem ser separados dos elementos não cíclicos;
- d) O início e fim dos elementos de atividade devem ser facilmente identificados;
- e) Não podem existir descontinuidades nos elementos, na medida em que o final de um elemento deve corresponder ao início do elemento sucessivo;
- f) A frequência de cada elemento não cíclico deve constar na descrição do mesmo.

ILO (1984) acrescenta que é possível enumerar seis tipos de elementos de atividade distintos, sendo eles:

- i) Elemento cíclico – Um elemento cíclico (ou repetitivo) é um elemento que se encontra presente em todos os ciclos de trabalho;
- ii) Elemento não cíclico – Um elemento não cíclico (ou ocasional) é um elemento que não se encontra em todos os ciclos de trabalho, mas pode intervir em intervalos de tempo regulares ou irregulares. Porém, ainda que não ocorra em todos os ciclos de trabalho, este tipo de elemento de atividade representa trabalho útil;
- iii) Elemento “homem” – Um elemento “homem” é um elemento de trabalho realizado por um operador e cujo tempo de execução depende exclusivamente do mesmo;
- iv) Elemento “máquina” – Um elemento “máquina” é realizado de modo automático por uma máquina movida a motor ou um processo físico-químico. Neste caso, o tempo de operação depende unicamente das características do equipamento;
- v) Elemento preponderante – O elemento que dura mais tempo num ciclo de trabalho é designado por elemento preponderante;
- vi) Elemento estranho – Um elemento estranho é aquele que se revela ser dispensável ao trabalho, embora seja contemplado na observação efetuada.

2.2.2.3. Registo dos tempos observados

A cronometragem de uma tarefa exige alguns materiais para que o procedimento ocorra de modo satisfatório e expectável. No local onde ocorre a cronometragem, destaca-se a importância da utilização de um cronómetro, uma prancheta de cronometragem e folhas de registo (Meyers & Stewart, 2002).

As medições efetuadas são necessariamente afetadas pelo erro associado ao cronómetro utilizado e pelo erro relacionado com o manuseamento do mesmo por parte do analista. Relativamente à técnica utilizada para efetuar a cronometragem, é possível cronometrar continuamente vários ciclos de trabalho ou recorrer ao método de paragem, isto é, cronometrar

cada ciclo individualmente, retornando o cronómetro a zero no início de cada medição (Niebel & Freivalds, 2003).

Por outro lado, o recurso a uma prancheta de cronometragem, que deve ser rígida e de dimensões superiores às dimensões das folhas de registo, agiliza todo o processo de medição, uma vez que permite registar os dados recolhidos de modo mais prático. Por último, as folhas de registos são essenciais para anotar os tempos cronometrados de modo ordenado (Assis, et al., 1977).

2.2.2.4. Tempo médio observado

O tempo médio observado é o resultado da média aritmética dos tempos recolhidos durante o processo de cronometragem. O analista deve garantir a uniformidade dos tempos registados, sendo que não devem ser contabilizados elementos de atividade estranhos (Buffa, 1972). Assim, considerando uma amostra de dimensão n composta pelas medições $x_i, x_{i+1} \dots x_n$, o valor do tempo médio observado, de acordo com Meyers & Stewart (2002), é dado pela equação (2.4).

$$TMO = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i}{n} \quad (2.4)$$

Onde:

- TMO – Tempo médio observado
- x_i – i -ésima medição
- n – Dimensão da amostra (número de observações realizadas)

2.2.2.5. Validação da dimensão da amostra observada

No âmbito da cronometragem, a determinação da dimensão da amostra recolhida pode ser efetuada recorrendo a ferramentas estatísticas (Buffa, 1972). Considera-se que a curva característica da distribuição normal é aquela que melhor descreve e explica o facto da determinação do número de ciclos cronometrados ser baseada em leis probabilísticas (Meyers & Stewart, 2002). No entanto, para dimensões inferiores a trinta unidades, deve ser utilizada a distribuição t de *Student* bicaudal (Niebel & Freivalds, 2003), sendo que o analista deve incluir sempre um número suficiente de ciclos de modo a recolher uma representação adequada da população estatística que pretende medir (Monks, 1987).

Determinado o tempo médio observado, calcula-se o desvio padrão. Este é determinado através da expressão (2.5) (Niebel & Freivalds, 2003).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - TMO)^2}{n-1}} \quad (2.5)$$

Onde:

- σ – Desvio padrão

Posteriormente, de modo a determinar o parâmetro t de *Student*, é necessário escolher o nível de significância que se pretende assegurar durante o estudo. Usualmente, o nível de significância toma valores iguais a 0,05 ou 0,01. O parâmetro t de *Student* também contempla os graus de liberdade da amostra, sendo o mesmo calculado através da subtração da unidade ao número de medições efetuadas (Niebel & Freivalds, 2003).

O número de observações a realizar é dado pela expressão (2.6). Se o valor obtido for inferior ou igual ao número de observações realizadas, não existe a necessidade de realizar mais observações, pelo que os tempos cronometrados são suficientes. Caso contrário, o analista deve realizar mais medições.

$$N = \left(\frac{t_{\alpha, n-1} \times \sigma}{\alpha \times TMO} \right)^2 \quad (2.6)$$

Onde:

- N – Número de medições a realizar
- $t_{\alpha, n-1}$ – Distribuição t de *Student*
- n-1 – Graus de liberdade (GDL)
- α – Nível de significância

Por último, refere-se a importância de arredondar, por excesso, os valores obtidos através da expressão (2.6). Só assim é possível assegurar que a dimensão da amostra cumpre os parâmetros pretendidos.

2.2.2.6. Fator de atividade

Uma das fases mais complexas e críticas do estudo dos tempos é a avaliação da velocidade ou ritmo de trabalho do operador que se pretende observar, ou seja, a atribuição de um fator de atividade. Trata-se de uma etapa sensível e que requer bastante experiência e perícia por parte do analista, de modo a ser executada corretamente (Aft, 2000). Deve ser atribuído um fator de atividade a cada elemento "homem", sendo que o principal objetivo é relacionar o ritmo de trabalho do operador observado com o ritmo de trabalho de um operador considerado normal, ou seja, um operador representativo e qualificado (ILO, 1984).

Por outro lado, destaca-se que, em todos os trabalhos, existe interação entre o operador e o espaço físico envolvente (Buffa, 1972). As características do meio de trabalho são fatores que influenciam diretamente o ritmo do operador, sendo que se destacam fatores como a fadiga, o

calor, a humidade, a iluminação, o ruído e a aptidão (Assis, et al., 1977). Destaca-se que estes fatores também influenciam a produtividade e a qualidade do processo produtivo (Buffa, 1972).

Por definição, o fator de atividade atribuído a um operador considerado normal é 100%. Os valores inferiores dizem respeito a operadores lentos e os valores superiores são atribuídos a operadores rápidos (Meyers & Stewart, 2002). Na tabela 2.4, encontram-se ilustrados os valores típicos considerados relativamente ao fator de atividade.

Tabela 2.4 – Atribuição do fator de atividade de acordo com o ritmo da atividade
(Adaptado de IST-UL, 2015)

Avaliação do ritmo da atividade	Fator de atividade (%)
<u>Atividade muito lenta</u> (movimentos hesitantes, operador desinteressado e adormecido)	50
<u>Atividade compassada</u> (aparentemente lenta, mas sem desperdício de tempo; ritmo sem pressa como o de um operador não remunerado à peça)	75
<u>Atividade normal</u> (gestos vivos e precisos como os de um operador remunerado à peça)	100
<u>Atividade muito rápida</u> (segurança, destreza e coordenação de movimentos superior à de um operador médio experiente)	125
<u>Atividade excepcionalmente rápida</u> (tarefa executada por perito; ritmo que não pode ser mantido por muito tempo)	150

2.2.2.7. Tempo normal

O tempo normal de um elemento é determinado através da multiplicação entre o tempo médio observado e o fator de atividade atribuído ao operador observado, tal como ilustrado na equação (2.7) (Niebel & Freivalds, 2003).

$$TN = TMO \times FA \quad (2.7)$$

Onde:

- TN – Tempo normal
- FA – Fator de atividade

No caso dos elementos de atividade "máquina", o tempo normal é igual ao tempo médio observado, uma vez que não são atribuídos fatores de atividade aos equipamentos.

2.3. Lean Manufacturing

No século XVIII, o modo de produção em vigor nas indústrias era a produção artesanal. Este caracterizava-se pelo recurso a mão de obra altamente qualificada e especializada para satisfazer os

requisitos do cliente. De facto, os clientes e os seus requisitos constituíam o foco de atenção do nomeado sistema produtivo, sendo que apenas ocorria produção quando existia um pedido concreto por parte de algum cliente. Todavia, tratando-se de um sistema extremamente dependente da mão de obra humana, a primeira limitação passível de ser identificada é o facto do custo por unidade produzida não diminuir com o aumento do volume de produção. Adicionalmente, dada a simplicidade do modo de produção artesanal, não era possível fabricar em grande escala e os problemas de qualidade ocorriam frequentemente (Simpson, 2009).

Mais tarde, em 1765, introduzido por Jean-Baptiste Gribeauval², surgiu o conceito de permutabilidade de partes, que se encontra na origem do sistema americano de manufatura. O oficial francês defendia que a uniformidade do sistema produtivo constituía uma vantagem no âmbito da sua atividade enquanto oficial do exército, pois tornava possível permutar prontamente partes de pequenas armas. Assim, face às limitações da produção artesanal, no século XIX, Eli Whitney³ criou o sistema americano de manufatura. Contrariamente ao sistema produtivo anteriormente em vigor nas indústrias, este era caracterizado pelo recurso a operadores que, ainda que pouco qualificados, conseguiam manufaturar um produto mais rapidamente, sem condicionar a qualidade do mesmo, do que um operador qualificado e especializado (Simpson, 2009).

Face às limitações da produção artesanal e do sistema americano de manufatura, ainda no século XIX, em consequência da Revolução Industrial (1770 – 1800), surgiu a produção em massa, definida por três princípios fundamentais: a divisão do trabalho, a permutabilidade de partes e a mecanização das operações (Duguay, et al., 1997). Neste contexto, Henry Ford⁴, pioneiro na indústria automóvel, construiu a primeira linha de montagem, em 1913, numa tentativa de solucionar o facto de as organizações não serem capazes de satisfazer a procura existente (Simpson, 2009).

Após o final da Segunda Guerra Mundial, com o intuito de acompanhar os desenvolvimentos tecnológicos verificados nas nações ocidentais, surgiu, no Japão, o *Toyota Production System* (TPS). Os objetivos primordiais deste sistema eram o aumento da produtividade e a redução de custos, através da eliminação de funções desnecessárias nas organizações (Monden, 2011). As práticas adotadas por este sistema fazem parte de uma filosofia que se viria a designar *Lean Manufacturing* (Wilson, 2010).

² Jean-Baptiste Vaquette de Gribeauval (1715 – 1789) foi um engenheiro e oficial francês cujos desenvolvimentos no âmbito da artilharia francesa contribuíram para o sucesso notável do militar de Napoleon Bonaparte entre o final e início dos séculos XVIII e XIX, respetivamente (Tucker, 2010).

³ Eli Whitney (1765 – 1825) foi um engenheiro mecânico formado pela Universidade de Yale, que ficou conhecido pela produção de *gin* de algodão (Mirsky, 2015).

⁴ Henry Ford (1863 – 1947) foi um empreendedor americano e fundador da *Ford Motor Company* (The Henry Ford, 2016).

Considera-se, portanto, que o conceito *Lean Manufacturing* surgiu no Japão, tendo sido o TPS o primeiro sistema a utilizar as práticas desta filosofia (Gupta & Jain, 2013). O termo *Lean Manufacturing* é, usualmente, entendido como um sinónimo do TPS (Wilson, 2010). Contudo, embora ambos os sistemas sejam filosofias cujo intuito é impulsionar o aumento da eficiência das organizações, através da criação de valor e da eliminação de desperdícios, não têm o mesmo significado (Hashmi, et al., 2015). O TPS é um sistema de controlo de quantidade construído sob uma base sólida de controlo de qualidade, bem como um sistema de manufatura perpetuado pela forte cultura da Toyota. Por outro lado, o *Lean Manufacturing* é primariamente uma filosofia relacionada com a produção e não uma estratégia orientada para os negócios (Wilson, 2010).

O conceito fundamental da filosofia *Lean Manufacturing* é a eliminação de todos os tipos de desperdício nos processos (Kumar & Kajal, 2015). A exploração desta filosofia visa gerir, melhorar e desenvolver produtos mais rapidamente, melhorando ou, pelo menos, mantendo o nível de qualidade imposto (Tyagi, et al., 2015). A referida filosofia também promove a expansão da capacidade das organizações, através da redução de custos e da diminuição do período entre o pedido do cliente e a expedição dos produtos (Liker, 1998).

O foco do *Lean Manufacturing* são os requisitos do cliente, sendo que este não se encontra disposto a pagar por tarefas sem valor acrescentado (Kumar & Kajal, 2015). Designa-se por tarefa de valor acrescentado ou tarefa geradora de valor uma tarefa que altera a matéria prima ou produto, dando-lhe forma e/ou acrescentando-lhe capacidade ou informação que satisfaça os requisitos do cliente (Wilson, 2010).

Por outro lado, sugere-se que a implementação das práticas *Lean Manufacturing* seja consistente, uma vez que a inconsistência no esforço realizado pode não conduzir as organizações ao aproveitamento integral dos potenciais resultados da aplicação da referida filosofia (Rose, et al., 2011). O envolvimento de todos os colaboradores de uma organização também é um fator importante para que os resultados alcançados sejam notórios (Ohno, 1988).

A casa *Lean Manufacturing*, ilustrada na figura 2.14, esquematiza os objetivos da aplicação da filosofia em estudo, os principais conceitos que constituem os seus pilares, bem como aqueles que a sustentam e que se encontram representados pela fundação da casa.

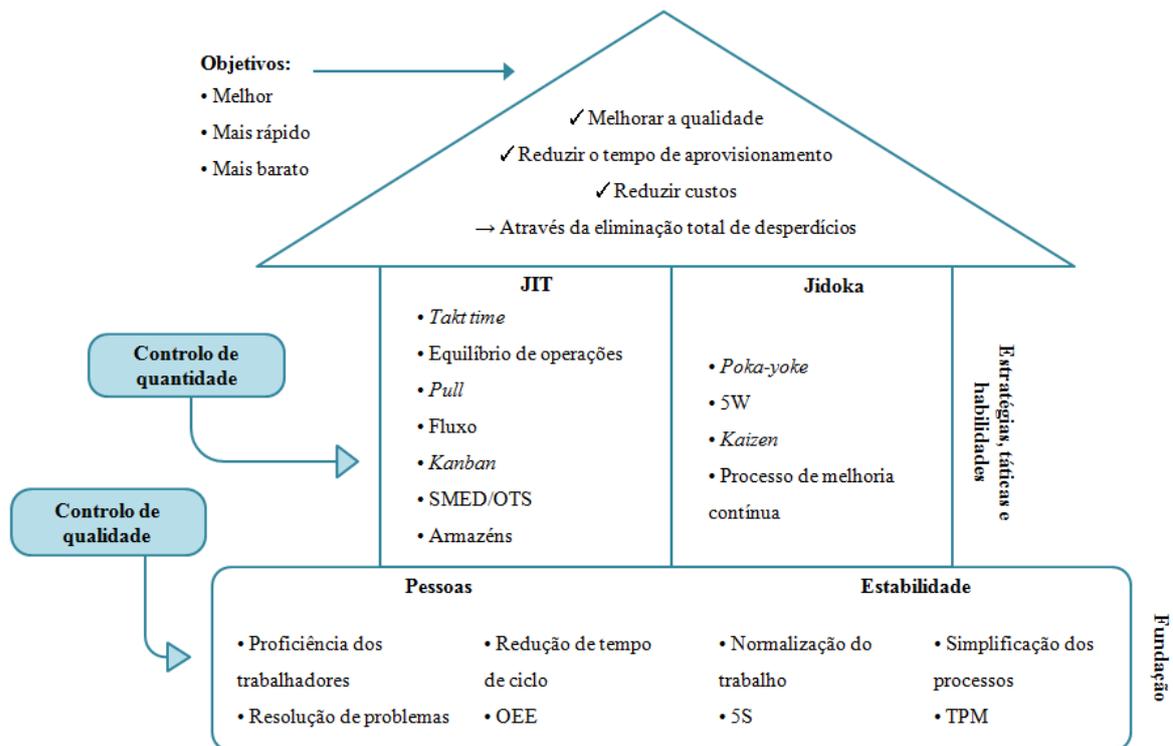


Figura 2.14 – Casa Lean Manufacturing

(Adaptado de Wilson, 2010)

Os dois pilares da filosofia *Lean Manufacturing*, ilustrados na figura 2.14, são os conceitos *Just In Time* (JIT) e Jidoka (Wilson, 2010).

O termo JIT refere-se à produção apenas do que é necessário, quando é necessário e na quantidade necessária (Suzaki, 1987), ou seja, os fornecedores devem garantir a entrega das matérias primas no momento planeado para que ocorra produção (Hashmi, et al., 2015). A utilização desta ferramenta permite que as organizações tenham uma vantagem competitiva face aos concorrentes de mercado, devido à melhor gestão de todo o sistema de produção (Lubben, 1988).

Por outro lado, a utilização de automatismos é cada vez uma realidade mais presente nas indústrias a nível mundial. Devido aos avanços tecnológicos, existem diversos automatismos que são ativados apenas por pequenos gestos dos operadores. Porém, a tecnologia não é isenta de limitações, na medida em que, geralmente, as máquinas não são capazes de detetar problemas enquanto estão a funcionar, nem capazes de determinar quando devem parar. Como tal, é sempre necessária a presença de um operador para supervisionar o funcionamento dos equipamentos, sendo que essa atividade apenas adiciona custo ao produto final, ou seja, é uma tarefa sem valor acrescentado. Deste modo, surge o conceito de Jidoka, com o intuito de prover aos equipamentos a capacidade autónoma de julgamento (Suzaki, 1987).

2.3.1. Princípios

A filosofia *Lean Manufacturing* possui cinco princípios fundamentais, cuja aplicação permite uma gestão mais eficiente no seio das organizações (Womack & Jones, 1996). Os referidos princípios interagem entre si e são vantajosos, pois possibilitam a identificação sistemática de desperdícios nos diversos sistemas produtivos (Gupta & Jain, 2013).

- A. Valor** – O valor representa o ponto de partida para a aplicação da filosofia *Lean Manufacturing*. Considera-se que o valor de um produto deve ser definido pelo cliente final e não pela organização, sendo que a definição do mesmo apenas tem significado quando é expresso em termos de um produto específico, cumprindo os requisitos do cliente a um preço e tempo específicos (Weigel, 2000).
- B. Cadeia de valor** – Uma cadeia de valor consiste no conjunto de todas as atividades específicas e necessárias para desenvolver e fornecer um produto concreto ao cliente final. É importante descrever o que acontece durante todas as etapas do fabrico de um produto, visto que tal permite a identificação dos desperdícios implícitos ao processo produtivo (Weigel, 2000). Geralmente, a construção de uma cadeia de valor expõe enormes quantidades de *muda*⁵ nas organizações (Womack & Jones, 2003). Weigel (2000) refere que existem três tipos distintos de atividades que podem ser identificadas numa cadeia de valor, entre elas:
- a) Atividades de valor acrescentado – Atividades que, inequivocamente, acrescentam valor ao produto. Também podem ser designadas por atividades geradoras de valor;
 - b) *Muda* (tipo um) – Atividades que não acrescentam valor, mas que aparentam ser inevitáveis no âmbito do processo produtivo;
 - c) *Muda* (tipo dois) – Atividades que não acrescentam valor e que são desnecessárias.
- C. Fluxo** – O conceito de fluxo promove o movimento contínuo dos materiais durante um processo produtivo. Os materiais não se devem encontrar parados, exceto nos momentos em que são processados, isto é, nas estações de trabalho onde são realizadas tarefas de valor acrescentado. Idealmente, a sincronização dos postos de trabalho deve estar otimizada e deve existir um nível mínimo de *stock* em cada um deles (Wilson, 2010). Este princípio sugere que o tradicional modo de produção em grandes lotes, tal como acontecia no sistema de produção em massa, seja abandonado. Como tal, a aplicação deste conceito incentiva à produção apenas do que é necessário e quando é necessário, visando a redução ou a eliminação de desperdícios. Além disto, com o intuito de gerar um fluxo contínuo de produção, é necessário reduzir os tempos associados às trocas de ferramentas e é necessário

⁵ Palavra japonesa que significa desperdício (Dahlgaard & Dahlgaard-Park, 2006).

assegurar que o *layout* do sistema produtivo é adequado, de modo a existir uma sequência correta do alinhamento dos equipamentos (Weigel, 2000).

- D. **Pull** – Este princípio é uma das ferramentas chave para evitar o excesso de produção (Wilson, 2010), na medida em que nada é produzido até que o cliente faça um pedido. Este conceito é o antónimo do sistema *push* e permite a redução do nível de *stock* e do *Work In Process* (WIP) (Weigel, 2000).
- E. **Perfeição** – A perfeição traduz-se na eliminação completa de *muda*, de modo a que todo o sistema produtivo seja unicamente composto por atividades que acrescentem valor ao produto. A aplicação do *Lean Manufacturing* é um processo sem fim, pelo que atingir a perfeição é apenas um estado final desejado e não um objetivo concretizável (Weigel, 2000).

2.3.2. Os sete desperdícios

Por definição, um desperdício é algo que não acrescenta valor ao produto final, na ótica do cliente (Kumar & Kajal, 2015), ou seja, é algo que apenas encarece o produto (Thor & Christopher, 1993). Deste modo, a identificação das fontes de desperdícios corresponde a uma etapa fundamental e preliminar na implementação da filosofia *Lean Manufacturing*, uma vez que o cliente apenas se encontra disposto a pagar pelo valor dos serviços que lhe são prestados e não por erros cometidos (Kumar & Kajal, 2015).

Neste contexto, Ohno (1988) classifica e categoriza os diferentes tipos de desperdício que podem ser identificados numa cadeia de valor, sendo eles o excesso de produção, o processamento desnecessário, a movimentação, o elevado nível de *stock*, o transporte, os defeitos e, por último, a espera, tal como ilustrado na figura 2.15.

