



MAPEAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS NA FICOCABLES

MARIA DA CONCEIÇÃO MARQUES ROSA

Outubro de 2017

MAPEAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS

INDUSTRIAIS NA EMPRESA FICOCABLES

Maria da Conceição Marques Rosa

2017

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

MAPEAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS NA FICOCABLES

Maria da Conceição Marques Rosa
1160270

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Doutor Francisco José Gomes Silva Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP e coorientação do Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

2017

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Américo Lopes de Azevedo

Professor Associado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho contribuiu inequivocamente para a minha formação e realização profissional, preenchendo todas as expectativas.

Mas muito devo, e por isso agradeço:

À minha família. A ti Pai, homenageio.

Ao Doutor Francisco José Gomes da Silva

Ao Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

Ao Eng. Costa Pereira

Ao Eng. Pedro Oliveira

Aos meus colegas de trabalho

Aos meus amigos

A todos

MUITO OBRIGADA.

O contributo de todos foi imprescindível, mas marcante, foi a orientação do Doutor Francisco Silva, pela sua entrega, profissionalismo, competência, dedicação, empenho, disponibilidade ...

PALAVRAS CHAVE

Linhas de montagem, Cabos de comando para automóveis, Otimização de processos, Mapeamento de processos, *Lean Manufacturing*, *Value Stream Mapping (VSM)*, *Single Minute Exchange of Die (SMED)*.

RESUMO

A indústria automóvel é um dos setores mais exigentes do mercado global, as empresas necessitam de estar em constante evolução e apresentar uma enorme capacidade de adaptação. A capacidade de resposta e a flexibilidade são fundamentais para o sucesso. Uma cultura de excelência e melhoria contínua, atuando na otimização dos equipamentos, ferramentas, processos e pessoas conduz à redução de custos e aumento de competitividade.

O crescimento relativamente rápido dos processos e volumes de produção, o aproveitamento de algumas linhas de produção para o fabrico de várias referências, assim como o ajuste dessas mesmas linhas a novos produtos, impede muitas vezes que haja um conhecimento aprofundado da real situação que se encontra no terreno, por parte da Engenharia dos Processos.

Algumas das novas metodologias de análise dos sistemas de produção, permitem uma análise pormenorizada destas situações. De entre outras, o *VSM (Value Stream Mapping)* tem assumido particular relevo nos últimos tempos. Outras ferramentas e técnicas associadas ao *Lean thinking*, tais como: *SMED (Single Minute Exchange of Die)*, gestão visual, *5s*, *standard work*, *kaizen* e ciclo *PDCA*, são utilizadas pelas empresas para maximizar os ganhos, atuando na eliminação/redução dos desperdícios e melhoria da eficiência dos processos.

Tomando como referência vários casos de estudo relacionados com a produção de cabos de comando na FICOCABLES, este trabalho visou em primeiro lugar mapear convenientemente esses processos. Numa segunda fase, foi colocado todo o espírito crítico no levantamento inicialmente realizado, com vista a proceder à sua otimização.

Este trabalho revela apenas dois dos vários casos de estudo desenvolvidos, pretendendo mostrar qual a abordagem implementada, e quais os ganhos conseguidos por essa via. A eficiência aumentou de forma considerável, permitindo verificar que é urgente aplicar esta metodologia a todas as linhas de produção. Isso permitiu ganhos consideráveis de produtividade nas linhas de montagem, o que se tem revertido em maiores lucros para a empresa e/ou menor custo para o cliente. A qualidade global tem sido também largamente incrementada por esta via.

KEYWORDS

Assembly lines, Automotive metallic harness, Manufacturing processes optimization, Manufacturing processes mapping, Lean Manufacturing, Value Stream Mapping (VSM), Single Minute Exchange of Die (SMED).

ABSTRACT

The automotive industry is one of the most demanding sectors on the global market. Companies need to be in constant evolution and present an enormous ability to adapt to the new reality. Responsiveness and flexibility are key factors to the success. A culture of excellence and continuous improvement, working on optimization of equipment, tools and processes, as well as reducing people allocated to manual tasks and operations lead to reduced costs and increased competitiveness.

The relatively fast growth of the available processes and production volumes, the use of some production lines for the manufacture of various references, as well as the adjustment of these same lines to new products, prevents many times that there is a thorough understanding of the real situation on the ground by the engineering processes.

Some of the new methodologies for production systems analysis allow for a detailed understanding of these situations. Among others, the VSM (Value Stream Mapping) has assumed major relevance in recent times. Other tools and techniques associated with Lean thinking, such as: SMED (Single Minute Exchange of Die), visual management, 5Ss, Standard Work, Kaizen and PDCA cycle, are used by companies to maximize the gains in eliminating/reducing wastes and improve the efficiency of the processes. Taking as a reference some case studies related to the production of automotive metallic harness in FICOCABLES, this work first map conveniently these processes. In a second stage, it was carried out a large brainstorming over the survey initially performed, with a view to their optimization.

This work reveals only two of the various case studies developed, intending just to show the approach implemented and the gains achieved by this way. The efficiency has increased considerably, allowing verify that it is urgent to apply this methodology to all the production lines of the company. This enabled a significant productivity gain in assembly lines, which reversed in higher profits for the company and/or lower cost for the customer. The overall quality also be largely increased in this way.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

4P	<i>Philosophy, Process, People/Partners and Problem solving</i>
5'S	5 Palavras japonesas: <i>Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsum Shitsuke</i>
5W's	<i>Five Why's</i>
C _p	Capacidade do processo
C _{pk}	Índice de capacidade do processo
JIT	<i>Just In Time</i>
LIE	Limite Inferior Especificado
LSE	Limite Superior Especificado
LT	<i>Lead Time</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
OSem	Ocupação Semanal da máquina/posto/linha
OMCD	<i>Operations Management Consulting Division</i>
M.O.D	Mão-de-Obra Direta
PA	Poliamida
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PhH	Peças hora Homem
PP	Polipropileno
PT	Posto de Trabalho
PVC	Policloreto de vinilo
SDCA	<i>Standardize-Do-Check-Act</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
TC	Tempo de Ciclo
TCP	Tempo de Ciclo Planeado
TO	Tempo de Operação
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TT	<i>Takt-Time</i>
TVA	Tempo de Valor Acrescentado
un	Unidade
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
WIP	<i>Work In Progress</i>

Lista de Unidades

h	Hora
s	Segundos
min	Minutos

Lista de Símbolos

€	Euros
%	Percentagem
“	Segundos

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Clipar	Termo que designa conectar dois elementos
<i>Grommet</i>	Também designado de borracha de fixação, é um componente utilizado para impedir a passagem de humidade e resíduos da zona húmida para a zona seca do veículo
<i>Input</i>	Também designado por entrada, refere-se aos materiais que entram no processo
<i>Output</i>	Também designado por saída, refere-se ao produto obtido após ter passado pelo processo de transformação
PDCA	O PDCA (<i>plan; do; check; act</i>) é uma ferramenta utilizada na melhoria contínua dos processos
<i>Poka Yoke</i>	<i>Poka Yoke</i> , ou sistema anti-erro, é um tipo de ferramenta que visa prevenir ou detetar a ocorrência dos erros mais comuns que dão origem a defeitos
<i>Robocop</i>	Designação do equipamento que efetua a injeção do primeiro terminal <i>zamak</i> em regime automático
<i>Setup</i>	É a mudança de produtos, ferramentas ou ajustes feitos no início do processo
<i>Stakeholder</i>	Em inglês <i>stake</i> significa interesse, participação, risco. <i>holder</i> significa aquele que possui. Assim, <i>stakeholder</i> significa parte interessada ou interveniente, pessoa ou grupo que fez um investimento ou tem ações ou interesse em uma empresa, negócio ou indústria
<i>Kaizen</i>	<i>Kaizen</i> resulta da aglutinação de duas palavras japonesas <i>Kai</i> que significa mudança e <i>Zen</i> que significa para melhor, originando melhoria contínua.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - CONCEITO DE PROCESSO (ADAPTADO DE [6]).	33
FIGURA 2 - A CASA DO TPS [18].	38
FIGURA 3 - GANHOS OBTIDOS COM A IMPLEMENTAÇÃO DO SMED (ADAPTADO DE [53]).	52
FIGURA 4 - CICLO PDCA [62].	56
FIGURA 5 - APLICAÇÃO DOS CICLOS PDCA E SDCA [24].	58
FIGURA 6 - SDCA COMO CALÇO DA RODA PDCA [65].	59
FIGURA 7 - ETAPAS A CONSIDERAR NA ELABORAÇÃO DE UM VSM (ADAPTADO DE [13]).	60
FIGURA 8 - SIMBOLOGIA UTILIZADA NA ELABORAÇÃO DE UM VSM [68].	61
FIGURA 9 - COMPONENTES DO OEE (ADAPTADO DE [68]).	63
FIGURA 10 - IMPACTO DAS PERDAS NO TEMPO DE LABORAÇÃO (ADAPTADO DE [76]).	65
FIGURA 11 - ESTUDO DO TRABALHO [81].	67
FIGURA 12 - CORREÇÃO AO TEMPO NORMAL (ADAPTADO DE [85]).	71
FIGURA 13 - GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DE TEMPOS (ADAPTADO DE [86]).	73
FIGURA 14 - CABO DE COMANDO.	74
FIGURA 15 - CABO COMO MEIO MECÂNICO DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO [89].	74
FIGURA 16 - SISTEMAS COM ACIONAMENTO POR CABO METÁLICO (ADAPTADO DE [91]).	75
FIGURA 17 - A) CONSTITUIÇÃO DO CABO METÁLICO E B) VISTA EM CORTE DOS DIFERENTES ELEMENTOS QUE CONSTITUEM O CABO (ADAPTADO DE [92]).	76
FIGURA 18 - SECÇÕES DE CORDAS / OU CABOS [92]	77
FIGURA 19 - EXEMPLOS DE SECÇÕES DE CABOS [92].	77
FIGURA 20 - COMPORTAMENTO DO ALONGAMENTO / FORÇA DE TRAÇÃO PARA DIFERENTES CABOS [93].	77
FIGURA 21 - CABOS DE ABERTURA DE PORTA.	83
FIGURA 22 - CABO DE COMANDO DE ASSENTO.	84
FIGURA 23 - PROCESSOS INERENTES AO FABRICO DOS CABOS DE COMANDO.	85
FIGURA 24 - DIAGRAMA DE ENCADEAMENTO DOS PROCESSOS.	95
FIGURA 25 - GABARIT PARA MONTAGEM DO GROMMET.	96
FIGURA 26 - POSICIONAMENTO DOS TERMINAIS DA ESPIRAL.	96
FIGURA 27 - ALINHAMENTO DOS TERMINAIS DO CABO E DA ESPIRAL.	97
FIGURA 28 - LOCAL DESIGNADO PARA COLOCAÇÃO DE PEÇAS COM DEFEITO.	98
FIGURA 29 - PRESENÇA GLOBAL DO GRUPO FICOSA [95].	102
FIGURA 30 - CABOS DE PORTA PRODUZIDOS NA LINHA MQB1.	106
FIGURA 31 - APLICAÇÃO DO CABO NA PORTA DO VEÍCULO.	106
FIGURA 32 - LAYOUT DA LINHA MQB1.	108
FIGURA 33 - MONTAGEM DE TUBO ESPONJA NA ESPIRAL.	109
FIGURA 34 - FLUXOGRAMA DAS OPERAÇÕES DO CABO MQB1.	110
FIGURA 35 - SOBREINJEÇÃO DOS TERMINAIS DA ESPIRAL.	111
FIGURA 36 - INJEÇÃO DO PRIMEIRO TERMINAL DO CABO COM ZAMAK.	111
FIGURA 37 - PROCESSO DE ABASTECIMENTO DOS COMPONENTES À LINHA.	113
FIGURA 38 - FLUXOGRAMA DAS OPERAÇÕES DA LINHA COM DESTAQUE DO POSTO 1.	114