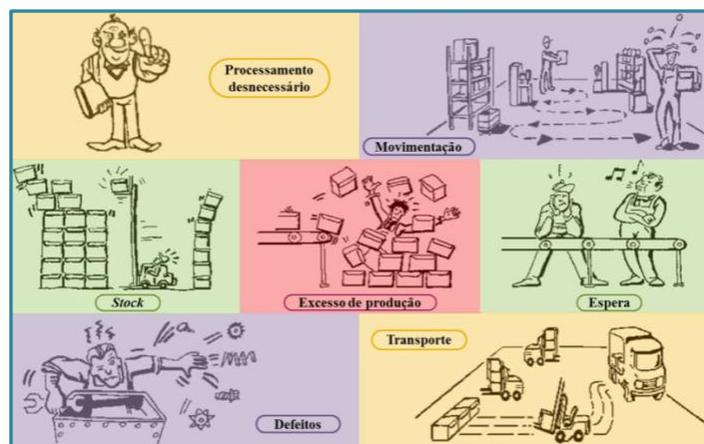


Figura 2.15 – Os sete desperdícios

(Adaptado de Cruz, 2013)

- A. Excesso de produção** – Ocorre quando a produção supera as necessidades do cliente, isto é, quando são produzidos mais produtos do que aqueles pedidos pelo cliente. É considerado um dos tipos de desperdício mais grave e o mais comum encontrado no seio das organizações. Quando esta situação se sucede, o risco de obsolescência aumenta, bem como o risco de produzir o produto errado. O excesso de produção potencia ainda o tempo de aprovisionamento e o aumento dos custos de posse devido à quantidade de artigos em *stock* (El-Namrouty & AbuShaaban, 2013).
- B. Processamento desnecessário** – As operações adicionais que são realizadas e que não acrescentam valor ao produto final são categorizadas como processamento desnecessário. Trata-se de operações que são realizadas além dos requisitos do cliente (Wilson, 2010).
- C. Movimentação** – O terceiro desperdício identificado inclui qualquer deslocação ou movimentação desnecessária por parte dos operadores (El-Namrouty & AbuShaaban, 2013). De facto, movimento não é necessariamente sinónimo de trabalho. A título de exemplo, este desperdício traduzir-se na procura ou alcance desnecessários de ferramentas que se encontram longe do local onde estas são imprescindíveis (Suzaki, 1987).
- D. Stock** – A existência de *stock* é considerada um desperdício quando tal implica a posse desnecessária e excessiva de matéria prima, WIP e produtos acabados (El-Namrouty & AbuShaaban, 2013). Suzaki (1987) refere que elevados níveis de *stock* implicam vastas áreas de armazenamento, maior manuseamento dos produtos, maior número de operadores necessários e, conseqüentemente, um maior investimento financeiro. Este desperdício também é responsável por ocultar outros problemas da organização, tais como elevados tempos de *setup*, problemas de qualidade, desequilíbrio de linhas e células de trabalho, atrasos nas entregas, avarias dos equipamentos, problemas de comunicação, entre outros.
- E. Transporte** – O transporte inclui qualquer movimento de materiais que não acrescente valor ao produto acabado, podendo traduzir-se na movimentação de materiais entre postos de trabalho. O transporte entre fases de processamento fomenta o aumento dos tempos de ciclo associados à produção, resulta no uso ineficiente de trabalho, potencia a deterioração dos produtos devido ao excesso de manuseamento dos mesmos e origina custos desnecessários (El-Namrouty & AbuShaaban, 2013).
- F. Defeitos** – Além dos defeitos físicos que podem ser causados nos produtos, este tipo de desperdício também inclui os erros que podem ser cometidos a nível da documentação relativa à produção. Os atrasos nas entregas ou a produção de acordo com especificações erradas também são considerados defeitos (El-Namrouty & AbuShaaban, 2013).

G. Espera – A espera representa o tempo ocioso para os operadores ou equipamentos. Trata-se de períodos de inatividade, que podem surgir devido aos gargalos de estrangulamento dos processos produtivos (El-Namrouty & AbuShaaban, 2013).

2.3.3. Instrumentos analíticos

No âmbito da filosofia *Lean Manufacturing*, é possível enumerar vários instrumentos analíticos, cuja aplicação se revela vantajosa na melhoria dos processos produtivos. No presente trabalho, destaca-se a ferramenta 5S e o *Kaizen*.

2.3.3.1. 5S

A metodologia 5S é originária do Japão e a sua designação provém de cinco palavras japonesas, entre elas *Seiri* (separação), *Seiton* (ordenação), *Seiso* (limpeza), *Seiketsu* (normalização) e *Shitsuke* (autodisciplina). É uma ferramenta utilizada na melhoria contínua dos processos produtivos, cujos principais objetivos são a eliminação de desperdícios e o aumento da produtividade, através da manutenção de um espaço de trabalho ordenado, limpo e ergonómico. A aplicação desta ferramenta visa a obtenção de resultados operacionais consistentes e positivos (Kumar & Kajal, 2015). Além disto, Falkowski & Kitowski (2013) referem que cada palavra representa uma regra e etapa necessária à completa e correta implementação da metodologia 5S.

- A. Seiri (separação)** – A aplicação do conceito de separação sugere que se deve remover do local de trabalho todos os materiais que não são necessários para realização da operação que se pretende executar (Falkowski & Kitowski, 2013).
- B. Seiton (ordenação)** – Identificados e retirados os materiais desnecessários do local de trabalho, é necessário ordenar e identificar os restantes, através da utilização de etiquetas. Além disto, é importante alocar os materiais a locais específicos, de modo a que estes sejam acedidos mais facilmente quando se revelar necessário (Falkowski & Kitowski, 2013).
- C. Seiso (limpeza)** – O processo de limpeza deve ser uma tarefa desempenhada regularmente por cada colaborador da organização, com o intuito de criar um ambiente e espaço de trabalho seguros, confortáveis e agradáveis. A execução rotineira desta tarefa promove a sensação de conforto e reduz o risco de falha dos equipamentos (Falkowski & Kitowski, 2013).
- D. Seiketsu (normalização)** – A normalização enquanto conceito pertencente à metodologia 5S visa a uniformização dos procedimentos de organização, na medida em que se devem aplicar as melhorias conseguidas a todos os postos de trabalho, definindo normas para todas as alterações conseguidas (Falkowski & Kitowski, 2013).

E. *Shitsuke* (autodisciplina) – Agir continuamente de acordo com determinados procedimentos faz parte da autodisciplina (Falkowski & Kitowski, 2013).

Por último, Kumar & Kajal (2015) referem que o início da implementação da metodologia 5S acontece quando se identifica um problema no seio da organização. Por outro lado, de acordo com Falkowski & Kitowski (2013), a manutenção de um espaço de trabalho limpo e organizado conduz a diversos benefícios, entre eles:

- a) A redução de desperdícios no local de trabalho;
- b) A melhoria da qualidade dos produtos;
- c) A redução de desperdício de tempo aquando da procura de ferramentas;
- d) A melhoria da comunicação entre os colaboradores da organização;
- e) O aumento do conforto;
- f) O aumento da segurança.

A figura 2.16, apresentada seguidamente, esquematiza a implementação da metodologia 5S. De acordo com Falkowski & Kitowski (2013), a implementação deve ser cíclica.

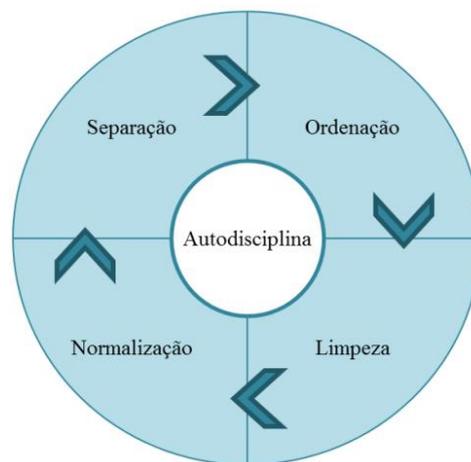


Figura 2.16 – Metodologia 5S
(Adaptado de Falkowski & Kitowski, 2013)

2.3.3.2. *Kaizen*

Kaizen é uma palavra japonesa⁶ que expressa a noção de melhoria contínua (Wilson, 2010). Este conceito tem origem no budismo e tem vindo a expandir-se na área da gestão, sendo atualmente encarado como um conjunto de ferramentas úteis e capazes de contribuir para o aumento da competitividade de uma organização (Ghicajanu, 2011).

⁶ *Kai* significa “mudança” e *Zen* significa “para melhor” (Singh & Singh, 2009).

Esta ferramenta sugere que a melhoria dos processos produtivos deve ser feita através de pequenas etapas e ações. Porém, o efeito acumulado das mesmas pode ser bastante significativo para as organizações (Wilson, 2010). Este facto implica que os resultados da referida ferramenta só sejam visíveis após algum tempo, sendo necessária perseverança, bem como esforços diários realizados nesse mesmo sentido. Além disto, este conceito é transversal a todo o capital humano das organizações, pelo que todos os colaboradores devem intervir na sua implementação (Ghicajanu, 2011).

Por outro lado, considera-se que o período de implementação deste conceito não tem fim, pois todos os processos industriais ou empresariais podem ser melhorados continuamente (Wilson, 2010). Adicionalmente, admite-se que as melhorias dos processos não implicam a utilização de equipamentos sofisticados, pelo que os custos associados à aplicação do *Kaizen* não são significativos (Ghicajanu, 2011).

2.3.3.3. Outras ferramentas

Além das ferramentas apresentadas anteriormente, existem outros conceitos cuja exploração é interessante e vantajosa aquando da melhoria de um processo produtivo. Entre eles destacam-se o ciclo PDCA e *Kanban*.

A. Ciclo PDCA – O ciclo PDCA é um processo iterativo, uma vez que se repete continuamente. Esta ferramenta enquadra-se no âmbito da melhoria contínua e está associada ao *Kaizen*. De acordo com Wilson (2010), a sigla atribuída a este ciclo deve-se à primeira letra de cada uma das etapas seguintes:

- a) Planear (*plan*) – Corresponde à fase de planeamento, sendo definido um alvo a melhorar;
- b) Fazer (*do*) – Trata-se de uma fase de implementação da melhoria proposta;
- c) Verificar (*check*) – Representa uma etapa na qual se pretende apurar se as ações foram implementadas com sucesso, isto é, se a implementação conduziu à melhoria esperada;
- d) Agir (*act*) – Nesta fase, determina-se se são necessárias ações adicionais para atingir a melhoria pretendida.

B. *Kanban* – *Kanban* é uma ferramenta que fomenta a melhoria do sistema de comunicação das organizações, integrando-se na ótica de melhoria contínua. Esta ferramenta é composta por um conjunto de sinais que constituem um sistema de sinalização ou de comunicação visual, cujos principais objetivos são a redução de *stock*, a redução de excesso de produção e a simplificação do fluxo produtivo (Wilson, 2010).

Além das ferramentas explicitadas anteriormente, destaca-se que é possível identificar outras ferramentas no âmbito da filosofia *Lean Manufacturing*, embora as mesmas não sejam exploradas no presente trabalho.

CAPÍTULO 3 – Apresentação e caracterização do caso de estudo

No terceiro capítulo apresenta-se e caracteriza-se o objeto de análise do presente trabalho – o processo de montagem do produto *Sample A*. Este processo é realizado numa célula de montagem da Visteon Portuguesa, Ltd, pelo que, inicialmente, é brevemente apresentada a referida organização. Posteriormente, o processo em estudo é descrito e caracterizado. Por fim, detalha-se a metodologia utilizada na realização do presente trabalho.

3.1. Caracterização geral da organização – Visteon Portuguesa, Ltd.

A organização Visteon Portuguesa, Ltd. pertence ao grupo Visteon Corporation e é uma empresa que fornece componentes eletrónicos para o setor automóvel. A organização foi fundada em 1991, em Palmela, e as suas principais áreas de produção são a montagem de placas de circuito impresso, a injeção de plásticos e a montagem de peças de carácter eletrónico. Respeitante à montagem de peças de carácter eletrónico, as áreas centrais de negócio da organização são o fabrico de rádios, módulos de controlo de temperatura, painéis de instrumentos, módulos que incorporam compressores elétricos e mostradores.

3.2. Apresentação do caso de estudo

O objeto de estudo do presente trabalho é o processo de montagem de um painel de instrumentos de um automóvel, doravante designado por produto *Sample A*. O processo é realizado numa célula de montagem da organização Visteon Portuguesa, Ltd. e é caracterizado como semiautomático, visto que, para além de recursos tecnológicos, é necessária a intervenção de operadores em todas as tarefas do mesmo. Adicionalmente, salienta-se que se trata de um sistema *pull*, ou seja, é o pedido do cliente que despoleta a produção.

O estudo detalhado do referido processo de montagem visa, em primeira instância, a caracterização e a análise do estado atual do mesmo. Posteriormente, perante a análise efetuada, pretende-se melhorar a gestão da célula, através da formulação de propostas de melhoria, sem que as mesmas incorram em novos investimentos para a organização. De facto, todas as oportunidades de melhoria determinadas, por menores que sejam, têm um potencial impacto financeiro positivo, devido ao elevado volume atual de produção.

3.2.1. Caracterização do sistema atual

O processo de montagem do produto *Sample A* é realizado num local da fábrica denominado *clean room*. Neste local, são montados produtos que exigem um controlo de qualidade muito rigoroso, uma vez que possuem peças de plástico e podem sofrer defeitos visíveis para o cliente.

Os principais defeitos verificados no âmbito do processo em estudo são riscos e poeiras que tendem a ficar aprisionadas entre os componentes de plástico do painel de instrumentos.

A célula de montagem do produto *Sample A* possui um *layout* orientado para o produto, isto é, trata-se de um *layout* no qual as máquinas são agrupadas de acordo com o produto que se pretende fabricar (Mayer, 1981). O *layout* atual da célula em estudo com a respetiva afetação dos operadores às diversas operações encontra-se representado na figura 3.1.

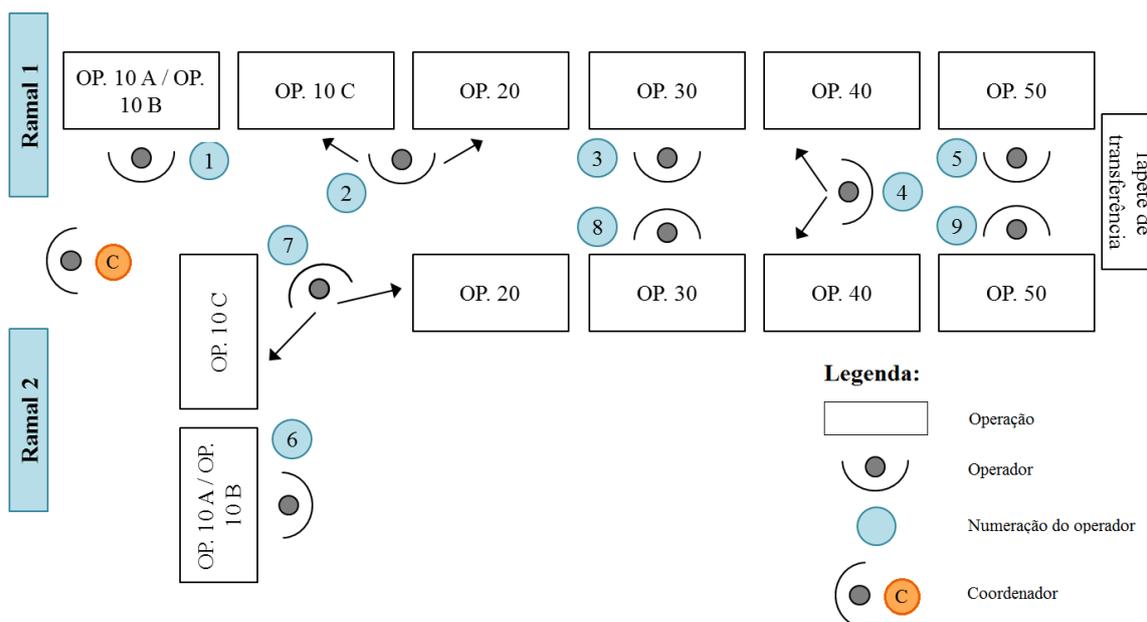


Figura 3.1 – Layout atual da célula de montagem

A célula de montagem em estudo é uma célula em “U” com dois ramais, tal como esquematizado na figura 3.1. Note-se ainda que, à exceção dos dois primeiros postos de trabalho, os ramais são espelhados. No entanto, todas as tarefas realizadas são iguais em ambos os ramais.

Concretamente, existem seis postos de trabalho (PT) em série em cada ramal, nos quais são realizadas tarefas distintas. As tarefas mencionadas são operações, uma vez que as mesmas implicam a alteração intencional das peças envolvidas no processo (PRONACI, 2003). Em suma, e de acordo com a terminologia adotada pela organização, são considerados os seguintes postos de trabalho:

- a) PT 1 – É o primeiro posto de trabalho da célula de montagem e nele é realizada a operação OP. 10 A/OP. 10 B. Aquando da implementação da célula, o primeiro posto de trabalho era constituído pelas operações OP. 10 A e OP. 10 B. Contudo, atualmente, considera-se que o posto de trabalho possui apenas uma operação, cuja designação adotada pela Visteon Portuguesa, Ltd. é OP. 10 A/OP. 10 B;

- b) PT 2 – O segundo posto de trabalho é composto pela operação OP. 10 C e o operador responsável pela sua realização também executa a operação seguinte;
- c) PT 3 – No terceiro posto de trabalho é efetuada a operação OP. 20. Além disto, de acordo com termo adotado pela organização, considera-se que o PT 2 e o PT 3 constituem uma estação de trabalho;
- d) PT 4 – No quarto posto de trabalho é executada a operação OP. 30;
- e) PT 5 – O quinto posto de trabalho é composto pela operação OP. 40. Destaca-se que, em ambos os ramais, a operação é executada por um único operador;
- f) PT 6 – É o último posto de trabalho da célula de montagem e é onde é realizada a operação OP. 50.

Após a realização de cada uma das cinco primeiras operações, é processado um produto intermédio do produto *Sample A*, doravante denominado módulo, sendo esse o *output* dos cinco primeiros postos de trabalho. Após a execução da sexta operação de montagem, no sexto posto de trabalho, ou seja, no final do processo, o produto acabado é colocado num tapete de transferência antes de ser expedido. Além disto, entre os postos de trabalho, existem locais designados para armazenamento temporário (WIP), isto é, locais onde são colocados os módulos.

Relativamente ao número de operadores, de modo a assegurar o funcionamento dos dois ramais da célula, é necessário alocar nove operadores a cada turno de trabalho. Por outro lado, além dos operadores encarregues de executar as operações supracitadas, é necessária a existência de um coordenador em cada turno laboral, cujas funções são discutidas no próximo capítulo. Deste modo, considera-se necessária a alocação de dez colaboradores à célula de montagem em análise.

Por fim, de acordo com Cassel (2011), destaca-se que as células de montagem possuem diversas características, sendo que, no caso em estudo, se verifica que:

- a) O eventual retrabalho dos produtos é facilitado em comparação com o que acontece em outras configurações de *layouts*;
- b) Os operadores são polivalentes, ou seja, estão aptos à execução de operações distintas;
- c) Todas as tarefas sem valor acrescentado são realizadas por operadores;
- d) A área física necessária para implementar o *layout* é reduzida.

3.2.2. Caracterização geral das operações de montagem

No primeiro posto de trabalho da célula, é realizada a operação OP. 10 A/OP. 10 B, de acordo com a nomenclatura adotada pela organização. A referida operação consiste na montagem da parte eletrónica do painel de instrumentos na sua estrutura de plástico.

A segunda operação do processo, designada por operação OP. 10 C, consiste na montagem dos componentes associados ao conta-rotações, velocímetro, depósito de combustível e temperatura do motor do automóvel, sendo que o operador responsável por esta operação também se encontra incumbido de realizar a operação OP. 20, pertencente à mesma estação de trabalho. Na operação OP. 20 são montados os ponteiros do painel de instrumentos.

A quarta operação de montagem, a operação OP. 30, é uma operação de aparafusamento. Por outro lado, nos dois últimos postos de trabalho, executam-se as operações OP. 40 e OP. 50, que consistem essencialmente na realização de diversos testes ao produto.

3.3. Metodologia de estudo

A elaboração do estudo presumiu o seguimento de uma metodologia bem definida, que auxiliou no desenvolvimento do presente projeto desde a sua fase embrionária até à conclusão. A metodologia de estudo foi elaborada numa ótica de melhoria contínua e visa o cumprimento do objetivo primordial deste trabalho, ou seja, o aumento da eficiência do processo de montagem do produto *Sample A*.

A metodologia de estudo seguida encontra-se esquematizada na figura figura 3.2.

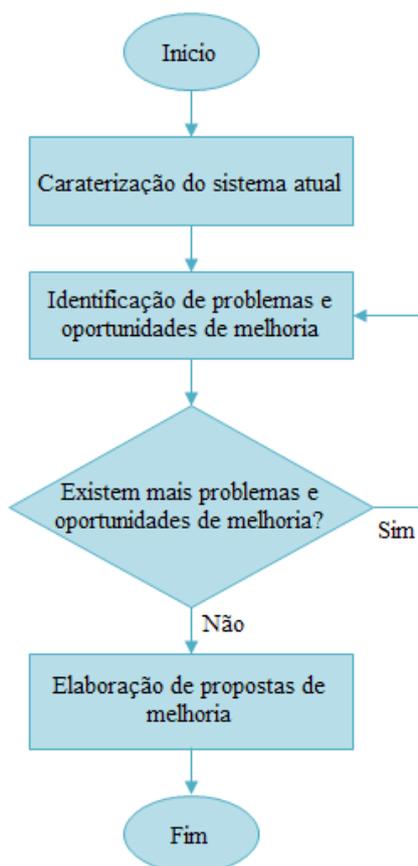


Figura 3.2 – Metodologia de estudo

Na metodologia de estudo seguida consideraram-se três etapas distintas. A primeira etapa consistiu na caracterização do estado atual do processo de montagem do produto *Sample A*. Posteriormente, face à análise realizada, na segunda etapa do estudo, foram identificados problemas e oportunidades de melhoria do referido processo. Por último, elaboraram-se propostas de melhoria, com o intuito de solucionar os problemas previamente identificados.

Na primeira etapa do trabalho, revelou-se necessário completar uma fase de familiarização com o processo de montagem do produto *Sample A*, bem como com os métodos de trabalho subjacentes ao mesmo, de modo a realizar corretamente a análise do estado atual. A análise mencionada foi efetuada com recurso a técnicas de estudo do trabalho. Através do estudo das instruções de trabalho, as operações foram divididas em elementos de atividade. Posteriormente, recorrendo ao estudo dos tempos por cronometragem, registaram-se os tempos observados para cada elemento de atividade e calcularam-se as respetivas médias aritméticas. Note-se ainda que foi necessário validar as dimensões das amostras recolhidas, isto é, revelou-se indispensável verificar se a quantidade de amostras cronometradas para cada elemento de atividade foi suficiente para garantir o nível de significância pretendido. Posteriormente à validação da dimensão das amostras recolhidas, foram atribuídos fatores de atividade aos elementos de atividade "homem" e calcularam-se os tempos normais. Seguidamente, procedeu-se à elaboração de diagramas homem-máquina para cada uma das operações de montagem. Refere-se que os diagramas foram elaborados utilizando os tempos normais previamente aferidos. Assim, determinaram-se os tempos de operação verificados em cada posto de trabalho da célula.