FIGURA 39 - OPERAÇÃO DO POSTO 1 – MONTAR E CLIPAR FOLE PEQUENO NO SUBCONJUNTO DE CABO.	114
FIGURA 40 - FLUXOGRAMA DA LINHA DE MONTAGEM COM DESTAQUE DO POSTO 2.	115
FIGURA 41 - OPERAÇÕES REALIZADAS NO POSTO 2 – MONTAR E CLIPAR O TERMINAL CAIXA NO TERMINAL DE ESPIRAL, INJETAR MASSA LUBRIFICANTE E MONTAR FOLE GRANDE.	115
FIGURA 42 - FLUXOGRAMA DA LINHA DE MONTAGEM COM DESTAQUE DO POSTO 3.	116
FIGURA 43 - OPERAÇÕES REALIZADAS NO POSTO 3 – MONTAR SUBCONJUNTO DE CABO E APARAR, CLIPAR FOLE NO TERMINAL DE ESPIRAL E TERMOGRAVAR.	116
FIGURA 44 - DIAGRAMA DA LINHA DE MONTAGEM COM DESTAQUE DO POSTO 4.	117
FIGURA 45 - OPERAÇÕES DO POSTO 4 – INJEÇÃO DO 2º TERMINAL DO CABO COM ZAMAK, ENSAIO À TRAÇÃO, MEDIÇÃO DA COTA DE SAÍDA, MARCAÇÃO DA VALIDAÇÃO E CLIPAR FOLE.	117
FIGURA 46 - OPERAÇÕES DE RETIRAR GITO E EMBALAR.	118
FIGURA 47 - VSM DO ESTADO ATUAL DO PROJETO MQB1.	120
FIGURA 48 - COTA DE SAÍDA.	122
FIGURA 49 - DISPOSITIVO DE MONTAR E CLIPAR O FOLE PEQUENO.	123
FIGURA 50 - PASSAGEM DO SUBCONJUNTO DE CABO METÁLICO DO POSTO 1 PARA O POSTO 3.	123
FIGURA 51 - ABASTECIMENTO DA MÁQUINA INSTALADA NO POSTO 2.	124
FIGURA 52 - OPERAÇÕES REALIZADAS NA MÁQUINA DO POSTO 2.	124
FIGURA 53 - CAVIDADE DE ALOJAMENTO DO TERMINAL COM FOLE GRANDE.	125
FIGURA 54 - TENSOR DE CABO APLICADO NO <i>ROBOCOP</i> .	125
FIGURA 55 - CORTANTE DE GITO ACOPLADO À MÁQUINA DE ZAMAK.	126
FIGURA 56 - ALTERAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DO EXTRATOR.	126
FIGURA 57 - DIAGRAMA HOMEM-MÁQUINA.	132
FIGURA 58 - VSM DO ESTADO FUTURO 1 /ATUAL 2 .	134
FIGURA 60 - RECIPIENTES UTILIZADOS NA LINHA PARA DISPENSAR OS FOLES.	138
FIGURA 61 - ACONDICIONAMENTO DA CAIXA DOS FOLES NO POSTO 1 E 2.	138
FIGURA 62 - ASPETO DAS CAIXAS UTILIZADAS PARA FORNECIMENTO DO TERMINAL-CAIXA.	139
FIGURA 63 - CAIXA ADEQUADA PARA FORNECIMENTO DO SUBCONJUNTO DE ESPIRAL.	139
FIGURA 64 - DIAGRAMA ESPARGUETE DA TROCA DE CAIXAS.	140
FIGURA 65 - AJUDA VISUAL PARA ABASTECIMENTO DOS POSTOS DE TRABALHO.	141
FIGURA 66 - TUBO DE RECOLHA DO SUBCONJUNTO DO CABO.	141
FIGURA 67 - FUNCIONAMENTO DA EXTRAÇÃO DO CABO NA MÁQUINA DE INJEÇÃO DE ZAMAK.	143
FIGURA 68 - POSICIONAMENTO DOS TERMINAIS NO <i>GABARIT</i> .	143
FIGURA 69 - GRÁFICO HOMEM-MÁQUINA A) ANTES DA SUGESTÃO MELHORIA B) APÓS SUGESTÃO DE MELHORIA FUTURA.	147
FIGURA 70 - EVOLUÇÃO DO OEE.	148
FIGURA 71 - EVOLUÇÃO DA VELOCIDADE.	149
FIGURA 72 - TEMPO DESPENDIDO EM CADA TAREFA ANTES E APÓS AS MELHORIAS IMPLEMENTADAS NA 2ª FASE.	150
FIGURA 73 - <i>LAYOUT</i> CORRESPONDENTE À LINHA V408.	154
FIGURA 74 - OPERAÇÕES E EQUIPAMENTOS DO POSTO DE PUNÇONAR 1.	155
FIGURA 75 - CÓDIGO DA TERMOGRAVAÇÃO.	156
FIGURA 76 - FERRAMENTAS DE <i>SETUP</i> DO POSTO DE PUNÇONAR 1.	156

FIGURA 77 - OPERAÇÕES E EQUIPAMENTOS DO POSTO 3 PARA AS REFERÊNCIAS COM AFINADOR.	158
FIGURA 78 - OPERAÇÕES E EQUIPAMENTOS DO POSTO 3 PARA AS REFERÊNCIAS COM MOLA.	158
FIGURA 79 - OPERAÇÕES E EQUIPAMENTOS DO POSTO 3 PARA A REFERÊNCIA DE CABOS DUPLOS.	159
FIGURA 80 - FERRAMENTAS DE <i>SETUP</i> DO POSTO 3.	160
FIGURA 81 - TABELA DE CORRESPONDÊNCIAS ENTRE IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA DE <i>SETUP</i> E A REFERÊNCIA.	163
FIGURA 82 - ORGANIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE <i>SETUP</i> NO POSTO 1.	164
FIGURA 83 - MELHORIAS INTRODUZIDAS NO POSTO 3.	166
FIGURA 84 - ORGANIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS DO <i>SETUP</i> NO POSTO 4.	167
FIGURA 85 - ORGANIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE <i>SETUP</i> DO POSTO 5.	168
FIGURA 86 - SUBSTITUIÇÃO DOS PARAFUSOS POR FERRAMENTAS DE APERTO RÁPIDO NO POSTO 1 E 2.	169
FIGURA 87 - SUBSTITUIÇÃO DO PARAFUSO <i>UMBRAKO</i> POR MANÍPULO DE APERTO RÁPIDO NO POSTO 4.	169
FIGURA 88 - LIGAÇÕES DE ENGATE RÁPIDO NO POSTO 5.	170
FIGURA 89 - SUPORTE E CHAVES COLOCADAS NO POSTO DE TRABALHO PARA REALIZAR <i>SETUP</i> .	170
FIGURA 90 - CARRINHO DE APOIO AO <i>SETUP</i> .	171
FIGURA 91 - OPERADORES A EFETUAR O <i>SETUP</i> .	173
FIGURA 92 - METODOLOGIA DE MELHORIA DE <i>SETUP</i> APLICADA NA LINHA MVS2.	175
FIGURA 93 - USO DE FERRAMENTAS DE APERTO RÁPIDO.	176
FIGURA 94 - USO DE FERRAMENTAS DE ENGATE RÁPIDO.	176
FIGURA 95 - INSCRIÇÃO E ABERTURA DE RASGOS PARA O CÓDIGO DE CORES.	176
FIGURA 96 - TIPOS DE ESPIRAL FABRICADAS PELA FICOCABLES.	197
FIGURA 97 - EQUIPAMENTO DE FABRICO DE ESPIRAL LAMINADA COM TUBO INTERIOR [97].	197
FIGURA 98 - PROCESSO DE FABRICO DE ESPIRAL LAMINADA COM TUBO INTERIOR [97].	198
FIGURA 99 - SUBPROCESSO DE LAMINAGEM INTERIOR [97].	198
FIGURA 100 - ENROLAMENTO DO ARAME EM ESPIRAL INTERIOR [97].	199
FIGURA 101 - MÁQUINA DE FABRICO DE ESPIRAL. A) MÁQUINA DE ORIGEM CHINESA B) MÁQUINA MAIS ANTIGA PARA FABRICO DE ESPIRAL COM TUBO INTERIOR C) MÁQUINA MAIS ANTIGA PARA FABRICO DE ESPIRAL SEM TUBO INTERIOR.	199
FIGURA 102 - EQUIPAMENTO UTILIZADO NO FABRICO DE ESPIRAL ARMADA.	200
FIGURA 103 - ABASTECIMENTO DA PLANETÁRIA. A) ARAME B) TUBO INTERIOR.	200
FIGURA 104 - PLANETÁRIA - GUIAMENTO DOS ARAMES PARA A FIEIRA.	201
FIGURA 105 - EQUIPAMENTO UTILIZADO NO FABRICO DE ESPIRAL TIPO <i>BRAIDED</i> .	201
FIGURA 106 - ABASTECIMENTO DE ARAMES E TUBO INTERIOR.	202
FIGURA 107 - FABRICO DE ESPIRAL TIPO <i>BRAIDED</i> .	202
FIGURA 108 - EXTRUSORA (ADAPTADO DE FICOCABLES, 2004A).	203
FIGURA 109 - FABRICO DE TUBO ESTRELA A) E REVESTIMENTO DE ESPIRAL B).	204
FIGURA 110 - EQUIPAMENTO DE CORTE DE CABO.	205
FIGURA 111 - CORTE MECÂNICO A) E CORTE ELÉTRICO B).	205
FIGURA 112 - CORTE POR CISALHA.	206
FIGURA 113 - CORTE POR CISALHA DE A) ESPIRAL ARMADA E B) E C) ESPIRAL LAMINADA.	206
FIGURA 114 - CORTE POR DISCO ABRASIVO.	207

FIGURA 115 - CORTE DA ESPIRAL ARMADA POR DISCO ABRASIVO A) E CISALHA B).	207
FIGURA 116 - TERMINAIS COM PINTAS PRETAS RESULTANTES DA EXISTÊNCIA DE REBARBAS.	208
FIGURA 117 - PROCESSOS DE ESMERILAR E ESCAREAR.	209
FIGURA 118 - RUGOSIDADE CRIADA NA EXTREMIDADE DA ESPIRAL.	209
FIGURA 119 - MÁQUINA DE CORTE DE TUBO ESTRELA.	210
FIGURA 120 - MÁQUINA DE INJEÇÃO DE ZAMAK AUTOMÁTICA – <i>ROBOCOP</i> .	211
FIGURA 121 - ÁREA DE TRABALHO DA MÁQUINA DE INJEÇÃO DE ZAMAK.	211
FIGURA 122 - CABO A) SEM FLOR, B) CABO COM FLOR.	212
FIGURA 123 - FLOR CORRETAMENTE CONFORMADA.	212
FIGURA 124 - POSICIONAMENTO DA FLOR NO INTERIOR DO MOLDE.	213
FIGURA 125 - POSICIONAMENTO MANUAL DO CABO PARA INJEÇÃO DO SEGUNDO TERMINAL COM ZAMAK.	214
FIGURA 126 - MOLDE INFERIOR E MOLDE SUPERIOR.	215
FIGURA 127 - SUPORTE INFERIOR E SUPERIOR DO MOLDE.	215
FIGURA 128 - SOBREENJEÇÃO DE TERMINAIS: A) ESPIRAL B) CABO.	216
FIGURA 129 - CONSTITUIÇÃO DA MÁQUINA DE INJEÇÃO [100].	216
FIGURA 130 - SOBREENJEÇÃO DE ESPIRAL.	217
FIGURA 131 - SOBREENJEÇÃO DE CABO.	217