Na segunda etapa do estudo, mediante a análise do estado atual do processo de montagem, foram identificados problemas e oportunidades de melhoria que visaram o cumprimento do objetivo fulcral do presente trabalho. Para além da utilização de conceitos da filosofia *Lean Manufacturing*, optou-se pela aplicação da análise substância-campo pertencente à metodologia TRIZ.

Por fim, foram elaboradas propostas de melhoria, cujo intuito foi solucionar os problemas identificados na etapa anterior. Além disto, o impacto das propostas apresentadas foi quantificado, isto é, comprovou-se que os seus resultados foram orientados para o cumprimento do objetivo inicialmente definido.

CAPÍTULO 4 – Análise do estado atual do processo de montagem

No presente capítulo, pretende-se analisar o estado atual do processo de montagem do produto *Sample A* recorrendo à examinação de dados recolhidos. No âmbito desta análise, é particularmente pertinente apurar o gargalo de estrangulamento do processo, compreender as deslocações de materiais, atentar nas operações que comportam trabalhos repetitivos e que utilizam numerosa mão de obra e às operações sem valor acrescentado.

4.1. Descrição das operações de montagem

Estabelecido um método de trabalho, é importante que este seja padronizado e registado, de modo a que o documento possa ser utilizado como uma folha de instruções para os operadores. Este documento torna-se ainda mais útil quando acompanhado por fotografias que ilustrem as instruções escritas. O mesmo deve encontrar-se atualizado e em concordância com o que é executado na prática, visto que apenas é possível garantir que a produção e o nível de qualidade desejados são alcançados através do cumprimento das instruções de trabalho (Assis, et al., 1977).

Nesta ótica, no início do presente estudo, realizou-se um período de observação cuidada das operações de montagem do produto *Sample A*, com vista à comparação das mesmas com as instruções de trabalho preparadas pela organização. Só assim foi possível validar as instruções existentes e dividir as operações em elementos de atividade. Importa referir que todas as operações foram documentadas através de filmes, de modo a não limitar o analista à descrição escrita e à observação direta das mesmas, facilitando a compreensão de todo o processo em estudo.

4.1.1. OP. 10 A/OP. 10 B

A operação OP. 10 A/OP. 10 B, realizada no primeiro posto de trabalho da célula de montagem do produto *Sample A*, consiste na montagem dos componentes eletrónicos do painel de instrumentos na respetiva estrutura de plástico. Trata-se de uma operação que requer a intervenção do operador no posicionamento de um conjunto de componentes que, posteriormente, são prensados pela máquina existente no posto de trabalho. Adicionalmente, são realizados alguns testes elétricos, com o intuito de assegurar a correta execução da primeira operação de montagem realizada na célula.

À semelhança das restantes operações de montagem, a operação OP. 10 A/OP. 10 B é executada de igual modo em ambos os ramais da célula. À exceção das duas primeiras operações, o ramal 2 é um espelho do ramal 1 e vice-versa, pelo que é suficiente analisar apenas um ramal, desde que as operações sejam realizadas por diferentes operadores em ambos os ramais.

A descrição detalhada da operação OP. 10 A/OP. 10 B encontra-se apresentada de seguida:

- 1) O operador retira um componente A da respetiva embalagem e, sendo auxiliado pelos pinos-guia, coloca-o no dispositivo de fixação;
- 2) Enquanto a etiqueta do componente A é lida pela máquina, o operador retira as peças necessárias das embalagens correspondentes (quatro componentes B e um componente C) e coloca-as, uma de cada vez, nos copos da máquina que está a operar;
- 3) O operador, ao pressionar um interruptor, aciona a máquina, de modo a que esta preense os componentes B e C no componente A;
- 4) No arranque de produção, o operador coloca um componente E numa base designada para realizar a sua preparação. Caso não se trate de um arranque de produção, o operador deve prosseguir para a etapa (7);
- 5) O operador abre o conetor;
- 6) Posteriormente, o operador encaixa o componente F no conetor e fecha-o;
- 7) O operador retira o componente E da base designada para a sua preparação e encaixa-o na base do dispositivo de fixação;
- 8) Posteriormente, o sistema de visão é acionado, de modo a que possa ser feita a verificação da colocação do componente F;
- 9) O operador retira um componente D da embalagem e coloca-o sobre o componente A;
- 10) O componente E é retirado da base do dispositivo de fixação e é encaixado no componente D;
- 11) O operador retira a película do componente E;
- 12) O operador, ao pressionar um interruptor, aciona a máquina, de modo a que esta efetue a montagem do componente D com o componente A e realize alguns testes;
- 13) Enquanto o equipamento realiza a operação de prensagem, o operador retira um novo componente E do tabuleiro e coloca-o na base designada para a sua preparação, devendo repetir as etapas (5) e (6), de modo a preparar um novo componente E para o próximo módulo a ser montado;
- 14) Por último, o operador retira o módulo do dispositivo de fixação e, após realizar uma inspeção visual, se o mesmo for aprovado, coloca-o na posição seguinte. Caso contrário, pressiona o botão “reprovado”, preenche uma nota de falha que deve ser anexada ao módulo e coloca-o num local designado para a colocação de peças reprovadas (que devem ser enviadas para reparação).

4.1.2. OP. 10 C

Concluída a primeira operação de montagem do produto *Sample A*, realiza-se a operação OP. 10 C. Aquando da execução da referida operação, são montados os componentes associados

ao conta- rotações, velocímetro, depósito de combustível e temperatura do motor do automóvel no qual o painel de instrumentos é incorporado.

A operação OP. 10 C e a operação que lhe sucede são realizadas pelo mesmo operador, pelo que se considera que as mesmas são realizadas numa única estação de trabalho. Além disso, existem duas máquinas distintas associadas à estação de trabalho mencionada. Deste modo, as operações OP. 10 C e OP. 20 devem ser cuidadosamente analisadas em conjunto, não podendo ser consideradas operações independentes.

As instruções de trabalho que descrevem a operação OP. 10 C encontram-se expostas seguidamente:

- 1) O módulo encontra-se no dispositivo de fixação da primeira máquina do posto de trabalho com o componente A visível;
- 2) O dispositivo de fixação tranca o componente A, rodando 180°, de modo a que o componente E fique visível;
- 3) O operador encaixa os componentes H, G e I, um de cada vez, no componente D, garantindo um correto alinhamento dos mesmos com o auxílio dos pinos-guia;
- 4) Ao pressionar um interruptor, o equipamento faz a verificação dos componentes H, G e I através do sistema de visão;
- 5) O dispositivo de fixação roda, novamente, 180°, ficando o componente A visível;
- 6) O operador abre o conetor e efetua o encaixe do componente F, fechando de seguida o conetor;
- 7) O equipamento efetua a verificação do componente F através do sistema de visão;
- 8) É impressa uma etiqueta com um número de série, sendo que, posteriormente, o operador retira o conjunto do dispositivo de fixação e cola a etiqueta no lado direito do componente D;
- 9) Por fim, se aprovado, o operador coloca o módulo numa posição de espera. Caso contrário, pressiona o botão “reprovado”, preenche uma nota de falha que deve ser anexada ao módulo e coloca-o num local designado para a colocação de peças reprovadas (que deverem ser enviadas para reparação).

4.1.3. OP. 20

A operação OP. 20 consiste na montagem dos ponteiros do painel de instrumentos e a sua realização segue as seguintes instruções de trabalho:

- 1) O operador coloca o conjunto no dispositivo de fixação da segunda máquina da estação de trabalho e pressiona um interruptor, de modo a que sejam realizados alguns testes;

- 2) O operador retira dois componentes J e dois componentes K das respectivas embalagens, encaixando-os, um de cada vez, nos copos da máquina que está a operar;
- 3) Seguidamente, a máquina prensa os nomeados componentes com o componente D e, enquanto essa tarefa decorre, o operador desloca-se até à OP. 10 C e procede de acordo com as instruções de trabalho dessa operação;
- 4) Quando a presente operação estiver concluída, o operador retira o módulo do dispositivo de fixação e inspeciona-o;
- 5) Em caso de aprovação, o operador coloca o módulo numa posição de espera. Caso contrário, pressiona o botão “reprovado”, preenche uma nota de falha que deve ser anexada ao módulo e coloca-o num local designado para a colocação de peças reprovadas (que deverem ser enviadas para reparação).

4.1.4. OP. 30

Na operação OP. 30 é realizado o aparafusamento de um conjunto de componentes do painel de instrumentos. Os componentes são aparafusados utilizando uma aparafusadora pneumática, sendo que o equipamento mencionado apresenta vantagens face ao método de aparafusamento sem recurso a ferramentas elétricas, nomeadamente a redução do esforço realizado pelo operador.

Porém, considera-se que a execução da operação depende fortemente do fator humano, isto é, do ritmo e perícia do operador que a realiza. De facto, durante o período de observação completado, verificou-se a ocorrência de falhas frequentes na execução da operação OP. 30, entre as quais se destaca a dificuldade constatada no posicionamento correto dos parafusos no momento de aparafusar os componentes. Assim, pelos motivos mencionados, é particularmente importante atentar nesta operação, visto que a mesma é considerada uma operação instável.

O método de trabalho subjacente à operação OP. 30 é descrito através das seguintes etapas:

- 1) O operador retira um componente L da embalagem correspondente;
- 2) O operador coloca dois componentes M no componente L e encaixa-o no dispositivo de fixação;
- 3) O operador encaixa o módulo, que se encontra em posição de espera, e coloca-o por cima do componente L, que já está no dispositivo de fixação;
- 4) O operador retira um componente N da respetiva embalagem, retirando-o de um saco plástico utilizado para o proteger, e encaixa-o por cima do módulo;
- 5) O operador retira um componente O de uma embalagem;
- 6) Posteriormente, o operador utiliza um equipamento para soprar o componente O com ar ionizado;
- 7) O componente O é encaixada por cima do componente N;

- 8) Ao pressionar um interruptor, o módulo é recolhido, a máquina é acionada e os componentes são prensados pela mesma;
- 9) De seguida, o conjunto volta à frente e roda 180°;
- 10) O operador retira individualmente quatro componentes P da respetiva embalagem e, recorrendo à máquina que está a operar, coloca-os de acordo com a sequência estipulada;
- 11) O módulo é retirado do dispositivo de fixação;
- 12) O módulo é inspecionado visualmente, de modo a verificar se não possui sujidades, rebarbas ou riscos;
- 13) O operador coloca o módulo na posição seguinte, caso este seja aprovado. Caso contrário, pressiona o botão “reprovado”, preenche uma nota de falha que deve ser anexada ao módulo e coloca-o num local designado para a colocação de peças reprovadas (que devem ser enviadas para reparação).

4.1.5. OP. 40

A penúltima operação de montagem é maioritariamente automática, uma vez que consiste na realização de vários testes elétricos ao produto *Sample A*. A quantidade de testes e a qualidade do equipamento utilizado influenciam diretamente o tempo de operação. Todavia, a operação não é exclusivamente automática, uma vez que é necessária a intervenção de um operador para colocar e retirar o módulo da máquina, bem como para supervisionar os testes efetuados.

Em suma, as instruções de trabalho que descrevem a operação OP. 40 são:

- 1) São retirados dois módulos da posição de espera e encaixados no dispositivo de fixação;
- 2) O operador pressiona um interruptor para que a máquina proceda à realização de alguns testes;
- 3) O operador deve seguir as instruções apresentadas no monitor da máquina que está a operar;
- 4) No final dos testes, são impressas duas etiquetas que devem ser coladas pelo operador no respetivo componente L, no momento em que este retira os módulos da máquina;
- 5) Caso os módulos sejam aprovados, o operador coloca-os na posição de espera seguinte. Caso contrário, pressiona o botão “reprovado”, preenche uma nota de falha que deve ser anexada ao conjunto e coloca-o num local designado para a colocação de peças reprovadas (que devem ser enviadas para reparação).

4.1.6. OP. 50

Imediatamente antes do produto acabado ser colocado no tapete de transferência e, conseqüentemente, expedido, é realizada a operação OP. 50. À semelhança da operação anterior,

trata-se de uma fase de testes ao produto. Contudo, comparativamente à operação OP. 40, a intervenção do operador é mais notória nesta operação, porque a maioria dos testes são inspeções visuais que requerem validações por parte do operador que se encontra a realizar a operação.

Em suma, as instruções de trabalho relativas à última operação de montagem são:

- 1) No início desta operação, o operador deve pré-inspecionar visualmente o módulo;
- 2) O módulo é encaixado no dispositivo de fixação;
- 3) O operador pressiona um interruptor e, após o módulo ser reconhecido pela máquina, de acordo com as instruções indicadas no monitor da mesma, o operador deve proceder à validação ou invalidação dos resultados de diversos testes;
- 4) No final dos testes, o operador recebe a mensagem acerca da aprovação do módulo;
- 5) O operador retira o módulo do dispositivo de fixação;
- 6) É realizada uma inspeção final aos pinos do conector;
- 7) O módulo é colocado num saco de plástico e, de seguida, colocado no tapete de transferência para expedição;
- 8) Caso o módulo não seja aprovado na última operação de montagem, o operador pressiona o botão “reprovado”, preenche uma nota de falha que deve ser anexada ao módulo e coloca-o num local designado para a colocação de peças reprovadas (que devem ser enviadas para reparação).

4.2. Registo e análise das frequências de abastecimento dos componentes

Ao estudar o processo de montagem do produto *Sample A*, foi importante examinar o fluxo de materiais na célula onde este é processado. Concretamente, estudou-se o processo de abastecimento de todos os componentes necessários à montagem do painel de instrumentos, atentando particularmente nas frequências de abastecimento dos respetivos componentes. De facto, o processo de abastecimento é crítico, na medida em que os componentes têm de estar no momento certo e no local exato, para que a produção ocorra de acordo com o planeamento efetuado.

Neste caso, evidencia-se que os componentes mencionados são transportados até à *clean room* por operadores logísticos. Posteriormente, o transporte dos mesmos até cada posto de trabalho é efetuado pelo coordenador da célula, sendo essa uma das suas funções principais. Todavia, a abertura das embalagens e a respetiva troca das mesmas quando estas ficam vazias é da responsabilidade dos operadores.

Nas análises seguintes, embora o transporte dos componentes até à célula de montagem e o transporte posterior até aos postos de trabalho constituam fases do processo de abastecimento,

designa-se por abastecimento dos componentes apenas o processo de troca das respetivas embalagens. O processo de troca consiste na colocação das embalagens vazias no local definido para esse efeito e na abertura de uma embalagem cheia do componente correspondente. Note-se ainda que este processo tem um tempo associado, doravante denominado tempo de abastecimento.

Por indicação da organização, não se pretende identificar oportunidades de melhoria que estejam relacionadas com operadores externos à célula de montagem ou relativos ao coordenador da mesma. Assim, apenas se revela pertinente analisar o processo de troca dos componentes (em diante, designado por processo de abastecimento).

4.2.1. Abastecimento dos componentes montados no PT 1

De acordo com a informação apresentada anteriormente, os componentes necessários ao processo de montagem encontram-se armazenados em embalagens, tendo sido necessário, em primeira instância, aferir as unidades presentes em cada embalagem.

Posteriormente, determinou-se o uso de cada componente, isto é, a quantidade de unidades utilizadas por cada módulo montado. Consequentemente, calculou-se a frequência de abastecimento de cada componente. A observação detalhada do processo possibilitou registar os referidos valores que, para o primeiro posto de trabalho, se encontram discriminados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Análise do abastecimento dos componentes montados no PT 1

Componente	Quantidade (unid/embalagem)	Uso (unid/módulo)	Frequência de abastecimento
A	16	1	1/16
B	72	4	1/18
C	100	1	1/100
D	28	1	1/28
E	16	1	1/16
F	100	1	1/100

Examinando a tabela 4.1, afere-se que cada embalagem do componente A possui 16 unidades. Neste posto de trabalho, por cada módulo montado, é necessária 1 unidade do componente A, pelo que a frequência de abastecimento do respetivo componente é igual a 1/16. De facto, o valor obtido significa que, de acordo com o método de trabalho em vigor, é necessário substituir a embalagem do componente A a cada 16 módulos montados.

Por outro lado, uma embalagem de componentes B possui 72 unidades. Contudo, sendo necessárias 4 unidades do componente B para montar um módulo no primeiro posto de trabalho, a

respetiva frequência de abastecimento é igual a 1/18. Note-se que o raciocínio apresentado é válido para situações análogas.

Destaca-se ainda que a multiplicação do tempo de abastecimento de cada componente pela frequência correspondente permite determinar o tempo despendido por módulo no processo de abastecimento numa determinada etapa do processo de montagem.

4.2.2. Abastecimento dos componentes montados no PT 2

Analogamente à situação anterior, na tabela 4.2 constam os três componentes necessários para que a operação OP. 20 seja executada, bem como as respectivas quantidades existentes em cada embalagem, o uso e as frequências de abastecimento.

Tabela 4.2 – Análise do abastecimento dos componentes montados no PT 2

Componente	Quantidade (unid/embalagem)	Uso (unid/módulo)	Frequência de abastecimento
G	30	1	1/30
H	30	1	1/30
I	50	1	1/30

Salienta-se ainda que, devido ao facto das operações serem iguais em ambos os ramais da célula, os processos de abastecimento dos componentes também são iguais no ramal 1 e no ramal 2.

4.2.3. Abastecimento dos componentes montados no PT 3

No terceiro posto de trabalho da célula de montagem do produto *Sample A*, é necessário garantir o abastecimento de dois componentes distintos. A tabela 4.3 sintetiza os valores associados ao abastecimento dos componentes mencionados.

Tabela 4.3 – Análise do abastecimento dos componentes montados no PT 3

Componente	Quantidade (unid/embalagem)	Uso (unid/módulo)	Frequência de abastecimento
J	88	2	1/44
K	132	2	1/66

4.2.4. Abastecimento dos componentes montados no PT 4

Para que a quarta operação de montagem ocorra, é necessário abastecer cinco componentes no quarto posto de trabalho. Os dados apresentados na tabela 4.4 referem-se ao respetivo processo de abastecimento, indicando a quantidade de unidades de cada componente por embalagem, o uso e a frequência de abastecimento correspondente.

Tabela 4.4 – Análise do abastecimento dos componentes montados no PT 4

Componente	Quantidade (unid/embalagem)	Uso (unid/módulo)	Frequência de abastecimento
L	50	1	1/50
M	200	2	1/100
N	42	1	1/42
O	10	1	1/10
P	3000	4	1/750

4.2.5. Abastecimento dos componentes montados no PT 5

Tratando-se de uma fase de testes, no penúltimo posto de trabalho, apenas é necessário garantir a existência de um rolo de etiquetas, de modo a que as mesmas sejam impressas no final dos testes realizados. Porém, a troca do rolo das etiquetas e o abastecimento dos consumíveis da impressora são da responsabilidade do coordenador da célula, pelo que não se revelou pertinente determinar a frequência de abastecimento dos mesmos.

4.2.6. Abastecimento dos componentes montados no PT 6

Nesta etapa do processo produtivo, é fundamental assegurar a existência de sacos de plástico para embalar o produto acabado antes de este ser colocado no tapete de transferência. Todavia, analogamente à operação anterior, o abastecimento dos sacos de plástico é da responsabilidade do coordenador da célula. Como tal, não se aferiu a frequência de abastecimento associada à respetiva tarefa.

Por último, é importante frisar que, em todos os postos de trabalho da célula, é importante acautelar a existência de um rolo de papel, sendo que cada operador deve possuir material de escrita. Deste modo, todos os operadores estão aptos ao preenchimento das notas de falha.

4.3. Cronometragem e análise dos tempos de operação

Conhecidos os componentes necessários para montar o produto *Sample A* e as respetivas frequências de abastecimento, determinaram-se os tempos de operação verificados em cada posto de trabalho. O cálculo dos tempos de operação permitiu analisar de modo quantitativo o processo de montagem em estudo. De facto, a análise quantitativa das operações é a etapa inicial para que, posteriormente, sejam identificados os problemas existentes e as oportunidades de melhoria, de modo a aumentar a eficiência do processo.

A compreensão plena dos métodos de trabalho e o estudo das instruções de trabalho permitiram a divisão de cada uma das operações em elementos de atividade cíclicos e não cíclicos que, posteriormente, foram cronometrados. Neste caso, efetuou-se o estudo dos tempos com recurso à cronometragem, visto que o processo de montagem em análise apresenta ciclos de

trabalho curtos e repetitivos. Adicionalmente, refere-se que se optou pelo método de cronometragem com retorno a zero.

Tratando-se de um procedimento minucioso, que exige a prática e a experiência do analista (Buffa, 1972), revelou-se importante exercitar a cronometragem de tempos previamente ao registo efetivo dos dados. Destaca-se também que os operadores observados e os momentos cronometrados foram escolhidos aleatoriamente, de modo a garantir a imparcialidade do estudo. Por outro lado, aquando da cronometragem dos elementos de atividade cíclicos, procurou-se não medir períodos que englobassem a abertura de embalagens, uma vez que esses momentos pertencem ao processo de abastecimento e são contabilizados na análise dos elementos de atividade não cíclicos.

Com o intuito de simplificar o processo de registo de dados, foram construídas folhas de registos dos tempos cronometrados. A título ilustrativo, no anexo I e no anexo II, encontram-se duas folhas de registos construídas para a anotação dos tempos observados na operação OP. 10 C. Nas folhas supramencionadas, a operação já se encontra dividida em elementos de atividade, sendo que estes são representados por códigos.

Após o registo dos valores cronometrados, determinaram-se os tempos normais de cada elemento de atividade, cujos valores foram utilizados aquando da construção dos diagramas homem-máquina. É importante referir que os tempos normais foram calculados a partir dos tempos médios observados e, como tal, foi necessário validar as dimensões das amostras recolhidas, sendo que, aquando da validação das mesmas, foram adotados dois procedimentos distintos. Em primeiro lugar, optou-se por cronometrar vinte vezes cada elemento de atividade cíclico. Determinado o nível de significância pretendido, validou-se a dimensão da amostra, isto é, verificou-se se a quantidade de ciclos cronometrados foi suficiente. Por outro lado, uma vez que os elementos de atividade não cíclicos não ocorrem em todos os ciclos de trabalho e devido à reduzida frequência de alguns, optou-se por recolher amostras por conveniência, ou seja, foram cronometrados tantos ciclos de um elemento quanto possível. Em ambas as situações, foram desprezados momentos que contivessem elementos estranhos, de modo a não condicionar a veracidade da situação em estudo.