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - PASSOS PARA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PDCA [64].	57
TABELA 2 - CATEGORIAS DE PERDAS QUE INTEGRAM O OEE [72][74].	64
TABELA 3 - CORREÇÕES AO TEMPO NORMAL [85].	72
TABELA 4 - PRINCIPAIS ACESSÓRIOS QUE INTEGRAM OS CABOS DE COMANDO, ESPECIFICIDADES E FUNÇÕES DESEMPENHADAS.	79
TABELA 5 - PROCESSOS DE FABRICO.	86
TABELA 6 - PROCESSOS USUAIS NAS LINHAS DE MONTAGEM.	91
TABELA 7 - DEFINIÇÃO DOS MÓDULOS EXISTENTES NAS UNIDADES DE NEGÓCIOS DA FICOCABLES.	103
TABELA 8 - DESCRIÇÃO DA CONSTITUIÇÃO DO CABO.	107
TABELA 9 - COMPONENTES ABASTECIDOS À LINHA DE MONTAGEM.	112
TABELA 10 - TEMPOS DOS POSTOS EXTERNOS E INTERNOS À LINHA MQB1.	118
TABELA 11 - VOLUMES ANUAIS CONTRATADOS E RESPECTIVO <i>TAKT-TIME</i> .	119
TABELA 12 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DO PROCESSO.	122
TABELA 13 - DESCRIÇÃO DAS TAREFAS E RESPECTIVOS TEMPOS NO POSTO 1 DA LINHA MQB1.	128
TABELA 14 - DESCRIÇÃO DAS TAREFAS E RESPECTIVOS TEMPOS NO POSTO 2 DA LINHA MQB1.	129
TABELA 15 - DESCRIÇÃO DAS TAREFAS E RESPECTIVOS TEMPOS NO POSTO 3 DA LINHA MQB1.	130
TABELA 16 - DESCRIÇÃO DAS TAREFAS E RESPECTIVOS TEMPOS NO POSTO DA LINHA MQB1.	131
TABELA 17 - TEMPOS DA LINHA MQB1.	133
TABELA 18 - PLANO DE AÇÃO PARA A LINHA MQB1.	135
TABELA 19 - COMPARAÇÃO DAS TAREFAS ANTES E APÓS MELHORIAS.	144
TABELA 20 - RESULTADOS DA LINHA MQB1.	149
TABELA 21 - ORÇAMENTO DO EQUIPAMENTO.	150
TABELA 22 - DADOS PARA CÁLCULO DOS GANHOS INERENTES ÀS MELHORIAS PROPOSTAS.	151
TABELA 23 - TAXA DE OCUPAÇÃO DA LINHA E TEMPO NECESSÁRIO À SATISFAÇÃO DO CLIENTE.	151
TABELA 24 - CATEGORIAS ATRIBUÍDAS ÀS REFERÊNCIAS PRODUZIDAS NA LINHA V408.	153
TABELA 25 - OCUPAÇÃO DOS POSTOS PELAS DIFERENTES REFERÊNCIAS.	154
TABELA 26 - IDENTIFICAÇÃO DAS FERRAMENTAS COMUNS ÀS VÁRIAS REFERÊNCIAS NO POSTO 1.	157
TABELA 27 - IDENTIFICAÇÃO DAS FERRAMENTAS COMUNS ÀS VÁRIAS REFERÊNCIAS NO POSTO 3.	160
TABELA 28 - TEMPO DE REALIZAÇÃO DE <i>SETUP</i> ANTES DA INTRODUÇÃO DE MELHORIAS.	161
TABELA 29 - CÓDIGO DE CORES.	162
TABELA 30 - TEMPO DE REALIZAÇÃO DE <i>SETUP</i> APÓS MELHORIAS.	172
TABELA 31 - TEMPOS DE <i>SETUP</i> DA REFERÊNCIA 121912385 PARA 121912386.	173
TABELA 32 - TEMPO DE <i>SETUP</i> POR SEMANA.	174

ÍNDICE

RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABELAS	XIX
1 INTRODUÇÃO	27
1.1 ENQUADRAMENTO	27
1.2 OBJETIVOS	28
1.3 METODOLOGIA	29
1.4 ESTRUTURA	30
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1 CONCEITO DE PROCESSO	33
2.1.1 <i>Hierarquia dos processos</i>	34
2.1.2 <i>Importância do foco no processo</i>	34
2.1.3 <i>Mapeamento de processos</i>	35
2.2 CONCEITO DE <i>LEAN THINKING</i>	36
2.2.1 <i>A História</i>	36
2.2.2 <i>TPS (Toyota Production System)</i>	37
2.2.3 <i>Princípios básicos do Lean</i>	40
2.2.4 <i>Conceito de valor</i>	41
2.2.5 <i>Conceito de desperdício</i>	41
2.3 FERRAMENTAS PARA A OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO	44
2.3.1 <i>Kaizen</i>	45
2.3.2 <i>Just-In-Time</i>	46
2.3.3 <i>Jidoka</i>	47
2.3.4 <i>Heijunka</i>	48
2.3.5 <i>Gestão visual</i>	49
2.3.6 <i>Standard Work</i>	49
2.3.7 <i>SMED (Single Minute Exchanger of Die)</i>	50
2.3.8 <i>5S's</i>	52
2.3.9 <i>5W's</i>	53
2.3.10 <i>Kanban</i>	54
2.3.11 <i>Poka Yoke</i>	54
2.3.12 <i>Ciclo PDCA</i>	55
2.3.13 <i>VSM (Value Stream Mapping)</i>	59
2.3.13.1 Métricas associadas ao VSM	61
2.3.13.1.1 <i>Lead Time (LT)</i>	62
2.3.13.1.2 <i>Tempo de ciclo (TC)</i>	62

2.3.13.1.3	<i>Takt-time</i> (TT)	62
2.3.13.1.4	Tempo de ciclo planeado (TCP).....	62
2.3.13.1.5	Tempo de operação (TO)	62
2.3.13.1.6	Tempo de valor acrescentado (TVA)	62
2.3.13.1.7	Ocupação semanal da máquina/posto/linha (OSem)	63
2.3.14	<i>OEE (Overall Equipment Effectiveness)</i>	63
2.4	TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE TEMPOS EM OPERAÇÕES DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM	67
2.5	BALANCEAMENTO DA LINHA DE MONTAGEM.....	73
2.6	PRODUÇÃO DE CABOS DE COMANDO PARA AUTOMÓVEIS	74
2.6.1	<i>O cabo metálico</i>	75
2.6.2	<i>Os componentes dos cabos de comando</i>	78
2.6.3	<i>Processos usados no fabrico dos cabos de comando para automóveis</i>	84
2.6.3.1	Processos associados ao fabrico	84
2.6.3.2	Processos associados à montagem	91
2.6.4	<i>Encadeamento dos processos</i>	94
2.6.5	<i>Controlo de qualidade</i>	96
3	DESENVOLVIMENTO	101
3.1	OBJETIVOS DO TRABALHO PRÁTICO	101
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	101
3.2.1	<i>O grupo Ficosa (Ficosa International, S.A.)</i>	101
3.2.2	<i>FicoCables, Lda.</i>	102
3.3	ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DE LINHAS DE MONTAGEM DE CABOS DE COMANDO PARA AUTOMÓVEIS.....	104
3.3.1	<i>Caso da linha MQB1</i>	105
3.3.1.1	Apresentação do produto	106
3.3.1.2	Apresentação da linha de montagem MQB1	108
3.3.1.3	Breve descrição do funcionamento da linha MQB1	108
3.3.1.3.1	Posto de preparação	109
3.3.1.3.2	Posto de injeção plástica.....	111
3.3.1.3.3	<i>Robocop</i>	111
3.3.1.3.4	Linha de Montagem.....	111
3.3.1.4	Medição de tempos na linha MQB1.....	118
3.3.1.5	Diagrama VSM do estado atual da linha MQB1	119
3.3.1.6	Melhorias identificadas como passíveis de ser aplicadas à linha MQB1	121
3.3.1.7	Implementação das melhorias na linha MQB1	123
3.3.1.8	Medição de tempos por tarefa na linha MQB1.....	127
3.3.1.9	Diagrama VSM do estado futuro 1/atual 2.....	133
3.3.1.10	Melhorias identificadas como passíveis de ser aplicadas.....	135
3.3.1.11	Diagrama VSM do estado futuro 2 da linha MQB1	136
3.3.1.12	Implementação das melhorias na linha MQB1	138
3.3.1.13	Quadro comparativo das tarefas antes e depois da introdução das melhorias na linha MQB1	144
3.3.1.14	Medição do OEE antes e depois das melhorias introduzidas na linha MQB1	147
3.3.1.15	Resultados efetivamente conseguidos na linha MQB1	149

3.3.2	Caso da linha V408	152
3.3.2.1	Breve descrição do funcionamento da linha V408.....	154
3.3.2.2	Medição de tempos por posto	161
3.3.2.3	Melhorias identificadas e sua implementação.....	161
3.3.2.3.1	Tarefas de <i>setup</i> interno e externo.....	161
3.3.2.3.2	Identificação e organização das ferramentas de <i>setup</i>	162
3.3.2.3.3	Ferramenta de aperto rápido	168
3.3.2.3.4	Ferramenta de engate rápido	170
3.3.2.3.5	Disponibilidade das ferramentas de apoio ao <i>setup</i>	170
3.3.2.3.6	Carro de apoio ao <i>setup</i>	171
3.3.2.4	Medição do tempo de <i>setup</i> após melhorias introduzidas na linha V408.	172
3.3.2.5	Resultados efetivamente conseguidos na linha V408.	172
4	CONCLUSÕES	181
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	185
6	ANEXOS	193

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

1.2 OBJETIVOS

1.3 METODOLOGIA

1.4 ESTRUTURA

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A produção de componentes para a indústria automóvel tem sido um dos pilares mais pujantes no atual contexto da indústria metalomecânica nacional. Os salários relativamente baixos e uma crescente automatização dos processos, tem levado a que os produtos se tenham tornado bastante mais competitivos em termos europeus, o que tem alavancado fortemente o sector, fazendo crescer de forma sustentada as exportações e o reconhecimento da indústria metalomecânica portuguesa como capaz de se tornar um *player* importante no contexto internacional. Efetivamente, os fatores negativos como a distância ao centro da europa, onde estão sediadas as principais marcas de automóveis e as principais fábricas de montagem, começam a ser largamente compensados pela competitividade da mão-de-obra e pela qualidade dos produtos entregues, existindo também um compromisso muito maior com o cliente no cumprimento dos prazos por ele definidos.

Numa tentativa de otimização de recursos, as linhas de montagem de cabos de comando para automóveis são utilizadas para produzir várias referências de cabos similares. Com o tempo, o cliente solicita alterações, as quais são produzidas diretamente na linha, sem que haja um cadastro completo das ações produzidas, nem uma normalização dessas mesmas ações, impedindo por vezes que lições inicialmente aprendidas sejam acauteladas no futuro. Para além disso, nem sempre existe o espírito crítico necessário e o acompanhamento por parte da Engenharia, de forma a recolher informações no “chão de fábrica”, de forma a que situações como a ergonomia, disposição global dos equipamentos e procedimentos, possam ser convenientemente otimizados.