Tal como referido anteriormente, após a determinação do tempo normal de cada elemento de atividade cíclico e não cíclico, procedeu-se à construção dos diagramas homem-máquina. Os códigos atribuídos aos elementos de atividade também são utilizados para representá-los nos diagramas mencionados. Além disto, nos diagramas homem-máquina, cada elemento de atividade cíclico é ilustrado através de um bloco verde. Os elementos de atividade não cíclicos, devido à

sua curta duração num ciclo de trabalho, são agregados e representados num único bloco amarelo. Por outro lado, os períodos de inatividade são apresentados através de um bloco cinzento.

Deste modo, através da análise dos diagramas homem-máquina, tornou-se possível determinar os tempos das operações de montagem do produto *Sample A*, bem como aferir o gargalo de estrangulamento do processo. Note-se que os tempos de operação são tempos normais e que, no presente estudo, optou-se por não calcular os tempos padrão.

Recorda-se ainda que a célula de montagem possui dois ramais espelhados, isto é, as operações realizadas no ramal 1 são iguais às operações realizadas no ramal 2. Assim, à exceção da operação OP. 40, que é executada pelo mesmo operador em ambos os ramais, o processo de cronometragem incidiu apenas sobre as operações desenvolvidas nos postos de trabalho do ramal 1. Não obstante, as análises efetuadas e os valores determinados são válidos para ambos os ramais.

Por fim, salienta-se que, de acordo com as instruções de trabalho, no âmbito de todas as operações, são distinguidos dois tipos de ciclos de trabalho – o arranque de produção e a produção dita normal. Em cada posto de trabalho, quando é montado o produto *Sample A*, em primeira instância, ocorre um ciclo de trabalho correspondente ao arranque de produção, seguido por tantos ciclos de produção dita normal quanto necessários.

Todavia, no âmbito do estudo dos tempos e, particularmente, aquando da construção de diagramas homem-máquina, devem representar-se vários ciclos de trabalho, de modo a que o tempo de operação estabilize. Por este motivo, nas análises realizadas daqui em diante, os arranques de produção são desprezados para efeitos de medição de tempos.

4.3.1. OP. 10 A/OP. 10 B

Tal como explicitado anteriormente, aquando da medição de tempos através do processo de cronometragem, é importante, em primeira instância, decompor a operação em estudo em elementos de atividade cíclicos e não cíclicos.

Após a divisão da operação OP. 10 A/OP. 10 B em elementos de atividade cíclicos, os mesmos foram cronometrados vinte vezes, com o intuito de determinar o tempo médio observado referente a cada elemento. Seguidamente, de acordo com a perícia do operador observado, afetaram-se os elementos de atividade "homem" com um fator de atividade e calcularam-se os tempos normais da operação.

A tabela 4.5 apresenta o tempo médio observado (TMO), o fator de atividade (FA) atribuído a cada elemento de atividade "homem" e o tempo normal (TN) da operação OP. 10 A/OP.10 B.

Tabela 4.5 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 10 A/OP. 10 B

Código	Elementos de atividade cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	TN (s)	Operadores	
		"Homem"	"Máquina"				R1	R2
a	Retirar o componente A da embalagem e colocá-lo no dispositivo de fixação	✓		2,71	100	2,71	1	6
b	Deslocar o componente A para a esquerda		✓	1,43		1,43		
c	Retirar quatro componentes B e um componente C das embalagens e colocá-los na máquina (um de cada vez)	✓		10,19	100	10,19	1	6
d	Pressionar o interruptor	✓		0,47	100	0,47	1	6
e	Prensar os componentes B e C com o componente A		✓	10,65		10,65		
f	Colocar o componente E pré-preparado na base do dispositivo de fixação	✓		1,44	100	1,44	1	6
g	Deslocar o componente A para a direita		✓	1,53		1,53		
h	Retirar o componente D da embalagem e colocá-lo sobre componente A	✓		5,58	100	5,58	1	6
i	Retirar o componente E da base do dispositivo de fixação e colocá-lo sobre o componente D	✓		4,53	100	4,53	1	6
j	Pressionar o interruptor	✓		0,65	75	0,49	1	6
k	Prensar o componente A com o componente D		✓	7,02		7,02		
l	Retirar o componente E da embalagem e fazer a preparação do mesmo	✓		6,46	100	6,46	1	6
m	Retirar o módulo do dispositivo de fixação e colocá-lo na posição seguinte	✓		1,83	125	2,29	1	6
n	Reiniciar a operação	✓		1,75	100	1,75	1	6

A título de exemplo, através da leitura da tabela 4.5, constata-se que o tempo médio observado para o elemento de atividade "m" é igual a 1,83 segundos. A determinação deste valor corresponde à média aritmética das vinte observações realizadas.

Adicionalmente, uma vez que se trata de um elemento de atividade "homem", foi necessário afetar o tempo médio observado com um fator de atividade. O fator de atividade atribuído corresponde a 125%, uma vez que o operador observado, no decorrer das vinte cronometragens, apresentou segurança, destreza e coordenação de movimentos superiores à de um operador considerado normal. Por conseguinte, o tempo normal, expresso em segundos, é determinado através da expressão (2.7), tal como demonstrado de seguida.

$$TN_m = 1,83 \times \frac{125}{100} = 2,29 \text{ s}$$

O raciocínio explicitado anteriormente é válido para outras situações análogas no âmbito da análise dos elementos de atividade cíclicos. Conclui-se também que, através da leitura da tabela 4.5, o operador alocado à execução da operação de montagem OP. 10 A/OP. 10 B no ramal 1 (R1) é o operador 1 e o operador encarregue de realizar a mesma operação no ramal 2 (R2) é o operador 6.

Foi ainda necessário validar a dimensão da amostra recolhida de acordo com o nível de significância desejado, com o intuito de verificar se o número de ciclos cronometrados é superior ou igual ao valor determinado através da expressão (2.6). Deste modo, construiu-se a tabela 4.6 que apresenta, para cada elemento de atividade cíclico, o tempo médio observado (TMO), o desvio-padrão (σ), o nível de significância pretendido (α), o número de observações efetuadas (n) e os graus de liberdade (GDL) da amostra. Além disto, através da consulta de uma tabela da distribuição t de *Student* bicaudal, aferiu-se o valor do parâmetro t de *Student* para cada elemento de atividade cíclico e, posteriormente, determinou-se o número de observações que devem ser realizadas (N), sendo que os dois últimos parâmetros mencionados também se encontram explicitados na tabela apresentada seguidamente.

Tabela 4.6 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 10 A/OP. 10 B

Código	TMO (s)	σ (s)	α (%)	n	GDL (n-1)	t de <i>Student</i>	N	OK?
a	2,71	0,1939	5	20	19	2,093	9	OK
b	1,43	0,1085	5	20	19	2,093	11	OK
c	10,19	0,4336	5	20	19	2,093	4	OK
d	0,47	0,0204	5	20	19	2,093	4	OK
e	10,65	0,2822	5	20	19	2,093	2	OK
f	1,44	0,0720	5	20	19	2,093	5	OK
g	1,53	0,1389	5	20	19	2,093	15	OK
h	5,58	0,2748	5	20	19	2,093	5	OK
i	4,53	0,3892	5	20	19	2,093	13	OK
j	0,65	0,0391	5	20	19	2,093	7	OK
k	7,02	0,1994	5	20	19	2,093	2	OK
l	6,46	0,6602	5	20	19	2,093	19	OK
m	1,83	0,1178	5	20	19	2,093	8	OK
n	1,75	0,1619	5	20	19	2,093	15	OK

Note-se que a primeira coluna da tabela 4.6 diz respeito ao código atribuído a cada elemento de atividade e a última coluna indica a validade da dimensão da amostra. Se a dimensão da amostra for válida, lê-se a indicação "OK" sobre um fundo verde, caso contrário, surge o termo "NOK" sobre um fundo vermelho.

A título ilustrativo, para o elemento de atividade "a", o número de observações que devem ser realizadas é determinado através da expressão (2.6).

$$N_a = \left(\frac{2,093 \times 0,1939}{0,05 \times 2,71} \right)^2 = 8,97 \approx 9 \text{ observações}$$

Uma vez que $N \leq n$, a dimensão da amostra cronometrada é suficiente para garantir o nível de significância desejado, pelo que as vinte observações realizadas relativamente ao elemento de atividade cíclico "a" são suficientes. Analogamente, por observação da tabela 4.6, constatou-se a

validade da dimensão de todas as amostras referentes aos restantes elementos de atividade cíclicos da operação OP. 10 A/OP. 10 B.

Por outro lado, os elementos de atividade não cíclicos associados à primeira operação de montagem encontram-se detalhados na tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Análise dos elementos não cíclicos da operação OP. 10 A/OP. 10 B

Código	Elementos de atividade não cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	Frequência de abastecimento	TN (s)	Operadores	
		"Homem"	"Máquina"					R1	R2
1a	Aprovisionar uma embalagem de componentes E, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		3,03	100	1/16	0,19	1	6
1b	Aprovisionar uma embalagem de componentes A, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		9,75	100	1/16	0,61	1	6
1c	Aprovisionar uma embalagem de componentes B, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		3,12	100	1/18	0,17	1	6
1d	Aprovisionar uma embalagem de componentes C, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		3,46	100	1/100	0,03	1	6
1e	Aprovisionar uma embalagem de componentes F, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		3,85	100	1/100	0,04	1	6
1f	Aprovisionar uma embalagem de componentes D, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		21,41	100	1/28	0,76	1	6

Por observação da tabela 4.7, constata-se que os elementos de atividade não cíclicos são todos executados por operadores, pelo que são considerados elementos de atividade “homem”. Além disto, os referidos elementos são afetados com uma frequência e com um fator de atividade. A título de exemplo, o tempo normal do elemento de atividade não cíclico "1a", expresso em segundos, é determinado através da equação (2.7), tal como apresentado de seguida.

$$TN_{1a} = 3,03 \times \frac{100}{100} \times \frac{1}{16} = 0,19 \text{ s}$$

Após o tratamento dos dados apresentados anteriormente, procedeu-se à construção do diagrama homem-máquina para ilustrar a operação em análise. O diagrama homem-máquina é apresentado no anexo III, onde consta a representação de um ciclo de trabalho que não corresponde ao arranque de produção.

É ainda relevante referir que, neste trabalho, considera-se que os tempos de inatividade "homem" ou "máquina" dizem respeito aos momentos em que o operador ou a máquina não se encontram a trabalhar ou a funcionar, respetivamente. Por exemplo, se o operador estiver a carregar a máquina, isto é, a prepará-la para que possa, posteriormente, funcionar, considera-se que o operador está a executar um elemento de atividade e que a máquina se encontra inativa.

Este princípio encontra-se na base de construção dos diagramas homem-máquina elaborados no âmbito deste trabalho.

Posteriormente, através da análise do diagrama acima referido, determinaram-se valores que permitiram a análise quantitativa da operação OP. 10 A/OP. 10 B. Concretamente, determinou-se o tempo de operação (TO), o tempo "homem" (TH) e o tempo "máquina" (TM).

A tabela 4.8 sintetiza os valores determinados.

Tabela 4.8 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 10 A/OP. 10 B

TO (s)	TH (s)	TM (s)
47,48	37,71	20,63

4.3.2. OP. 10 C e OP. 20

Tal como referido anteriormente, as operações OP. 10 C e OP. 20 são realizadas nos segundo e terceiro postos de trabalho da célula de montagem do produto *Sample A* pelo mesmo operador. Deste modo, a análise das mesmas deve ser feita em conjunto e deve ser construído apenas um diagrama homem-máquina para ilustrar as operações mencionadas.

À semelhança do procedimento adotado anteriormente, as operações devem ser divididas em elementos de atividade. Os elementos de atividade cíclicos relativos à operação OP. 10 C e os respetivos valores calculados encontram-se listados na tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 10 C

Código	Elementos de atividade cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	TN (s)	Operadores	
		"Homem"	"Máquina"				R1	R2
o	Trancar e rodar o módulo 180°		✓	1,44		1,44		
p	Colocar os componentes G, H e I	✓		10,35	100	10,35	2	7
q	Pressionar o interruptor	✓		0,66	75	0,50	2	7
r	Ativar o sistema de visão e rodar o módulo 180°		✓	1,65		1,65		
s	Encaixar o componente F no conector e fechar o conector	✓		2,54	100	2,54	2	7
t	Pressionar o interruptor	✓		0,66	75	0,50	2	7
u	Imprimir a etiqueta		✓	1,67		1,67		
v	Retirar e colar a etiqueta no componente D e colocar o módulo na posição de espera	✓		7,91	100	7,91	2	7
w	Ir até à OP. 20	✓		1,29	100	1,29	2	7

Seguidamente, para garantir que as medições efetuadas estão de acordo com o nível de significância escolhido, é necessário garantir que $N \leq n$. A nomeada análise encontra-se na tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 10 C

Código	TMO (s)	σ (s)	α (%)	n	GDL (n-1)	t de Student	N	OK?
o	1,44	0,0485	5	20	19	2,093	2	OK
p	10,35	0,6211	5	20	19	2,093	7	OK
q	0,66	0,0405	5	20	19	2,093	7	OK
r	1,65	0,1305	5	20	19	2,093	12	OK
s	2,54	0,2613	5	20	19	2,093	19	OK
t	0,66	0,0298	5	20	19	2,093	4	OK
u	1,67	0,0807	5	20	19	2,093	5	OK
v	7,91	0,6899	5	20	19	2,093	14	OK
w	1,29	0,0473	5	20	19	2,093	3	OK

Por observação da tabela 4.10, verifica-se que os tempos cronometrados são suficientes para garantir o nível de significância pretendido.

Por outro lado, os três elementos de atividade não cíclicos referentes à operação OP. 10 C, cuja frequência de abastecimento é igual para os três, encontram-se enumerados na tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Análise dos elementos não cíclicos da operação OP. 10 C

Código	Elementos de atividade não cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	Frequência de abastecimento	TN (s)	Operadores	
		"Homem"	"Máquina"					R1	R2
2a	Aprovisionar uma embalagem de componentes G, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		7,58	100	1/30	0,25	2	7
2b	Aprovisionar uma embalagem de componentes H, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		7,62	100	1/30	0,25	2	7
2c	Aprovisionar uma embalagem de componentes I, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		7,48	100	1/30	0,15	2	7

Finalizada a análise da operação OP. 10 C, estudou-se a operação OP. 20, com o objetivo de construir o diagrama homem-máquina relativo a ambas as operações.

Os elementos de atividade cíclicos que compõe a operação OP. 20 encontram-se apresentados na tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 20

Código	Elementos de atividade cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	TN (s)	Operadores	
		"Homem"	"Máquina"				R1	R2
x	Colocar o módulo no dispositivo de fixação	✓		2,93	75	2,20	2	7
y	Pressionar o interruptor	✓		0,50	100	0,50	2	7
z	Colocar dois componentes J e dois componentes K (um de cada vez)	✓		10,84	100	10,84	2	7
aa	Ir até à OP. 10 C	✓		1,29	100	1,29	2	7
ab	Prensar os componentes J e K		✓	19,92		19,92		
ac	Retirar o módulo do dispositivo de fixação e colocá-lo na posição de espera	✓		1,76	100	1,76	2	7
ad	Reiniciar a operação	✓		1,29	100	1,29	2	7

Paralelamente à determinação dos valores acima apresentados para cada elemento de atividade, validou-se a dimensão da amostra. Em suma, a tabela 4.13 esclarece que o número de tempos cronometrados é suficiente para garantir o nível de significância escolhido.

Tabela 4.13 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 20

Código	TMO (s)	σ (s)	α (%)	n	GDL (n-1)	t de Student	N	OK?
x	2,93	0,0986	0,05	20	19	2,093	2	OK
y	0,50	0,0536	0,05	20	19	2,093	20	OK
z	10,84	0,4831	0,05	20	19	2,093	4	OK
aa	1,29	0,0473	0,05	20	19	2,093	3	OK
ab	19,92	0,6137	0,05	20	19	2,093	2	OK
ac	1,76	0,1823	0,05	20	19	2,093	19	OK
ad	1,29	0,0473	0,05	20	19	2,093	3	OK

Além disto, os dois elementos de atividade não cíclicos relativos à operação OP. 20 são apresentados na tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Análise dos elementos não cíclicos da operação OP. 20

Código	Elementos de atividade não cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	Frequência de abastecimento	TN (s)	Operadores	
		"Homem"	"Máquina"					R1	R2
3a	Aprovisionar uma embalagem de componentes J, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		4,56	100	1/44	0,10	2	7
3b	Aprovisionar uma embalagem de componentes K, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		4,67	100	1/66	0,07	2	7

Após o registo e tratamento dos dados referentes às duas operações em análise, surge a construção do diagrama homem-máquina, que se encontra no anexo IV. No referido diagrama, encontram-se representados um ciclo de trabalho da operação OP. 10 C e um ciclo de trabalho da operação OP. 20, sendo que nenhum dos referidos ciclos corresponde ao arranque de produção. De facto, não se pretende analisar o arranque de produção das operações, mas sim os restantes ciclos, visto que são esses que constituem a maioria do processo de montagem do produto *Sample A*. Além disto, refere-se que, quando se inicia o segundo ciclo de trabalho relativo à operação OP. 10 C, para efeitos do estudo, foi necessário assumir que o elemento de atividade "o" começa no momento em que o elemento de atividade "aa" termina.

A análise do diagrama homem-máquina permitiu, primeiramente, a quantificação da operação OP. 10 C, através da determinação dos valores apresentados na tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 10 C

TO (s)	TH (s)	TM (s)
46,55	23,74	4,76

Por outro lado, os valores determinados no âmbito da operação OP. 20 encontram-se na tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 20

TO (s)	TH (s)	TM (s)
46,55	18,05	19,92

Salienta-se que o tempo "homem" de uma operação apenas engloba os períodos em que o operador se encontra a executar tarefas pertencentes à referida operação. Como tal, no caso da operação OP. 20, embora o operador se encontre ativo entre a realização dos elementos "aa" e "ac", esse período não é contabilizado no tempo "homem" da operação OP. 20, mas sim no tempo "homem" da operação antecedente.

4.3.3. OP. 30

Na operação OP. 30 todos os elementos de atividade cíclicos, à exceção de um, são elementos de atividade "homem". De facto, trata-se de uma operação pouco automatizada, pelo que depende fortemente do fator humano, isto é, da perícia e ritmo de trabalho do operador encarregue de a executar.

Além disto, considera-se que a operação em análise é instável, devido às falhas frequentes que se verificam aquando da sua execução. Em particular, destaca-se a dificuldade constatada no posicionamento correto dos parafusos no momento de aparafusar os componentes do painel de instrumentos.

De facto, trata-se de uma operação maioritariamente manual e passível de falhas frequentes. O problema verificado deve ser devidamente analisado e constitui a identificação de uma oportunidade de melhoria, para a qual deve ser determinada uma solução adequada aquando da formulação de propostas de melhoria.

Assim, devido às razões enunciadas anteriormente, deve atentar-se principalmente nesta operação, na medida em que o seu estado atual deve ser corretamente caracterizado. A correta análise quantitativa da operação permite que, numa fase posterior, os problemas sejam priorizados, de modo a alocar eficientemente os recursos, ou seja, de forma a determinar as melhorias mais adequadas para a situação em estudo.

A tabela 4.17 enumera os elementos de atividade cíclicos da operação OP. 30, bem como o tempo médio observado (TMO), o fator de atividade (FA) atribuído a cada elemento de atividade "homem" e o tempo normal (TN) da operação OP. 30.

Tabela 4.17 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 30

Código	Elementos de atividade cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	TN (s)	Operadores	
		"Homem"	"Máquina"				R1	R2
ae	Retirar o componente L da embalagem	✓		1,42	100	1,42	3	8
af	Colocar 2 componentes M no componente L	✓		3,56	100	3,56	3	8
ag	Encaixar o componente L no dispositivo de fixação	✓		1,75	100	1,75	3	8
ah	Retirar o módulo da posição de espera e colocá-lo por cima do componente L	✓		3,74	100	3,74	3	8
ai	Retirar o componente N da embalagem e retirar o saco de plástico	✓		3,72	75	2,79	3	8
aj	Encaixar o componente N por cima do módulo	✓		2,69	125	3,36	3	8
ak	Retirar o componente O da embalagem, soprar com ar ionizado e encaixá-lo por cima do componente N	✓		8,90	100	8,90	3	8
al	Pressionar o interruptor	✓		0,53	100	0,53	3	8
am	Prensar o módulo		✓	9,93		9,93		
an	Retirar quatro componentes P (um de cada vez) e realizar a montagem	✓		15,25	125	19,06	3	8
ao	Retirar o módulo, fazer uma inspeção e colocá-lo na posição seguinte	✓		1,59	125	1,99	3	8
ap	Reiniciar a operação	✓		1,44	75	1,08	3	8

Consultando tabela 4.17, verifica-se que o elemento de atividade cíclico "an", para além de ser classificado como elemento de atividade "homem", é o elemento preponderante da operação, uma vez que o seu tempo normal é superior aos tempos normais dos restantes elementos de atividade cíclicos da operação OP. 30.

Adicionalmente, com o intuito de aferir se a dimensão da amostra recolhida é suficiente, procedeu-se à construção da tabela 4.18.

Tabela 4.18 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 30

Código	TMO (s)	σ (s)	α (%)	n	GDL (n-1)	t de Student	N	OK?
ae	1,42	0,1113	5	20	19	2,093	11	OK
af	3,56	0,3305	5	20	19	2,093	16	OK
ag	1,75	0,0843	5	20	19	2,093	5	OK
ah	3,74	0,2181	5	20	19	2,093	6	OK
ai	3,72	0,2669	5	20	19	2,093	10	OK
aj	2,69	0,2617	5	20	19	2,093	17	OK
ak	8,90	0,4408	5	20	19	2,093	5	OK
al	0,53	0,0444	5	20	19	2,093	13	OK
am	9,93	0,3153	5	20	19	2,093	2	OK
an	15,25	0,6171	5	20	19	2,093	3	OK
ao	1,59	0,1669	5	20	19	2,093	20	OK
ap	1,44	0,0833	5	20	19	2,093	6	OK

De acordo com a tabela 4.18 apresentada acima, conclui-se que as amostras recolhidas são suficientes, isto é, respeitam o nível de significância previamente estabelecido.

Por outro lado, os elementos de atividade não cíclicos da operação OP. 30 encontram-se ilustrados na tabela 4.19.