Com o desenvolvimento de técnicas de análise da produção nas últimas décadas, surgiu a necessidade de as implementar com vista a não perder competitividade. Para além disso, isso constitui um desafio para a Engenharia, que passa a ter como missão permanente criticar as soluções anteriormente adotadas e sugerir novos processos de produção, com vista à redução de custos, simplificação do trabalho e segurança dos operadores. É exatamente nessa vertente que este trabalho se insere, procurando uniformizar e otimizar linhas de montagem que, parecendo semelhantes, possuem todas elas as suas especificidades.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo mapear as atividades de produção de cabos de comando para a indústria automóvel, procurando seguidamente fornecer sugestões de melhoria e implementar novas técnicas de produção que permitam melhorar a qualidade e a produtividade dessas linhas. Assim, poderá considerar-se que o objetivo principal passa também por:

- Efetuar um mapeamento completo de algumas linhas de produção de cabos de comando, utilizando as técnicas de mapeamento mais recentes;
- Proceder à sua análise crítica;
- Elaborar sugestões de melhoria, devidamente fundamentadas;
- Criar as condições necessárias à sua implementação;
- Acompanhar o procedimento de implementação de novas configurações das linhas de produção, com vista à melhoria do processo;
- Verificar o índice de sucesso das medidas implementadas;
- Documentar convenientemente os processos de mudança, para que possam constituir lições em situações futuras.

Para a prossecução dos objetivos anteriormente referidos, tornar-se-á necessário:

- Proceder a um exaustivo trabalho de “chão-de-fábrica”, no sentido de aquilatar das tecnologias existentes no terreno, disposição de equipamentos, problemas ergonómicos sentidos pelos(as) operadores(as), problemas de disposição de equipamentos e sistemas de abastecimento que afetam o rendimento, entre muitos outros;
- Mapear e cronometrar as diferentes tarefas, percebendo quais as que constituem valor acrescentado e o cliente está disponível para pagar, e todas as outras que o cliente não está disponível a custear, mas se encontram no custo final da cablagem;
- Elaborar um diagrama VSM (*Value Stream Mapping*) do estado atual, em alguns casos;
- Ouvir, no terreno, possíveis sugestões de melhoria e analisar qual a recetividade dos operadores para possíveis mudanças;

- Registrar as tarefas e os tempos para cada linha completa, com o espírito crítico necessário para ir analisando quais as alterações a propor;
- Efetuar o diagrama VSM futuro, com vista a perceber-se quais as melhorias que o plano poderá trazer ao processo, em alguns casos;
- Elaborar um conjunto de sugestões de melhoria, as quais serão posteriormente discutidas com a equipa, no sentido de analisar a viabilidade de implementação;
- Preparar a implementação das medidas aprovadas;
- Agilizar a implementação, no terreno, das ideias inicialmente gizadas;
- Proceder à análise crítica das mudanças implementadas no processo;
- Proceder à medição dos tempos na nova situação, para validação;
- Efetuar o registo do novo processo, para memória futura, devidamente documentado para que se possam tirar lições para futuro.

1.3 Metodologia

A elaboração do presente trabalho seguiu a metodologia que seguidamente se descreve:

- Estudo do estado da arte referente à matéria em causa, nomeadamente às técnicas de mapeamento de processos;
- Estudo da situação real em “chão-de-fábrica”, com vista a ter uma noção mais real dos processos e respetivos problemas;
- Inventariação das atividades correspondentes a cada linha, com vista à aquisição de uma maior perceção dos problemas;
- Cronometragem dos tempos por atividade;
- Análise da variabilidade de produto em cada linha, com a correspondente medição dos tempos de preparação de cada linha;
- Estudo das limitações de cada linha, atendendo à diversidade de produtos produzidos na empresa;
- Elaboração do diagrama VSM da situação atual;

- Inventário das sugestões a efetuar para cada linha, tendo em conta a diversidade de produtos nela fabricados;
- Apresentação e discussão em equipa das sugestões de melhoria propostas, apresentando as vantagens e desvantagens de cada solução;
- Elaboração do diagrama VSM da situação futura;
- Estudo da melhor forma de implementar as sugestões validadas;
- Acompanhamento, no terreno, da implementação das sugestões validadas;
- Medição dos novos tempos de produção, com as soluções validadas já implementadas;
- Análise dos ganhos conseguidos;
- Registo das alterações e respetiva fundamentação;
- Redação da presente Dissertação.

1.4 Estrutura

A estrutura deste trabalho está assente essencialmente em duas partes: uma Revisão Bibliográfica inicial, onde se pretende enquadrar o leitor com os temas envolvidos nesta dissertação, passando em revista os desenvolvimentos técnicos e científicos que foram publicados em livros e periódicos científicos dedicados à matéria, e o Desenvolvimento do Trabalho Prático propriamente dito, com referência ao trabalho desenvolvido no terreno, problemas sentidos, proveito dos resultados obtidos, sugestões passíveis de poder ser apresentadas para melhorias futuras e respetivas conclusões.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITO DE PROCESSO

2.2 CONCEITO DE *LEAN THINKING*

2.3 FERRAMENTAS PARA A OPTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO

2.4 TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE TEMPOS EM OPERAÇÕES DE
FABRICAÇÃO E MONTAGEM

2.5 BALANCEAMENTO DA LINHA DE MONTAGEM

2.6 PRODUÇÃO DE CABOS DE COMANDO PARA AUTOMÓVEIS

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceito de Processo

Todo o trabalho importante realizado nas empresas faz parte de algum processo [1]. Não existe um produto ou um serviço oferecido por uma empresa sem um ou mais processos, da mesma forma que não faz sentido existir um processo empresarial que não ofereça um produto ou um serviço [2].

Para que uma organização funcione de forma eficaz, tem que determinar e gerir numerosas atividades interligadas. Uma atividade ou conjunto de atividades utilizando recursos, e gerida de forma a permitir a transformação de entradas em saídas, pode ser considerada como um processo [3].

“O processo é definido como qualquer atividade que recebe uma entrada (input), agrega-lhe valor e gera uma saída (output) para um cliente interno ou externo, fazendo uso dos recursos da organização para gerar resultados concretos” [4]. “Um processo integra pessoas, ferramentas e métodos para executar uma sequência de passos, com o objetivo definido de transformar determinadas entradas em determinadas saídas” [5].

A Figura 1 representa o conceito de processo. Os recursos podem ser: humanos (pessoas), financeiros (dinheiro) e infraestruturas (equipamentos, instalações, ferramentas, etc.). As regras são os documentos que orientam o processo (política, procedimentos, manuais, regras de negócio, regulamentações, especificações, etc. [6].