Tabela 4.19 – Análise dos elementos não cíclicos da operação OP. 30

Código	Elementos de atividade não cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	Frequência de abastecimento	TN (s)	Operadores	
		"Homem"	"Máquina"					R1	R2
4a	Aprovisionar uma embalagem de componentes L, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		14,21	100	1/50	0,28	3	8
4b	Aprovisionar uma embalagem de componentes M, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		13,61	100	1/100	0,14	3	8
4c	Aprovisionar uma embalagem de componentes N, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		10,75	100	1/42	0,26	3	8
4d	Aprovisionar uma embalagem de componentes P, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		8,41	100	1/750	0,01	3	8
4e	Aprovisionar uma embalagem de componentes O, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente	✓		10,48	100	1/10	1,05	3	8

Por observação da tabela 4.19, verifica-se que esta operação requer a realização de vários elementos de atividade não cíclicos "homem", o que potencia a sua instabilidade. E o tempo médio observado para cada elemento é significativo, o que contribui para o aumento do tempo de operação.

Determinados os tempos normais dos elementos de atividade cíclicos e não cíclicos, procedeu-se à construção do diagrama homem-máquina, que se encontra no anexo V. O diagrama ilustra apenas um ciclo de trabalho da operação. Posteriormente à análise do referido diagrama, determinam-se o tempo de operação, o tempo "homem" e o tempo "máquina" da operação em estudo, tal como apresentado na tabela 4.20.

Tabela 4.20 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 30

TO (s)	TH (s)	TM (s)
59,85	49,92	9,93

4.3.4. OP. 40

Tal como referido anteriormente, a operação OP. 40 é realizada pelo mesmo operador em ambos os ramais da célula de montagem, pelo que foi essencial estudar a operação relativamente aos ramais 1 e 2. Assumiu-se que os tempos cronometrados são iguais nos dois ramais e, por conseguinte, a análise dos mesmos revela as mesmas conclusões. Contudo, na representação do diagrama homem-máquina é necessário incluir os tempos relativos a ambos os ramais.

Embora a análise realizada seja igual para ambos os ramais, são atribuídos códigos distintos aos elementos de atividade cíclicos, de acordo com o ramal onde ocorre a operação, com o intuito de clarificar o entendimento posterior do diagrama homem-máquina. Deste modo, relativamente à operação OP. 40 realizada no ramal 1, os elementos de atividade cíclicos encontram-se enumerados na tabela 4.21.

Tabela 4.21 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 40 (R1)

Código	Elementos de atividade cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	TN (s)	Operador
		"Homem"	"Máquina"				
aq1	Retirar dois módulo da posição de espera e encaixá-los no dispositivo de fixação	✓		7,79	75	5,84	4
ar1	Testar os módulos		✓	73,37		73,37	
as1	Imprimir a etiqueta 1		✓	1,65		1,65	
at1	Imprimir a etiqueta 2		✓	1,65		1,65	
au1	Retirar os módulos do dispositivo de fixação, colar as etiquetas e colocá-los na posição de espera	✓		17,22	100	17,22	4
av1	Reiniciar a operação	✓		0,88	100	0,88	4

Com o intuito de verificar se a dimensão da amostra recolhida é adequada, procedeu-se à elaboração da tabela 4.22, apresentada seguidamente.

Tabela 4.22 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 40 (R1)

Código	TMO (s)	σ (s)	α (%)	n	GDL (n-1)	t de Student	N	OK?
aq1	7,79	0,7468	5	20	19	2,093	17	OK
ar1	73,37	0,7001	5	20	19	2,093	1	OK
as1	1,65	0,0519	5	20	19	2,093	2	OK
at1	1,65	0,0519	5	20	19	2,093	2	OK
au1	17,22	0,6722	5	20	19	2,093	3	OK
av1	0,88	0,0489	5	20	19	2,093	6	OK

Conclui-se, portanto, que a dimensão da amostra é suficiente para garantir o nível de significância desejado.

Os elementos de atividade cíclicos da operação OP. 40, referentes ao ramal 2, encontram-se na tabela 4.23.

Tabela 4.23 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 40 (R2)

Código	Elementos de atividade cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	TN (s)	Operador
		"Homem"	"Máquina"				
aq2	Retirar dois módulo da posição de espera e encaixá-los no dispositivo de fixação	✓		7,79	75	5,84	4
ar2	Testar os módulos		✓	73,37		73,37	
as2	Imprimir a etiqueta 1		✓	1,65		1,65	
at2	Imprimir a etiqueta 2		✓	1,65		1,65	
au2	Retirar os módulos do dispositivo de fixação, colar as etiquetas e colocá-los na posição de espera	✓		17,22	100	17,22	4
av2	Reiniciar a operação	✓		0,88	100	0,88	4

Analogamente à situação verificada no ramal 1, é necessário garantir que as vinte observações realizadas para cada elemento de atividade cíclico são suficientes para assegurar o nível de significância pretendido. Assim, construiu-se a tabela 4.24.

Tabela 4.24 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 40 (R2)

Código	TMO (s)	σ (s)	α (%)	n	GDL (n-1)	t de Student	N	OK?
aq2	7,79	0,7468	5	20	19	2,093	17	OK
ar2	73,37	0,7001	5	20	19	2,093	1	OK
as2	1,65	0,0519	5	20	19	2,093	2	OK
at2	1,65	0,0519	5	20	19	2,093	2	OK
au2	17,22	0,6722	5	20	19	2,093	3	OK
av2	0,88	0,0489	5	20	19	2,093	6	OK

Importa referir que o *output* de cada ramal, neste posto de trabalho, são dois módulos. Ao elaborar o diagrama homem-máquina, apresentado no anexo VI, utilizam-se os tempos normais relativos à montagem de dois painéis de instrumentos, pelo que todos os parâmetros determinados a partir do diagrama são referentes à montagem de dois módulos.

Devido à proximidade entre os dois ramais, foram desprezadas as deslocações do operador entre o ramal 1 e o ramal 2. Destaca-se ainda que as segundas etiquetas (elementos de atividade "at1" e "at2") só são impressas depois do operador retirar as primeiras etiquetas (elementos de atividade "as1" e "as").

Por outro lado, considera-se que as operações são realizadas de modo intercalado, ou seja, não são executados dois elementos sucessivos de uma operação, mas sim um elemento da operação realizada no ramal 1 seguida de um elemento da operação realizada no ramal 2. Além disto, o diagrama homem-máquina construído é composto por dois ciclos de trabalho de cada operação. Isto deve-se ao facto do tempo de operação ser superior no arranque de produção face aos ciclos seguintes. A representação de mais do que um ciclo de trabalho permite que o tempo de operação estabilize.

Os parâmetros presentes na tabela 4.25 foram determinados através da análise do segundo ciclo de trabalho da operação OP. 40 realizada no ramal 1.

Tabela 4.25 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 40 (R1)

TO (s)	TH (s)	TM (s)
117,06	47,88	76,67

Posteriormente, a análise do segundo ciclo de trabalho da operação OP. 40 executada no ramal 2 permitiu calcular os parâmetros apresentados na tabela 4.26.

Tabela 4.26 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 40 (R2)

TO (s)	TH (s)	TM (s)
117,06	47,88	76,67

4.3.5. OP. 50

Antes de colocar o produto acabado no tapete de transferência para expedição, realiza-se a operação OP. 50. À semelhança da operação OP. 40, trata-se de uma etapa de realização de testes finais ao produto. A decomposição da operação em elementos de atividade encontra-se na tabela 4.27.

Tabela 4.27 – Análise dos elementos cíclicos da operação OP. 50

Código	Elementos de atividade cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	TN (s)	Operadores	
		"Homem"	"Máquina"				R1	R2
aw	Retirar o módulo da posição de espera, fazer uma pré-inspeção e encaixá-lo no dispositivo de fixação	✓		7,50	100	7,50	5	9
ax	Testar o módulo		✓	9,00		9,00		
ay	Pressionar o interruptor	✓		0,50	100	0,50	5	9
az	Testar o módulo		✓	3,30		3,30		
ba	Pressionar o interruptor	✓		0,50	100	0,50	5	9
bb	Testar o módulo		✓	6,80		6,80		
bc	Pressionar o interruptor	✓		0,50	100	0,50	5	9
bd	Testar o módulo		✓	4,20		4,20		
be	Retirar o módulo do dispositivo de fixação, empacotá-lo e colocá-lo no tapete de transferência	✓		5,53	100	5,53	5	9
bf	Reiniciar a operação	✓		0,94	100	0,94	5	9

Os elementos de atividade cíclicos "ax", "az", "bb" e "bd" correspondem a testes efetuados pelo equipamento, ou seja, são elementos de atividade "máquina", tal como indicado na tabela 4.27. Como tal, optou-se por não cronometrar os tempos normais que lhes estão associados. O tempo médio observado foi determinado remotamente, através de um sistema informático que

calcula a média de vários registos. Assim, não se justifica validar a dimensão da amostra relativamente aos elementos acima mencionados.

Contudo, os elementos de atividade cíclicos "aw", "ay", "ba", "bc", "be" e "bf" são classificados como elementos de atividade "homem", pelo que foi necessário afetar os elementos mencionados com um fator de atividade adequado. Adicionalmente, dado que foram cronometrados os tempos associados aos referidos elementos, revelou-se importante validar a dimensão das amostras recolhidas, à semelhança no procedimento adotado na análise de operações anteriores.

A tabela 4.28 apresenta a validação da dimensão das amostras recolhidas.

Tabela 4.28 – Validação da dimensão da amostra para a operação OP. 50

Código	TMO (s)	σ (s)	α (%)	n	GDL (n-1)	t de Student	N	OK?
aw	7,50	0,4976	5	20	19	2,093	8	OK
ax	9,00							
ay	0,50	0,0186	5	20	19	2,093	2	OK
az	3,30							
ba	0,50	0,0137	5	20	19	2,093	1	OK
bb	6,80							
bc	0,50	0,0349	5	20	19	2,093	8	OK
bd	4,20							
be	5,53	0,3046	5	20	19	2,093	6	OK
bf	0,94	0,0968	5	20	19	2,093	19	OK

A validação da dimensão das amostras permitiu, por conseguinte, construir o diagrama homem-máquina da operação, apresentado no anexo VII.

A observação e análise cuidada do diagrama permitiu concluir que o operador se encontra inativo durante um extenso período. Assim, neste contexto, identificou-se a oportunidade de melhorar a eficiência do processo de montagem, através da alocação de um único operador a ambos os ramais aquando da realização da operação OP. 50. A identificação desta oportunidade de melhoria será discutida e avaliada no quinto capítulo da dissertação.

Os parâmetros determinados a partir da análise do diagrama homem-máquina construído encontram-se na tabela 4.29.

Tabela 4.29 – Análise quantitativa do estado atual da operação OP. 50

TO (s)	TH (s)	TM (s)
38,77	15,47	23,30

4.4. Síntese da análise do estado atual do processo de montagem

Determinados os tempos de operação, procedeu-se ao cálculo da taxa de produção da célula de montagem do produto *Sample A*. Sabe-se que o *output* de cada posto de trabalho, à exceção do quarto posto, é um módulo montado. Em contrapartida, o *output* do quarto posto de trabalho são dois módulos montados, uma vez que a máquina utilizada possui a capacidade de testar duas unidades em simultâneo. Assim, com o intuito de comparar os seis tempos de operação aferidos, procedeu-se à divisão do tempo da operação OP. 40, de modo a obter um valor expresso em unidades de tempo por módulo.

A tabela 4.30 resume os tempos de operação anteriormente determinados, bem como o tempo de ciclo da montagem do produto *Sample A*.

Tabela 4.30 – Tempos de operação do processo de montagem (estado atual)

Operação	TO (s)	TC (s)
OP. 10 A/OP. 10 B	47,48	59,85
OP. 10 C	43,33	
OP. 20	46,55	
OP. 30	59,85	
OP. 40	58,53	
OP. 50	38,77	

Através da análise da tabela 4.30, conclui-se que a operação OP. 30 constitui o gargalo de estrangulamento do processo de montagem, dado que é a operação que apresenta o tempo de operação mais elevado. Trata-se da operação que limita a produção da célula de montagem, sendo que a taxa de produção correspondente é determinada através da expressão (2.3), tal como ilustrado infra.

$$TP = \frac{1}{59,85} \times 3600 = 60,15 \approx 60 \text{ unid/h}$$

O cálculo exposto acima indica que é montada uma unidade do produto *Sample A* a cada 59,85 segundos, pelo que são montados 60 painéis de instrumentos numa hora. Todavia, devido ao facto de existirem dois ramais na célula analisada, a taxa de produção do produto *Sample A* é o dobro do valor apresentado anteriormente. Conclui-se portanto que são montados 120 produtos por hora.

Recorda-se ainda que a operação OP. 30 é pouco automatizada e é considerada instável, devido à ocorrência de falhas frequentes. Porém, Chase & Aquilano (1995) referem que o gargalo de estrangulamento de um processo deve ser uma operação tão automatizada quanto possível. Apesar dos avanços tecnológicos que se têm verificado nas últimas décadas, a presença de

operadores no seio da produção industrial não é, geralmente, dispensável. No entanto, uma operação essencialmente manual não deve ser o gargalo de estrangulamento de um processo, uma vez que o desempenho das máquinas é mais consistente do que o do homem (Aft, 2000). Deste modo, a alteração do gargalo de estrangulamento do processo de montagem constitui uma oportunidade de melhoria a explorar no quinto capítulo da presente dissertação.

Tratando-se de um sistema *pull* e devido ao dinamismo característico de uma indústria, o volume produzido diariamente na célula de montagem não é estático, ou seja, o número de unidades produzidas não é sempre igual. Para efeitos do estudo, considerou-se a média estimada dos volumes pedidos pelo cliente para doze meses, sendo o valor da mesma igual a 439 unidades. Os cálculos efetuados posteriormente são baseados na média determinada. Não obstante, é fundamental reconhecer que, na prática, podem ocorrer algumas variações relativas ao volume produzido. Estas variações têm uma implicação direta nas horas de produção e na quantidade dos recursos alocados à mesma.

Assim, com o objetivo de quantificar os recursos necessários para produzir o volume diário considerado, elaborou-se a tabela 4.31 A tabela mencionada resume o estado atual do processo de montagem de acordo com os dados registados e tratados pelo analista, detalhando as operações realizadas, os tempos de operação (TO), os tempos de ciclo (TC), as taxas de produção (TP) dos ramaís e da célula, o volume diário pedido pelo cliente e a ocupação da célula expressa em horas.

Tabela 4.31 – Resumo do estado atual do processo de montagem

Produto	Ramal	Operação	TO (s)	TC (s)	TP do ramal (unid/h)	TP da célula (unid/h)	Volume diário (unid)	Ocupação da célula (h)
Sample A	1	OP. 10 A/OP. 10 B	47,48	59,85	60	120	439	3,66
		OP. 10 C	43,33					
		OP. 20	46,55					
		OP. 30	59,85					
		OP. 40	58,53					
		OP. 50	38,77					
	2	OP. 10 A/OP. 10 B	47,48	59,85	60			
		OP. 10 C	43,33					
		OP. 20	46,55					
		OP. 30	59,85					
		OP. 40	58,53					
		OP. 50	38,77					

A análise da tabela 4.31 permite aferir que, de acordo com a taxa de produção da célula, para montar 439 painéis de instrumentos, são necessárias 3,66 horas. O valor calculado representa a ocupação da célula e é dado pela expressão apresentada abaixo.

$$Ocupação da célula = \frac{439}{120} = 3,66 h$$

Estando a célula ocupada durante 3,66 horas, é indispensável alocar os recursos necessários à montagem do produto *Sample A* durante o referido período. Entre os recursos mencionados, destacam-se nove operadores aptos à execução das operações do processo de montagem, um coordenador da célula e as respetivas máquinas. Refere-se ainda que, de acordo com a estratégia laboral definida pela empresa, um turno de trabalho corresponde a, aproximadamente, 7,67 horas. Assim, a força de trabalho é alocada durante 3,66 horas à montagem do produto *Sample A*, sendo que nas restantes horas do turno, os recursos devem ser alocados a outros trabalhos realizados na organização. No entanto, a gestão de recursos humanos não pertence ao âmbito da dissertação.

Além disto, determinou-se a medida de produtividade parcial, que relaciona o *output* do processo apenas com um *input* (Thor & Christopher, 1993). Neste caso, o *input* considerado corresponde à força de trabalho alocada à realização das operações, tal como demonstrado de seguida.

$$\textit{Produtividade parcial} = \frac{120}{9} \approx 13,33 \textit{ unid/operador.h}$$

A determinação da medida de produtividade parcial permite caracterizar a eficiência atual do processo estudado, pois constitui uma das melhores medidas para aferir níveis de eficiência. De facto, quanto maior for a produtividade de uma organização, maior é a sua eficiência e competitividade. Na presente situação, a medida de produtividade parcial expressa que, por cada operador alocado à realização das operações do processo e por hora, são montadas cerca de 13 unidades.

Em suma, finalizada a análise do estado atual do processo de montagem, identificaram-se os seguintes problemas e oportunidades de melhoria:

- a) O gargalo de estrangulamento do processo de montagem é uma operação considerada instável e essencialmente manual;
- b) A verificação da possibilidade de produzir recorrendo a uma força de trabalho menor;
- c) A eliminação de tarefas sem valor acrescentado.

No capítulo seguinte, pretende-se que os tópicos acima enunciados sejam colmatados.

CAPÍTULO 5 – Procedimento de melhoria do processo de montagem

Mediante a análise do estado atual do processo de montagem do produto *Sample A*, surge o quinto capítulo da dissertação, que consiste na elaboração de propostas de melhoria. As propostas mencionadas visam a melhoria da gestão da célula de montagem estudada, atentando particularmente no aumento da eficiência do processo analisado. Concretamente, pretende-se propor alterações aos métodos de trabalho atualmente em vigor. Aft (2000) reforça que a melhoria dos métodos de trabalho e a identificação e sugestão de possíveis alterações proporcionam a simplificação do modo como o trabalho é realizado e, eventualmente, podem aumentar a produtividade da organização. Wilson (2010) acrescenta ainda que a aplicação de ferramentas *Lean Manufacturing*, bem como as reduções de tempos de ciclo, são importantes, pois promovem a estabilidade dos processos produtivos, facilitam a gestão de problemas de qualidade e impulsionam a redução de desperdícios.

5.1. Aplicação da análise substância-campo na formulação de melhorias

Numa ótica de melhoria contínua e face à análise efetuada no capítulo anterior, no presente capítulo aplica-se a análise substância-campo ao caso em estudo. Pretende-se que a referida ferramenta da metodologia TRIZ auxilie na concretização de propostas de melhoria. De facto, Ilevbare, et al. (2013) referem que, com o intuito de mapear o sistema a analisar sem que sejam acrescentados pormenores desnecessários, deve utilizar-se a análise substância-campo.

Destaca-se ainda que, tal como mencionado anteriormente, de acordo com os requisitos expostos pela organização, não se pretende que as melhorias determinadas incorram em novos investimentos financeiros. Além disto, todas as melhorias propostas devem ser justificadas, isto é, deve aferir-se se as mesmas têm um impacto positivo no processo de montagem do produto *Sample A* e se promovem o cumprimento do objetivo proposto.

5.1.1. Sistema atual

No presente caso de estudo, definiu-se como substância 1 (S1) os recursos da organização, ou seja, os operadores e as máquinas alocados à célula de montagem. Por outro lado, a substância 2 (S2) é o produto montado na célula mencionada, sendo que o campo (C) representa o processo de montagem.

De acordo com os quatro modelos básicos da análise substância-campo, conclui-se que o sistema atual é ineficiente. De facto, em consequência da análise do estado atual do processo de montagem, foram identificadas oportunidades de melhoria, ou seja, a eficiência do mesmo é passível de ser aumentada.

O sistema atual descrito anteriormente encontra-se esquematizado na figura 5.1.

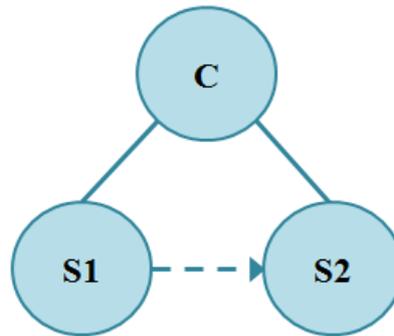


Figura 5.1– Sistema atual

5.1.2. Introdução do campo 1 (C1)

Face ao objetivo primordial do estudo e à caracterização do sistema atual, introduziu-se um novo campo no sistema, o campo 1 (C1). Este campo consiste na alteração do processo de montagem do componente B e na antecipação do encaixe do componente F. O componente B é montado no primeiro posto de trabalho da célula, no âmbito da operação OP. 10 A/OP. 10 B, e o encaixe do componente F sucede na operação OP. 10 C. A introdução de um novo campo visa criar impacto positivo no sistema atual e representa a sexta solução geral do conjunto das sete soluções gerais condensadas (Navas, 2017). O novo sistema encontra-se na figura 5.2.

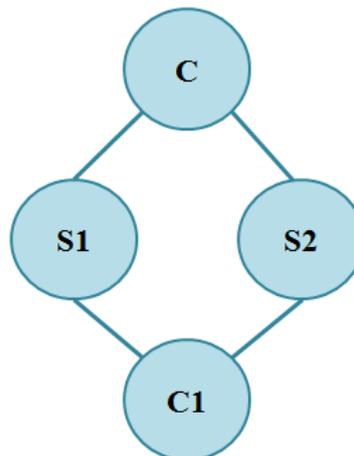


Figura 5.2 – Introdução do campo 1 (C1)

No primeiro posto de trabalho da célula de montagem, destaca-se a importância da utilização de ambas as mãos do operador em simultâneo, visando a redução do tempo de operação. De acordo com Aft (2000), o uso das duas mãos constitui um princípio básico da economia do movimento, permitindo assegurar o melhor uso do corpo humano como ferramenta integrante de um processo produtivo. Ambas as mãos devem começar e terminar o seu movimento em

simultâneo e não devem permanecer inativas sincronamente. Além disto, aquando da alteração de um método de trabalho, é importante que a destreza dos operadores seja treinada. Assim, para que os mesmos consigam executar a operação de modo satisfatório trabalhando com as duas mãos, deve assegurar-se a sua formação no que diz respeito à destreza.

Nesta perspetiva, sugere-se que o elemento de atividade "c" (ver tabela 4.5) seja alterado, de modo a que sejam colocados na máquina dois componentes B em simultâneo, utilizando as duas mãos do operador e, posteriormente, um componente C. Deste modo, mediante a alteração do elemento de atividade cíclico "c", é necessário aferir o novo tempo normal associado ao mesmo. Sabendo que o tempo originalmente cronometrado para o elemento "c" foi 10,19 segundos e assumindo que cada componente demora o mesmo tempo a ser colocado na máquina, estima-se que o tempo ganho seja igual ao tempo de colocação de dois componentes. Assim, a nova duração do elemento "c" é igual a 6,11 segundos, tal como demonstrado de seguida.

$$10,19 - 2 \times \frac{10,19}{5} = 6,11 \text{ s}$$

Embora o tempo apurado seja categorizado na tabela apresentada seguidamente como tempo médio observado, salienta-se que o seu valor foi obtido através de uma estimativa. Optou-se por atribuir um fator de atividade igual a 100%, porque se julga que a atividade decorra durante 6,11 segundos quando completada por um operador normal, ou seja, um operador representativo e qualificado.

Por outro lado, propõe-se que o encaixe do componente F seja antecipado, ou seja, sugere-se que o elemento de atividade "s" (ver tabela 4.9) passe a integrar a primeira operação de montagem, sendo eliminado da operação OP. 10 C. Esta alteração permite diminuir a carga da operação OP. 10 C, devido à diminuição do respetivo tempo de operação.

Relativamente ao tempo normal considerado para o elemento de atividade "s", este provém da análise realizada anteriormente, aquando da determinação da duração do referido elemento no âmbito da operação OP. 10 C.

Com o intuito de analisar quantitativamente as propostas apresentadas acima, procedeu-se à construção de uma tabela semelhante às tabelas elaboradas aquando da análise do estado atual do processo de montagem. Neste caso, os elementos de atividade cíclicos que sofreram alterações encontram-se sombreados a cinzento. Refere-se que este modo de apresentar as modificações sugeridas aos métodos de trabalho aplica-se às restantes propostas de melhoria enunciadas daqui em diante.

Em suma, as alterações formuladas encontram-se explícitas na tabela 5.1 e o novo diagrama homem-máquina construído para a operação OP. 10 A/OP. 10 B é apresentado no anexo VIII do presente trabalho.

Tabela 5.1 – Propostas de melhoria da operação OP. 10 A/OP. 10 B

Código	Elementos de atividade cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	TN (s)	Operadores	
		"Homem"	"Máquina"				R1	R2
a	Retirar o componente A da embalagem e colocá-lo no dispositivo de fixação	✓		2,71	100%	2,71	1	6
b	Deslocar o componente A para a esquerda		✓	1,43		1,43		
c	Retirar quatro componentes B (dois de cada vez) e um componente C das embalagens e colocá-los na máquina	✓		6,11	100%	6,11	1	6
d	Pressionar o interruptor	✓		0,47	100%	0,47	1	6
e	Prensar os componentes B e C com o componente A		✓	10,65		10,65		
f	Colocar o componente E pré-preparado na base do dispositivo de fixação	✓		1,44	100%	1,44	1	6
g	Deslocar o componente A para a direita		✓	1,53		1,53		
h	Retirar o componente D da embalagem e colocá-lo sobre componente A	✓		5,58	100%	5,58	1	6
i	Retirar o componente E da base do dispositivo de fixação e colocá-lo sobre o componente D	✓		4,53	100%	4,53	1	6
j	Pressionar interruptor	✓		0,65	75%	0,49	1	6
k	Prensar o componente A com o componente D		✓	7,02		7,02		
l	Retirar o componente E da embalagem e fazer a preparação do mesmo	✓		6,46	100%	6,46	1	6
m	Retirar o módulo do dispositivo de fixação e colocá-lo na posição seguinte	✓		1,83	125%	2,29	1	6
s	Encaixar o componente F no conetor e fechar o conetor	✓		2,54	100%	2,54	1	6
n	Reiniciar a operação	✓		1,75	100%	1,75	1	6

É importante destacar que o facto de o operador colocar o módulo na posição seguinte, isto é, no posto de trabalho onde se executa a operação OP. 10 C, constitui uma operação de valor acrescentado. Esta situação permite que a deslocação do operador não seja em vão e possibilita a minimização do manuseamento dos módulos e a consequente redução de WIP, minorando a probabilidade de ocorrência de problemas de qualidade.

Com o intuito de analisar o impacto da alteração do procedimento de trabalho associado à operação OP. 10 A/OP. 10 B, elaborou-se a tabela 5.2. A tabela construída apresenta os parâmetros determinados através da leitura dos diagramas homem-máquina concretizados para os estados atual e futuro do processo, possibilitando a rápida comparação entre os mesmos. Deste modo, é possível quantificar os resultados obtidos das propostas de melhoria formuladas.

Tabela 5.2 – Análise quantitativa das propostas de melhoria da operação OP. 10 A/OP. 10 B

Estado da operação OP. 10 A/OP. 10 B	TO (s)	TH (s)	TM (s)
Atual (baseado na análise realizada)	47,48	37,71	20,63
Futuro (baseado na implementação das propostas de melhoria)	45,94	36,17	20,63
Δ (s)	-1,54	-1,54	0,00

Note-se que o estado atual do processo de montagem corresponde ao estado caracterizado no quarto capítulo da dissertação. Por outro lado, o estado futuro é baseado na implementação das propostas de melhoria enunciadas.

Por observação da tabela 5.2, conclui-se que, em consequência das propostas elaboradas, o tempo de operação diminuiu, bem como o tempo "homem". Concretamente, a redução de cada um dos referidos tempos corresponde a 1,54 segundos.

Por outro lado, estudou-se a operação OP. 10 C em consequência da introdução do campo 1 (C1). De acordo com a antecipação do elemento "s", o conjunto de elementos de atividade cíclicos referentes à operação OP. 10 C sofre alterações. O método de trabalho proposto para a respetiva operação encontra-se apresentado na tabela 5.3, na qual também é possível consultar a análise quantitativa dos elementos de atividade cíclicos.

Tabela 5.3 – Proposta de melhoria da operação OP. 10 C

Código	Elementos de atividade cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	TN (s)	Operadores	
		"Homem"	"Máquina"				R1	R2
o	Trancar e rodar o módulo 180°		✓	1,44		1,44		
p	Colocar os componentes G, H e I	✓		10,35	100%	10,35	2	7
q	Pressionar o interruptor	✓		0,66	75%	0,50	2	7
r	Ativar o sistema de visão e rodar o módulo 180°		✓	1,65		1,65		
t	Pressionar o interruptor	✓		0,66	75%	0,50	2	7
u	Imprimir a etiqueta		✓	1,67		1,67		
v	Retirar e colar a etiqueta no componente D e colocar o módulo na posição de espera	✓		7,91	100%	7,91	2	7
w	Ir até à OP. 20	✓		1,29	100%	1,29	2	7

Adicionalmente, o impacto das melhorias propostas para a operação OP. 10 C encontra-se detalhado abaixo, na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Análise quantitativa da proposta de melhoria da operação OP. 10 C

Estado da operação OP. 10 C	TO (s)	TH (s)	TM (s)
Atual (baseado na análise realizada)	46,55	23,74	4,76
Futuro (baseado na implementação das propostas de melhoria)	46,42	20,55	4,76
Δ (s)	-0,13	-3,19	0,00

Por observação da tabela 5.4, verifica-se que o tempo de operação e o tempo "homem" diminuíram.

5.1.3. Introdução do campo 2 (C2)

Após a introdução do campo 1 (C1), o sistema em estudo permaneceu ineficiente, sendo que o mesmo representa a terceira situação problemática dos quatro modelos básicos da análise substância-campo. Deste modo, inseriu-se o campo 2 (C2), com o intuito de aumentar a eficiência do processo. O novo campo introduzido consiste na alteração do processo de montagem dos componentes J e K, abastecidos no terceiro posto de trabalho da célula, e na antecipação da montagem dos componentes L e M. Destaca-se ainda que inserção do novo campo visa criar impacto positivo no sistema, sem que os restantes elementos sofram alterações, e representa a sexta solução geral do conjunto das sete soluções gerais condensadas (Navas, 2017). O sistema após a inserção do campo 2 (C2) encontra-se ilustrado na figura 5.3.

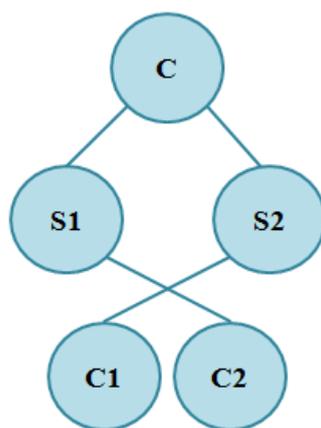


Figura 5.3 – Introdução do campo 2 (C2)

Ao realizar a operação OP. 20, sugere-se novamente que o operador utilize as duas mãos em simultâneo para colocar os componentes J e K na máquina, pelo que devem ser encaixados na máquina dois componentes de cada vez. Sabendo que o tempo originalmente cronometrado para o elemento "z" (ver tabela 4.12) é igual a 10,84 segundos, estima-se que o tempo ganho seja dado pela expressão seguinte.

$$10,84 - 2 \times \frac{10,84}{4} = 5,42 \text{ s}$$

Por outro lado, propõe-se que o operador encarregue de executar a operação OP. 20 passe a realizar quatro elementos de atividade pertencentes à operação OP. 30, nomeadamente os elementos "ac", "ae", "af" e "ah" (ver tabela 4.17). Optou-se por agrupar os referidos elementos

num único elemento cíclico e, para obter a duração do mesmo, procedeu-se à observação de um operador considerado normal, de modo a cronometrar a duração do novo elemento de atividade. Foram realizadas vinte medições e a validação da dimensão da amostra encontra-se na tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Validação da dimensão da amostra para a melhoria da operação OP. 20

Código	TMO (s)	σ (s)	α (%)	n	GDL (n-1)	t de Student	N	OK?
ac + ae + af + ah	9,59	0,0877	5	20	19	2,09	1	OK

Conclui-se portanto que a dimensão da amostra registada garante o nível de significância previamente definido.

Por conseguinte, as propostas de alteração do método de trabalho relativo à operação OP. 20 são apresentadas na tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Proposta de melhoria da operação OP. 20

Código	Elementos de atividade cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	TN (s)	Operadores	
		"Homem"	"Máquina"				R1	R2
x	Colocar o módulo no dispositivo de fixação	✓		2,93	75%	2,20	2	7
y	Pressionar o interruptor	✓		0,50	100%	0,50	2	7
z	Colocar dois componentes J e dois componentes K (dois de cada vez)	✓		5,42	100%	5,42	2	7
aa	Ir até à OP. 10 C	✓		1,29	100%	1,29	2	7
ab	Pressionar os componentes J e K		✓	19,92		19,92		
ac + ae + af + ah	Retirar o componente L da embalagem, colocar 2 componentes M no componente L, encaixar o componente L por baixo do módulo e, por fim, colocar o módulo na posição de espera	✓		9,59	100%	9,59	2	7
ad	Reiniciar a operação	✓		1,29	100%	1,29	2	7

O novo diagrama homem-máquina construído para as operações OP. 10 C e OP. 20 encontra-se no anexo IX. Analogamente ao pressuposto enunciado anteriormente, refere-se que se assumiu que o elemento "o" começa no momento em que o elemento "aa" termina.

Através da análise do diagrama acima mencionado, determinaram-se os novos parâmetros da operação OP. 20, que constam na tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Análise quantitativa da proposta de melhoria da operação OP. 20

Estado da operação OP. 20	TO (s)	TH (s)	TM (s)
Atual (baseado na análise realizada)	46,55	18,05	19,92
Futuro (baseado na implementação das propostas de melhoria)	46,42	20,29	19,92
Δ (s)	-0,13	2,24	0

Por observação da tabela 5.7, conclui-se que o tempo de operação foi reduzido, embora a diminuição não tenha sido significativa. Porém, o tempo "homem" aumentou e o tempo "máquina" permaneceu igual.

Mediante a introdução do campo 2 (C2), revelou-se indispensável calcular novamente os parâmetros associados à operação OP. 30, visto que a carga da respetiva operação diminuiu, isto é, os elementos de atividade "ac", "ae", "af" e "ah" passaram a ser executados na operação que lhe antecede. Assim, o elemento de atividade "ag" passa a consistir apenas em retirar o módulo da posição de espera e na sua colocação no dispositivo de fixação. O tempo normal do elemento de atividade "ag" corresponde ao tempo normal determinado para o antigo elemento "ah".

Os novos valores determinados para a operação OP. 30 são apresentados na tabela 5.8 e o novo diagrama homem-máquina é apresentado no anexo X.

Tabela 5.8 – Proposta de melhoria da operação OP. 30

Código	Elementos de atividade cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	TN (s)	Operadores	
		"Homem"	"Máquina"				R1	R2
ag	Retirar o módulo da posição de espera e colocá-lo no dispositivo de fixação	✓		3,74	100%	3,74	3	8
ai	Retirar o componente N da embalagem e retirar o saco de plástico	✓		3,72	75%	2,79	3	8
aj	Encaixar o componente N por cima do módulo	✓		2,69	125%	3,36	3	8
ak	Retirar o componente O da embalagem, soprar com ar ionizado e encaixá-lo por cima do componente N	✓		8,90	100%	8,90	3	8
al	Pressionar o interruptor	✓		0,53	100%	0,53	3	8
am	Prensar o módulo		✓	9,93		9,93		
an	Retirar quatro componentes P (um de cada vez) e realizar a montagem	✓		15,25	125%	19,06	3	8
ao	Retirar o módulo, fazer a inspeção e colocá-lo na posição seguinte	✓		1,59	125%	1,99	3	8
ap	Reiniciar a operação	✓		1,44	75%	1,08	3	8

Face à alteração do método de trabalho da operação OP. 30, quantificou-se o impacto da melhoria sugerida. Os valores determinados encontram-se apresentados na tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Análise quantitativa da proposta de melhoria da operação OP. 30

Estado da operação OP. 30	TO (s)	TH (s)	TM (s)
Atual (baseado na análise realizada)	59,85	49,92	9,93
Futuro (baseado na implementação das propostas de melhoria)	53,12	43,19	9,93
Δ (s)	-6,73	-6,73	0

Através da leitura da tabela 5.9, constata-se que o tempo de operação diminuiu 6,73 segundos. O tempo "homem" também foi reduzido na mesma proporção.

5.1.4. Introdução do campo 3 (C3)

Após a introdução do campo 2 (C2), o sistema ainda é caracterizado como ineficiente. Deste modo, procedeu-se à introdução do campo 3 (C3), cujo objetivo consiste em criar impacto positivo no sistema. Este representa novamente a sexta solução geral do conjunto das sete soluções gerais condensadas (Navas, 2017), pelo que alteração sofrida no sistema se encontra esquematizada na figura 5.4.

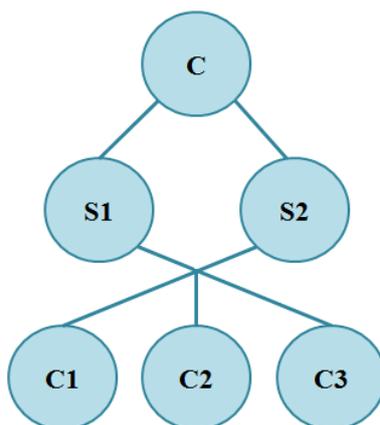


Figura 5.4 – Introdução do campo 3 (C3)

O campo 3 (C3) consiste na introdução de um sinal sonoro na operação OP. 40, de modo a minimizar a ocorrência de erros operacionais. Tal como explicitado na apresentação do caso de estudo, a operação OP. 40 é executada por um único operador em ambos os ramais, pelo que se torna necessário que o mesmo esteja atento ao término de cada elemento de atividade, em particular à finalização dos elementos "as1" e "as2". Se soar um sinal sonoro instantes antes do momento em que dois módulos são acabados de testar e a primeira etiqueta tenha sido impressa, o operador pode deslocar-se atempadamente para o respetivo ramal e proceder à execução do elemento de atividade sucessivo.

5.1.5. Modificação da substância 1 (S1)

Após a introdução dos três campos enunciados anteriormente, o sistema permaneceu ineficiente. Assim, verificou-se a necessidade de modificar a substância 1 (S1), de modo a criar o efeito desejado no sistema. Em particular, a modificação da substância 1 (S1) consistiu na alocação de apenas um operador à operação OP. 50 em ambos os ramais, isto é, baseou-se na redução de um operador no âmbito do processo de montagem do produto *Sample A*.

Neste caso, a análise substância-campo revela que a interação entre as substâncias do sistema é prejudicial, pelo que deve ser aplicada a solução geral 2 das sete soluções gerais condensadas

(Navas, 2017). A figura 5.5 esquematiza o sistema após a introdução dos três campos enunciados anteriormente e após a modificação da substância 1 (S1) do sistema considerado inicialmente.

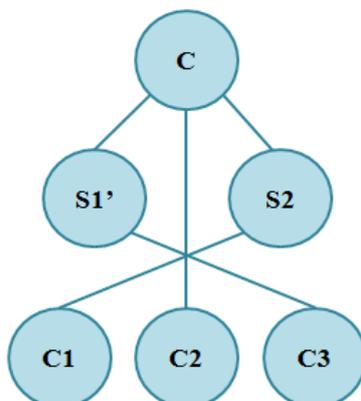


Figura 5.5 – Modificação da substância 1 (S1)

Mediante a construção do diagrama homem-máquina da operação OP. 50, de acordo com o estado atual do processo de montagem, verificou-se que o operador permanece inativo durante longos períodos, pelo que se provou possível a execução da operação mencionada com um único operador em ambos os ramais através da construção de um novo diagrama homem-máquina. As instruções de trabalho da operação permaneceram inalteradas. Todavia, uma vez que os tempos associados ao ramal 2 passam a ser considerados, é importante apresentar as tabelas relativas aos respetivos elementos cíclicos, para que os códigos apresentados no diagrama homem-máquina sejam facilmente compreendidos. Refere-se ainda que as deslocações entre os dois ramais foram desprezadas, devido à proximidade dos postos de trabalho.

As instruções de trabalho relativas ao ramal 1 e ao ramal 2 encontram-se na tabela 5.10 e tabela 5.11, respetivamente, e o novo diagrama homem-máquina é apresentado no anexo XII.

Tabela 5.10 – Proposta de melhoria da operação OP. 50 (R1)

Código	Elementos de atividade cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	TN (s)	Operador
		"Homem"	"Máquina"				
aw1	Retirar o módulo da posição de espera, fazer uma pré-inspeção e encaixá-lo no dispositivo de fixação	✓		7,50	100%	7,50	5
ax1	Testar o módulo		✓	9,00		9,00	
ay1	Pressionar o interruptor	✓		0,50	100%	0,50	5
az1	Testar o módulo		✓	3,30		3,30	
ba1	Pressionar o interruptor	✓		0,50	100%	0,50	5
bb1	Testar o módulo		✓	6,80		6,80	
bc1	Pressionar o interruptor	✓		0,50	100%	0,50	5
bd1	Testar o módulo		✓	4,20		4,20	
be1	Retirar o módulo do dispositivo de fixação, empacotá-lo e colocá-lo no tapete de transferência	✓		5,53	100%	5,53	5
bf1	Reiniciar a operação	✓		0,94	100%	0,94	5

Tabela 5.11 – Proposta de melhoria da operação OP. 50 (R2)

Código	Elementos de atividade cíclicos	Elemento de atividade		TMO (s)	FA (%)	TN (s)	Operador
		"Homem"	"Máquina"				
aw2	Retirar o módulo da posição de espera, fazer uma pré-inspeção e encaixá-lo no dispositivo de fixação	✓		7,50	100%	7,50	5
ax2	Testar o módulo		✓	9,00		9,00	
ay2	Pressionar o interruptor	✓		0,50	100%	0,50	5
az2	Testar o módulo		✓	3,30		3,30	
ba2	Pressionar o interruptor	✓		0,50	100%	0,50	5
bb2	Testar o módulo		✓	6,80		6,80	
bc2	Pressionar o interruptor	✓		0,50	100%	0,50	5
bd2	Testar o módulo		✓	4,20		4,20	
be2	Retirar o módulo do dispositivo de fixação, empacotá-lo e colocá-lo no tapete de transferência	✓		5,53	100%	5,53	5
bf2	Reiniciar a operação	✓		0,94	100%	0,94	5

À semelhança das operações anteriormente analisadas, no âmbito da operação OP. 50, compararam-se os resultados obtidos através da análise do estado atual do processo e por meio da análise do impacto das melhorias sugeridas. A tabela 5.12 sintetiza os valores calculados.

Figura 5.12 – Análise quantitativa da proposta de melhoria da operação OP. 50

Estado da operação OP. 50	TO (s)	TH (s)	TM (s)
Atual (baseado na análise realizada)	38,77	15,47	23,30
Futuro (baseado na implementação das propostas de melhoria)	42,57	24,47	23,30
Δ (s)	3,80	9,00	0,00

Através da leitura da tabela 5.12, conclui-se que a melhoria proposta teve um impacto negativo no tempo de operação e no tempo “homem”, uma vez que estes valores aumentaram. No entanto, provou-se possível reduzir a força de trabalho em um operador aquando da realização da operação OP. 50 em ambos os ramais.

Por fim, após a aplicação da análise substância-campo a todos os postos de trabalho da célula de montagem, conclui-se que estamos perante um sistema completo, no qual todos os campos introduzidos e a modificação efetuada visam criar impacto positivo no sistema, colmatando o problema enunciado inicialmente.

CAPÍTULO 6 – Conclusões

No âmbito do sexto capítulo, pretende-se discutir os resultados obtidos. Além disto, estando o presente estudo inserido numa ótica de melhoria contínua, é pertinente apresentar sugestões de trabalhos futuros.

6.1. Discussão de resultados

Mediante a aplicação da análise substância-campo a todas as operações de montagem do produto *Sample A*, determinaram-se novos tempos de operação que devem ser considerados aquando da quantificação do impacto das melhorias propostas. Por outro lado, destaca-se que o recurso a ferramentas de estudo do trabalho auxiliou no cálculo dos tempos mencionados. A tabela 6.1 sintetiza os tempos de operação aferidos, bem como o novo tempo de ciclo do processo de montagem.

Tabela 6.1 – Tempos de operação do processo de montagem baseados nas propostas de melhoria

Operação	TO (s)	TC (s)
OP. 10 A/OP. 10 B	45,94	58,53
OP. 10 C	46,42	
OP. 20	46,42	
OP. 30	53,12	
OP. 40	58,53	
OP. 50	42,57	

Através da análise da tabela 6.1, conclui-se que a operação OP. 40 passa a constituir o gargalo de estrangulamento do processo de montagem, uma vez que é a operação que apresenta o tempo de operação mais elevado. Este resultado soluciona o problema identificado no capítulo anterior, visto que o gargalo de estrangulamento passa a ser a operação mais automatizada da célula de montagem. Deste modo, face às melhorias sugeridas, a operação OP. 40 passa a limitar a produção da célula de montagem, sendo que a nova taxa de produção é determinada através da expressão (2.3), tal como ilustrado de seguida.

$$TP = \frac{1}{58,53} \times 3600 = 61,51 \approx 61 \text{ unid/h}$$

O cálculo da taxa de produção permite aferir que, recorrendo a ambos os ramais da célula de montagem do produto *Sample A*, são montados 122 painéis de instrumentos por hora.

Por conseguinte, com o objetivo de quantificar a força de trabalho necessária para produzir o volume diário considerado, elaborou-se a tabela 6.2. Note-se que o volume diário permaneceu

inalterado, ou seja, o seu valor é igual ao valor apresentado aquando da análise do estado atual do sistema.

Tabela 6.2 – Impacto das propostas de melhoria no processo de montagem

Produto	Ramal	Operação	TO (s)	TC (s)	TP do ramal (unid/h)	TP da célula (unid/h)	Volume diário (unid)	Ocupação da célula (h)
Sample A	1	OP. 10 A/OP. 10 B	45,94	58,53	61	122	439	3,60
		OP. 10 C	44,01					
		OP. 20	44,01					
		OP. 30	53,12					
		OP. 40	58,53					
		OP. 50	42,57					
	2	OP. 10 A/OP. 10 B	45,94	58,53	61			
		OP. 10 C	44,01					
		OP. 20	44,01					
		OP. 30	53,12					
		OP. 40	58,53					
		OP. 50	42,57					

A análise da tabela 6.2 permite aferir que, de acordo com a taxa de produção da célula, para montar 439 painéis de instrumentos, são necessárias 3,60 horas. O referido valor é determinado tal como demonstrado seguidamente.

$$\text{Ocupação da célula} = \frac{439}{122} = 3,60 \text{ h}$$

Estando a célula ocupada durante 3,60 horas, é indispensável alocar os recursos necessários à montagem do produto *Sample A* durante o referido período. Entre os recursos mencionados, destacam-se oito operadores aptos à execução das operações do processo de montagem, um coordenador da célula e as respetivas máquinas.

De facto, por meio da aplicação da análise substância-campo, verificou-se que é possível alocar um único operador à realização da operação OP. 50 em ambos os ramais, o que se traduz na redução de um operador por cada turno trabalhado. Deste modo, provou-se possível reduzir, aproximadamente, 11,00% da força de trabalho diária, visto que, mediante as melhorias propostas, é necessário alocar oito operadores diretos (aptos à execução das operações do processo de montagem) face aos nove anteriormente necessários. Esta melhoria representa ainda uma poupança anual de €18.854,00.

Por outro lado, uma vez que a taxa de produção da célula aumentou, é pertinente recalcular a medida de produtividade parcial determinada aquando da análise do estado atual do processo. Neste caso, o *input* considerado corresponde novamente à força de trabalho alocada à realização das operações e as unidades montadas por hora constituem o *output*, tal como demonstrado de seguida.

$$\text{Produtividade parcial} = \frac{122}{8} = 15,25 \text{ unid/operador.h}$$

Conclui-se que a produtividade, expressa através de uma medida de produtividade parcial, aumentou. Antes da elaboração das propostas de melhoria, por hora, um operador montava cerca de 13 painéis de instrumentos, sendo que atualmente, em consequência das melhorias propostas, monta aproximadamente 15 produtos num período homólogo. Deste modo, provou-se possível aumentar a produtividade da célula de montagem em 14,40%, tal como aferido abaixo.

$$\text{Aumento da produtividade} = \left(\frac{15,25}{13,33} - 1 \right) \times 100 = 14,40\%$$

Em suma, o estudo realizado permitiu colmatar os problemas e oportunidades de melhoria identificados no quarto capítulo da dissertação. Concretamente, a operação de montagem mais automatizada passou a constituir o gargalo de estrangulamento do processo, verificou-se a possibilidade de produzir recorrendo a uma força de trabalho menor e foram eliminadas tarefas sem valor acrescentado. Deste modo, conclui-se que os objetivos propostos foram cumpridos, na medida em que a eficiência do processo de montagem do produto *Sample A* aumentou, sem que tal tenha incorrido em novos investimentos para a organização.

6.2. Trabalhos futuros

Dado que o presente estudo se encontra inserido numa ótica de melhoria contínua, é importante referir que os contributos do mesmo devem ser contínuos, ou seja, passíveis de desenvolvimentos e melhorias ao longo do tempo. A procura de novas metodologias de análise deve ser uma preocupação constante da organização, de modo a que não ocorra estagnação dos níveis de eficiência do processo analisado e dos restantes processos da Visteon Portuguesa, Lda.

Além disto, após a implementação das melhorias propostas, o estado do processo deve ser avaliado frequentemente. Em particular, os métodos de trabalho devem ser controlados e verificados regularmente, bem como a medição dos tempos das operações. Só assim é possível aferir o estado real do processo de montagem no tempo, bem como assegurar a eficiência da organização e do processo. Aft (2000) reforça que, a longo prazo, de modo a que a implementação de melhorias seja bem sucedida, deve existir formação técnica, educação e comunicação.

Por outro lado, sugere-se que a metodologia que sustenta o presente estudo seja aplicada a outros processos e produtos da Visteon Portuguesa, Lda., com o intuito de determinar novas melhorias.

BIBLIOGRAFIA

- Aft, L. S., 2000. *Work Measurement and Methods Improvement*. 1ª ed. Canadá: John Wiley & Sons, Inc.
- Altshuller, G., 1995. *Creativity as an exact science: The theory of the solution of inventive*. Nova Iorque: Gordon and Breach Publishers.
- Assis, S. O., Azevedo, J. G. & Pallotta, A., 1977. *Estudo de Movimentos e de Tempos: Projeto e Medida do Trabalho*. 1ª ed. São Paulo, Brasil: Edgard Blücher Ltd.
- Bligh, A., 2006. The Overlap Between TRIZ and Lean. *IME 552: Lean Manufacturing Systems*, pp. 1-10.
- Buffa, E. S., 1972. *Operations Management: problems and models*. 3ª ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, Inc.
- Carvalho, M. A. d. & Back, N., 2001. Uso dos conceitos fundamentais da TRIZ e do método dos Princípios Inventivos no desenvolvimento de produtos. *3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto*, pp. 1-8.
- Cassel, R. A., 2011. *Estudo do Layout*. Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Chase, R. B. & Aquilano, N. J., 1995. *Gestão da Produção e das Operações: Perspectiva do Ciclo de Vida*. 1ª ed. Lisboa: Monitor - Projectos e Edições Lda.
- Clark, K. B. & Fujimoto, T., 1991. *Product Development Performance*. 1ª ed. Boston: Harvard Business School Press.
- Courtois, A., Pillet, M. & Martin, C., 1997. *Gestão da Produção*. 4ª ed. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas.
- Cruz, N. M., 2013. *Implementação de ferramentas Lean Manufacturing no processo de injeção de plásticos*. Guimarães: Universidade do Minho - Escola de Engenharia.
- Dahlgaard, J. J. & Dahlgaard-Park, S. M., 2006. Lean production, six sigma quality, TQM and company culture. *The TQM Magazine*, 18(3), pp. 263-281.
- Duguay, C. R., Landry, S. & Pasin, F., 1997. From mass production to flexible/agile production. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(12), pp. 1183-1195.
- El-Namrouty, K. A. & AbuShaaban, M. S., 2013. Seven wastes elimination targeted by lean manufacturing case study "gaza strip manufacturing firms". *International Journal of Economics, Finance and Management Sciences*, 1(2), pp. 68-80.
- Falkowski, P. & Kitowski, P., 2013. The 5S methodology as a tool for improving organization of production. *PhD Interdisciplinary Journal*, pp. 127-133.
- Felippe, A. D., Custodio, M. R., Dolzan, N. & Teixeira, E. M., 2012. *Análise descritiva do estudo de tempos e métodos: uma aplicação no setor de embaladeira de uma indústria têxtil*. Brasil: Universidade Regional de Blumenau.
- Gadd, K., 2011. *TRIZ For Engineers: Enabling Inventive Problem Solving*. 1º ed. s.l.:John Wiley & Sons, Ltd..

- Ghicajanu, M., 2011. Romanian Companies Dilemmas - Business Reengineering or Kaizen. *Annals of the University of Petroșani, Economics*, 11(1), pp. 97-104.
- Gupta, S. & Jain, S. K., 2013. A literature review of lean manufacturing. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 8(4), pp. 241-249.
- Hashmi, H., Khan, N. R. & Haq, M. A., 2015. The Impact Of Lean Management Implementation On Organizational Operational Performance. *Scientific Journal of Logistics*, 6(4), pp. 375-385.
- Ilevbare, I., Phaal, R. & Probert, D., 2013. A review of TRIZ and its benefits and challenges in practice. *Technovation*, Volume 33, pp. 30-37.
- Ilevbare, I., Phaal, R., Probert, D. & Padilla, A. T., 2011. Integration of TRIZ and roadmapping for innovation, strategy, and problem solving. *Centre for Technology Management*.
- ILO, 1984. *Introdução ao Estudo do Trabalho*. Segunda edição portuguesa ed. Lisboa: Editora Portuguesa de Livros Técnicos e Científicos, Lda.
- IST-UL, 2015. *Estudo dos Tempos*. Lisboa: Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa.
- Kumar, P. & Kajal, S., 2015. Implementation of Lean Manufacturing in a Small-Scale Industry. *The IUP Journal Of Operations Management*, 14(2), pp. 25-33.
- Liker, J. K., 1998. *Becoming Lean: inside stories of U.S. manufacturers*. 1^a ed. Portland: Productivity Press.
- Lubben, R. T., 1988. *Just-In-Time Manufacturing*. 1^a ed. s.l.:McGraw-Hill, Inc.
- Mayer, R. R., 1981. *Administração da Produção*. 5^a ed. Brasil: Editora Atlas SA.
- Meyers, F. E. & Stewart, J. R., 2002. *Motion and Time Study for Lean Manufacturing*. 3^a ed. Nova Jérσία: Prentice Hall.
- Miller, J., Domb, E., MacGran, E. & Teminko, J., 2001. Using the 76 Standard Solutions: A case study for improving the world food supply. *Proceedings of TRIZCON2001*, pp. 1-18.
- Mirsky, J., 2015. *Encyclopedia Britannica*. [Em linha] Disponível em: <http://www.britannica.com/biography/Eli-Whitney> [Acedido em 18 fevereiro 2016].
- Monden, Y., 2011. *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time*. 4^a ed. Flórida: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Monks, J. G., 1987. *Operations Management: Theory and Problems*. 3^a ed. Singapura: McGraw-Hill International Editions.
- Navas, H., Cruz Machado, V. & Tenera, A., 2015. Integrating TRIZ in project management processes: an ARIZ. *Procedia Engineering*, 131(World Conference: TRIZ FUTURE, TF 2011-2014), pp. 224-231.
- Navas, H. V. G., 2013b. TRIZ: Uma metodologia para a resolução de problemas. *Guia de Empresas Certificadas*.

- Navas, H. V. G., 2013. *TRIZ: Design Problem Solving with Systematic Innovation*. Costa da Caparica, UNIDEM - Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Navas, H. V. G., 2014a. Fundamentos do TRIZ - Parte VIII - Modelo Substância-Campo. *Inovação e Empreendedorismo*, Volume 57.
- Navas, H. V. G., 2014b. Fundamentos do TRIZ - Parte V - Idealidade de um Sistema. *Inovação e Empreendedorismo*, Volume 54.
- Navas, H. V. G., 2014b. Fundamentos do TRIZ - Parte Y - Idealidade de um sistema. Volume 54.
- Navas, H. V. G., 2017. Problem Solving and Increase of Ideality. In: F. Kahlen, S. Flumerfelt & A. Alves, eds. *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems - New Findings and Approaches*. Suíça: Springer, pp. 305-326.
- Navas, H. V. G. & Machado, V. A. C., 2015a. “The Lifeline” of Technical Systems in a TRIZ-LEAN Environment. *Procedia Engineering*, 131(World Conference: TRIZ FUTURE, TF 2011-2014), p. 232 – 236.
- Navas, H. V. G. & Machado, V. C., 2015b. Systematic Innovation in a Lean Management Context. *TMQ - Techniques, Methodologies and Quality*.
- Niebel, B. & Freivalds, A., 2003. *Methods, Standards and Work Design*. 11ª ed. Nova Iorque: McGraw-Hill.
- Ohno, T., 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. 1ª ed. Nova Iorque: Productivity Press.
- PRONACI, 2003. *Métodos e Tempos - Manual Pedagógico*. 1ª ed. s.l.:AEP – Associação Empresarial de Portugal.
- Rantanen, K. & Domb, E., 2002. *Simplified TRIZ: New Problem-Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals*. s.l.:CRC Press, LLC.
- Rose, A., Deros, B. M., Rahman, M. A. & Nordin, N., 2011. *Lean manufacturing best practices in SMEs*, Malásia: Faculty of Engineering & Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Santos, M. C., 1977. *Métodos, Movimentos e Tempos de Trabalho*. 7ª ed. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Industrial.
- Savransky, S., 2000. *Engineering of Creativity - Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*. s.l.:CRC Press.
- Simpson, T. W., 2009. *Craft Production, the American System of Manufacturing, and Mass Production*. EUA: The Pennsylvania State University.
- Singh, J. & Singh, H., 2009. Kaizen Philosophy: A Review of Literature. *The Icfai University Journal of Operations Management*, VIII(2), pp. 51-72.
- Souchkov, V., 2007. *The TRIZ Journal*. [Em linha] Disponível em: <http://www.triz-journal.com/differetiating-among-the-five-levels-of-solutions/> [Acedido em 26 Abril 2016].

- Suzaki, K., 1987. *The New Manufacturing Challenge: Techniques for Continuous Improvement*. 1ª ed. Nova Iorque: The Free Press.
- The Henry Ford, 2016. *The Henry Ford - Founder, Ford Motor Company*. [Em linha] Disponível em: <https://www.thehenryford.org/exhibits/hf/Chronology.asp> [Acedido em 1 março 2016].
- Thor, C. G. & Christopher, W. F., 1993. *Handbook for Productivity Measurement and Improvement*. 1ª ed. Portland: Productivity Press.
- Tucker, S. C., 2010. *A Global Chronology of Conflict: From the Ancient World to the Modern Middle East*. 1ª ed. Califórnia: ABC-CLIO, LLC.
- Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X. & Yang, K., 2015. Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. *International Journal of Production Economics*, Volume 160, pp. 202-212.
- Weigel, A. L., 2000. *A Book Review: Lean Thinking by Womack and Jones*. 1ª ed. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Wilson, L., 2010. *How to Implement Lean Manufacturing*. 1ª ed. Estados Unidos da América: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Womack, J. & Jones, D., 2003. *Lean Thinking*. 2ª ed. Nova Iorque: Free Press.
- Womack, J. P. & Jones, D. T., 1996. *Lean Thinking*. 1ª ed. Nova Iorque: Simon & Schuster.

ANEXOS

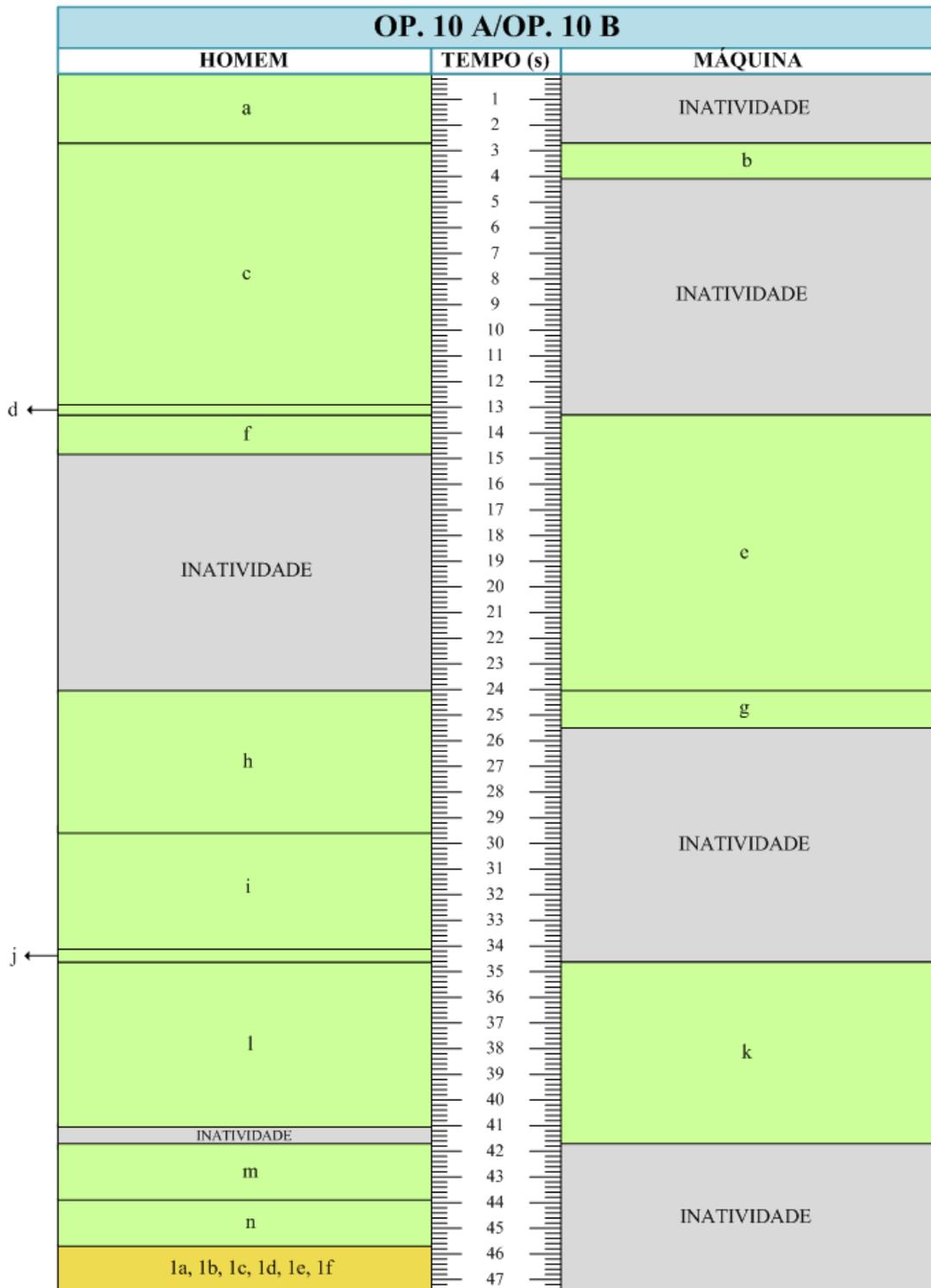
Anexo I – Folha de registos dos elementos cíclicos da operação OP. 10 C

FOLHA DE REGISTOS - CRONOMETRAGEM	
Produto	Sample A
Ramal	1
Operação	OP. 10 C
Código	Elementos de atividade cíclicos
o	Trancar e rodar o módulo 180°
p	Colocar os componentes G, H e I no módulo
q	Pressionar o interruptor
r	Ativar o sistema de visão e rodar o módulo 180°
s	Encaixar componente F no conetor e fechar o conetor
t	Pressionar o interruptor
u	Imprimir a etiqueta
v	Retirar e colar uma etiqueta no componente D e colocar o módulo na posição de espera
Operador	
Fator de atividade	
Data	Hora
Código	Tempos observados (s)
o	
p	
q	
r	
s	
t	
u	
v	

Anexo II – Folha de registos dos elementos não cíclicos da operação OP. 10 C

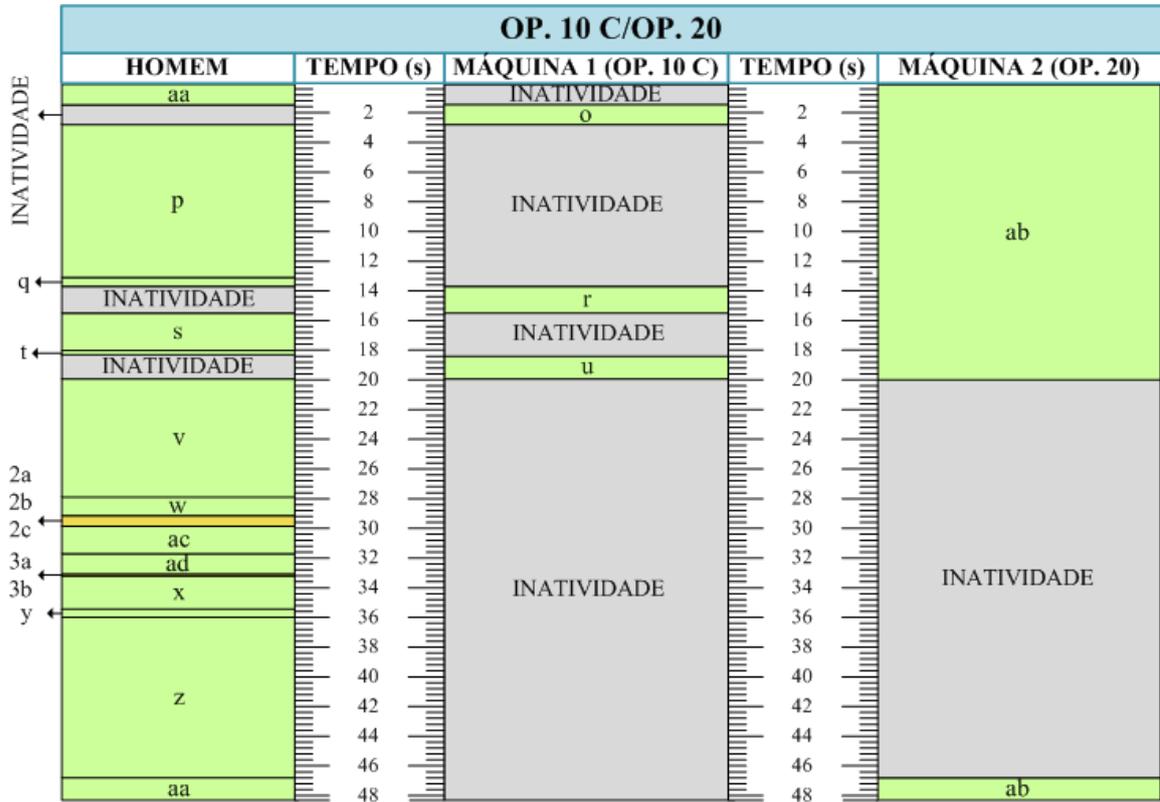
FOLHA DE REGISTOS - CRONOMETRAGEM											
Produto	<i>Sample A</i>										
Ramal	1										
Operação	OP. 10 C										
Código	Elementos de atividade não cíclicos										
2a	Aprovisionar uma embalagem de componentes G, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente										
2b	Aprovisionar uma embalagem de componentes H, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente										
2c	Aprovisionar uma embalagem de componentes I, abri-la e depositar a embalagem vazia no contentor de resíduos correspondente										
Operador											
Fator de atividade											
Data					Hora						
Código	Tempos observados (s)										
2a											
2b											
2c											

Anexo III – Diagrama homem-máquina da operação OP. 10 A/OP. 10 B

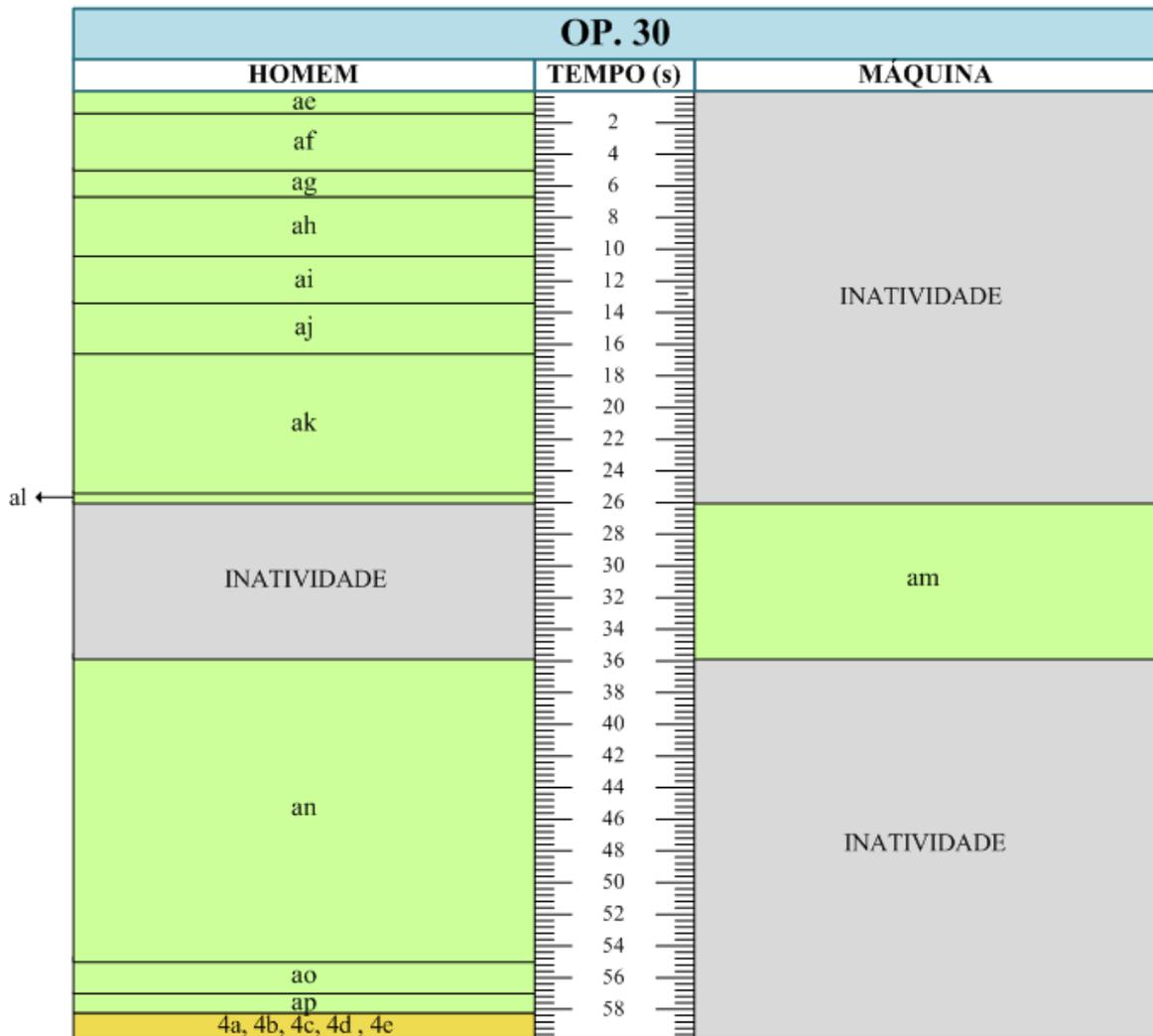


O diagrama homem-máquina possui duas colunas ("homem" e "máquina"), uma vez que ilustra os elementos de atividade, representados por um código, executados pelo operador e pela máquina. Além disto, os elementos de atividade cíclicos estão representados por blocos verdes e os elementos de atividade não cíclicos estão representados de forma agregada através de blocos amarelos. Por último, os períodos de inatividade são representados por blocos cinzentos.

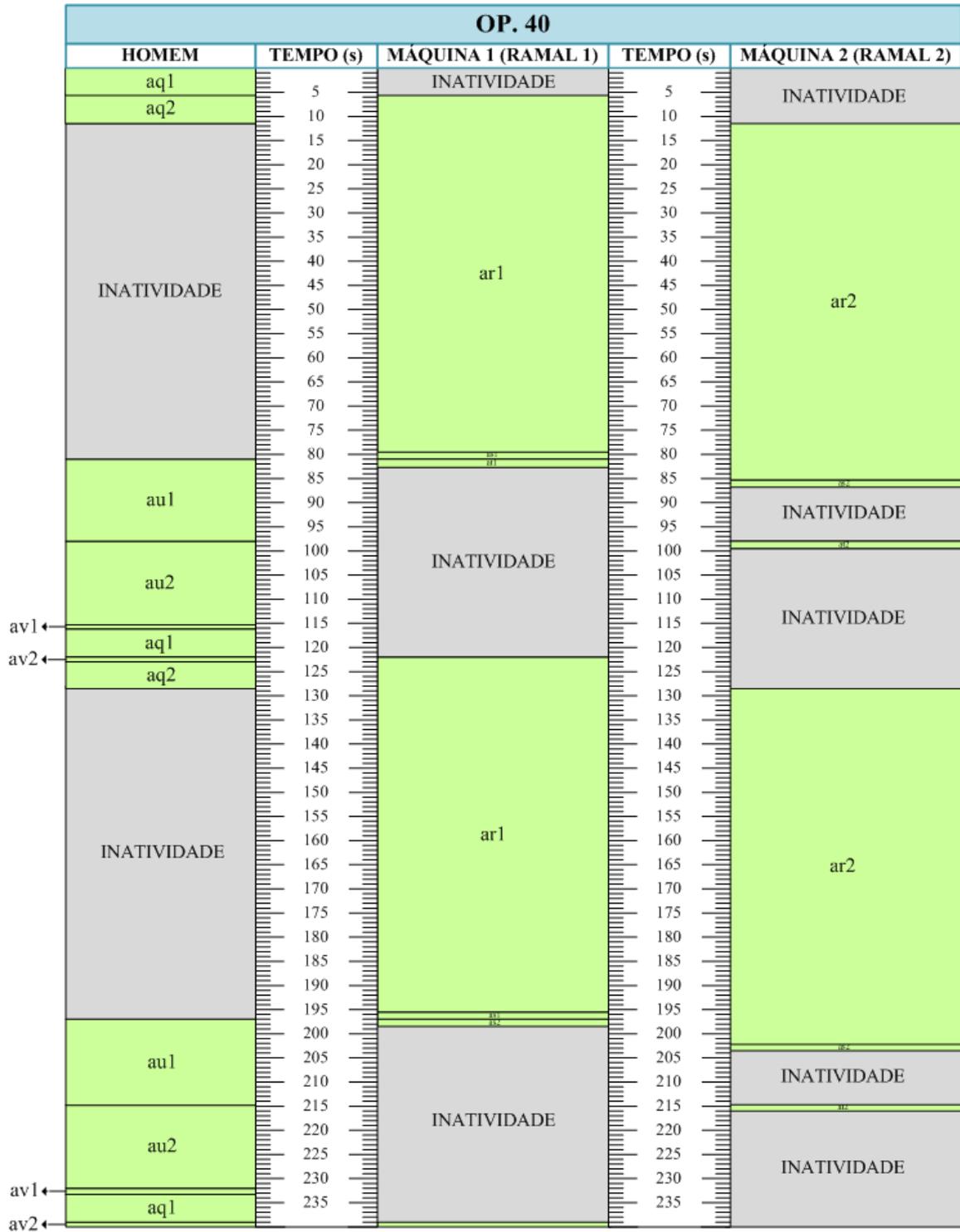
Anexo IV – Diagrama homem-máquina das operações OP. 10 C e OP. 20



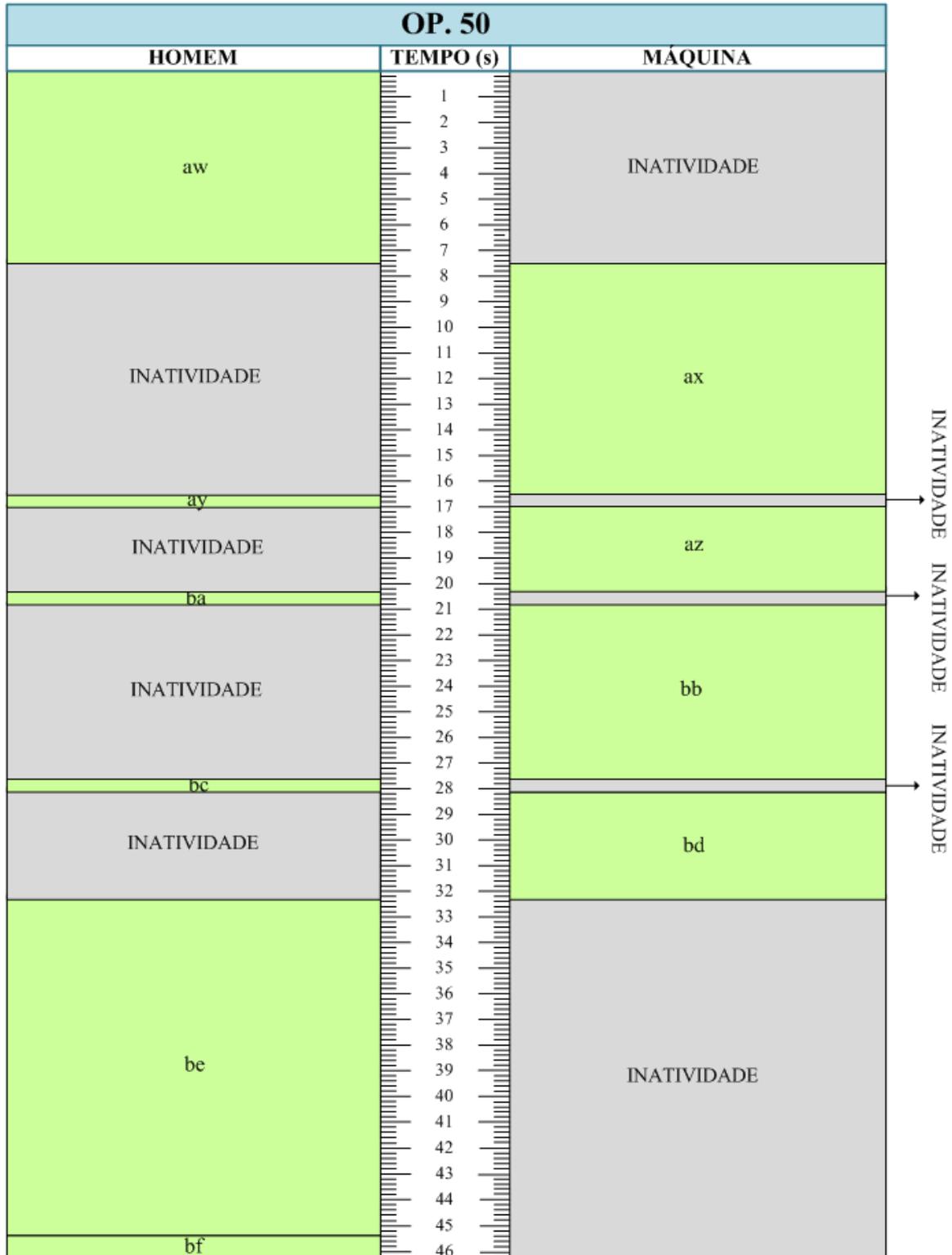
Anexo V – Diagrama homem-máquina da operação OP. 30



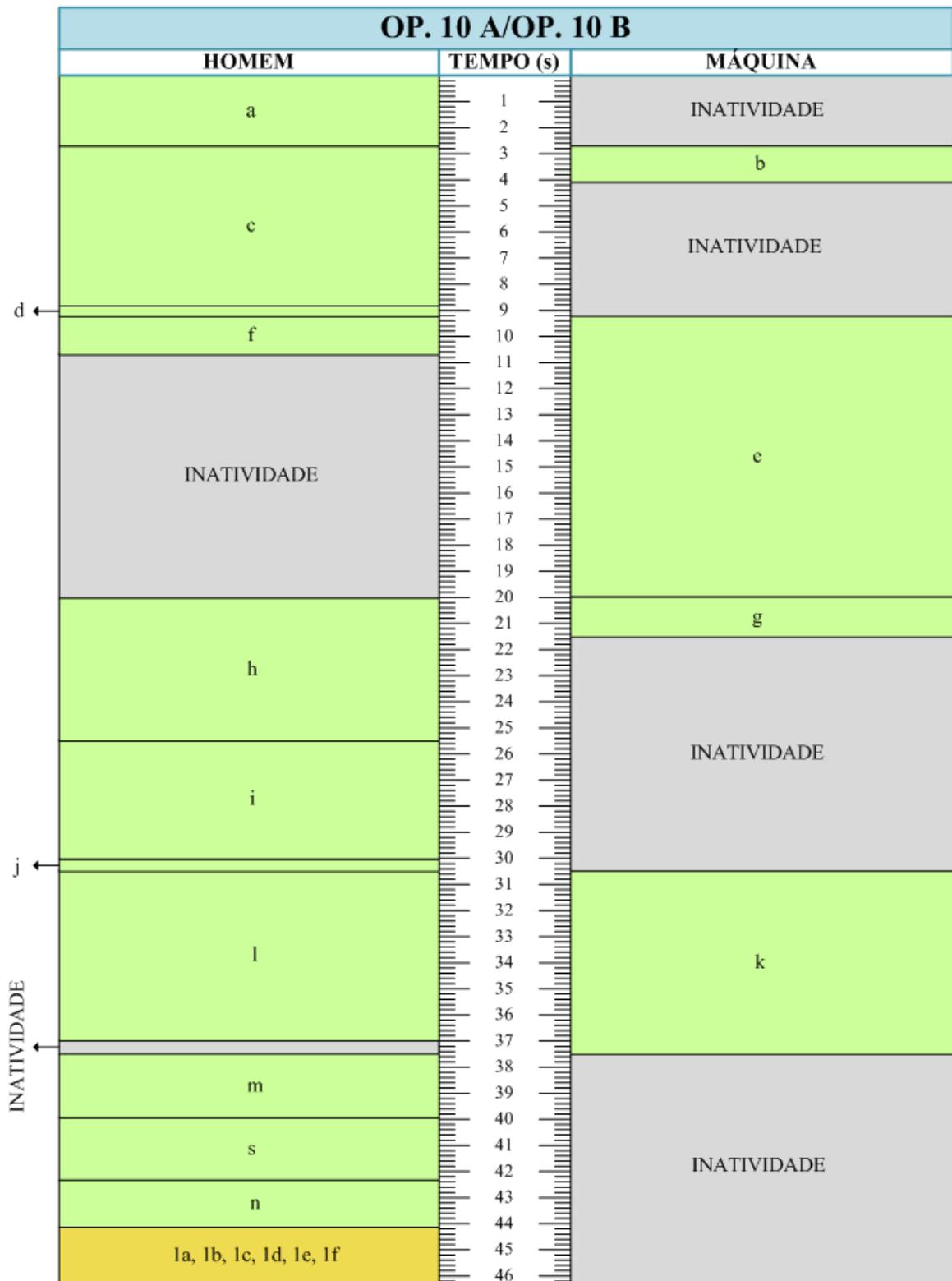
Anexo VI – Diagrama homem-máquina da operação OP. 40



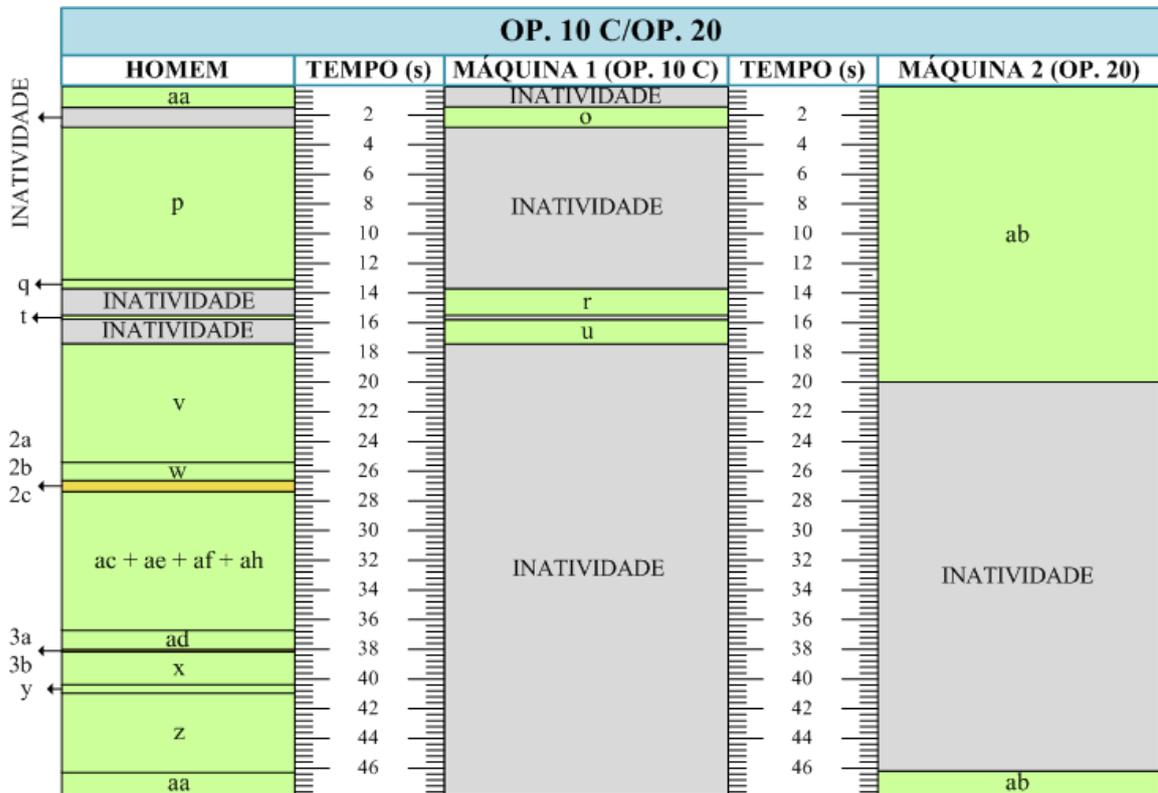
Anexo VII – Diagrama homem-máquina da operação OP. 50



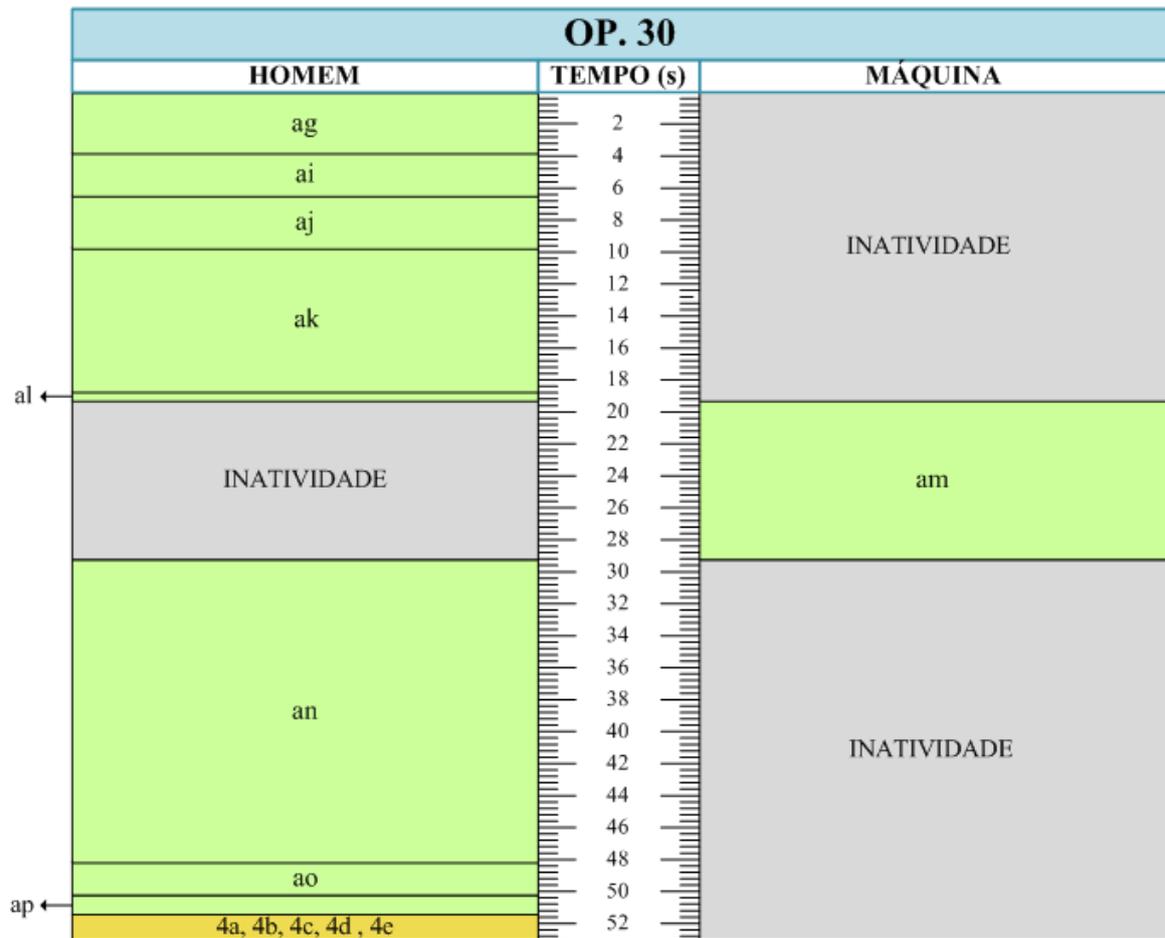
**Anexo VIII – Diagrama homem-máquina da operação OP. 10 A/OP. 10 B
(após as melhorias)**



**Anexo IX – Diagrama homem-máquina das operações OP. 10 C e OP. 20
(após as melhorias)**



Anexo X – Diagrama homem-máquina da operação OP. 30 (após as melhorias)



Anexo XI – Diagrama homem-máquina da operação OP. 50 (após as melhorias)