Figura 1 - Conceito de processo (adaptado de [6]).

A palavra processos é empregue na Sociologia, na Psicologia, na Biologia, na Arquitetura, na Engenharia e na Política, sempre com significados semelhantes, embora tratando de assuntos muito diferentes. A ideia de processo como fluxo de trabalho, com *inputs* e *outputs* claramente definidos e tarefas que seguem uma sequência, dependendo umas das outras numa sucessão clara – vem da tradição da Engenharia [7].

2.1.1 Hierarquia dos processos

Todo o processo tem, na sua essência, uma hierarquia funcional vinculada aos macroprocessos da organização, ou seja, aqueles que por definição representam a alma do negócio, sem os quais a organização não cumpre o seu propósito. Esta hierarquia é representada por uma sequência lógica de elementos denominados: processos, subprocessos, atividades e tarefas [8].

2.1.2 Importância do foco no processo

Os processos que geram os produtos do trabalho, em especial os produtos que os clientes compram (e que justificam a existência da organização), fluem de forma horizontal em toda a organização, através dos departamentos funcionais. A gestão por processos possibilita a interação entre as várias atividades que são realizadas nas empresas pelos diversos departamentos. Neste tipo de gestão, cada departamento não funciona de uma forma estanque e independente, as atividades não são realizadas por uma única área ou grupo de pessoas. Há o envolvimento de várias áreas e a formação de equipas específicas.

A gestão por processos permite ter uma visão completa da organização, desde o macroprocesso até à tarefa que compõe cada um dos muitos subprocessos, facilitando assim a atuação no sentido de obter a satisfação total do cliente [8]:

- Eliminando os defeitos e as deficiências em tudo aquilo que se faz, baseado na análise, nas medidas do trabalho, registos operacionais e medição dos resultados;
- Reduzindo o ciclo operacional através da diminuição das oportunidades de erros, da eliminação dos retrabalhos, e principalmente da eliminação das tarefas que não agregam valor ao processo;
- Motivando para o envolvimento de todos, desde o pessoal da linha de produção até à alta direção da empresa.

O objetivo da gestão por processos é torná-los mais eficazes, eficientes e adaptáveis.

O processo é eficaz quando o *output* atende às necessidades dos clientes. É eficiente quando o consegue fazer a baixo custo, o que significa que os recursos foram utilizados de forma otimizada. O processo é adaptável quando mesmo sujeito às mudanças que ocorrem ao longo do tempo, permanece eficaz e eficiente [9].

Os gestores do processo de produção têm desenvolvido conceitos e ferramentas indispensáveis, entre as quais se destacam a documentação detalhada do processo, definição das exigências do processo, medidas do processo e remoção de defeitos do processo. A estas ferramentas foi reconhecido grande valor e aplicabilidade a todos os principais processos de negócios (tal como desenvolvimento de produtos, planeamento de negócios, distribuição, faturação, etc.), e não apenas para o processo de produção [9][10].

A compreensão do processo é importante, pois é a chave para o sucesso em qualquer negócio. A organização é tão infalível quanto os seus processos, pois eles são os responsáveis pelos produtos que disponibiliza aos clientes. Para entender o processo, torná-lo suscetível a melhorias, de forma a criar maior valor para o cliente e para a organização, deve-se proceder ao seu mapeamento.

2.1.3 Mapeamento de processos

O mapeamento é uma técnica utilizada para detalhar os processos, permitindo a sua visualização e compreensão. Para a concretização do mapeamento de processos procede-se à sua identificação, recolha de dados, realização de entrevistas, criação do mapa do processo e análise.

O valor do mapeamento de processos está em conseguir que os funcionários contem a sua história - as histórias que compõem o filme, que é a empresa. O mapeamento de processos é uma maneira de registar essas histórias, de forma a documentar o filme. Mas, o mapeamento de processos vai muito além da realização de um mapa: consiste em todo um sistema que resulta num projeto de sucesso, onde é possível saber o que compõem o processo (identificação), o que existe dentro do processo (recolha de dados), quem são os envolvidos e de que forma percebem o processo (entrevistas), tudo isto registado com recurso a ferramentas específicas para o efeito (mapa), onde as oportunidades de melhoria se tornam evidentes (analisando os dados), para o executante e para os outros (apresentação) [11].

A representação visual e a sua análise, são a chave do sucesso do mapeamento. É através desta que se identificam as transformações que justificam o processo, que acrescentam valor e

tornam o processo eficaz e eficiente, não deixando passar despercebidos pontos desconexos e ilógicos que sustentam gargalos, desperdícios, demoras e duplicação de esforços, que levam a formular uma série de perguntas críticas, tais como [2]:

- Esta complexidade é necessária?
- São possíveis simplificações?
- Fluxo produtivo é o mais adequado?
- As pessoas estão preparadas para as suas funções?
- O processo é eficaz?
- O trabalho é eficiente?
- Os custos são adequados?

Com este espírito de análise crítica, é possível identificar oportunidades de melhoria. A eliminação de trabalho desnecessário, recorrendo à simplificação, modificação e combinação de operações ou elementos, surge muitas vezes na sequência da elaboração do mapeamento dos processos. O resultado da implementação das melhorias identificadas através do mapeamento de processos, conduzem à redução dos tempos de ciclo, melhoraria na qualidade do produto, maior flexibilidade e maior confiabilidade, em suma, à tão almejada redução de custos.

De entre outras, o VSM é uma das técnicas de mapeamento mais recentes. Permite de uma forma simples e clara, visualizar como está o processo em relação aos princípios *Lean thinking*. Esta técnica facilita a identificação de desperdícios e permite idealizar o fluxo de valor, desde o fornecedor até ao cliente [12] [13].

2.2 Conceito de *Lean thinking*

Lean thinking, em português, pensamento magro, é um termo cunhado por James Womack e Daniel Jones para patentear uma filosofia de negócios baseada no TPS (*Toyota Production System*), cujo propósito é identificar o que é desperdício e eliminá-lo. Embora tenha começado na indústria automóvel, a filosofia *Lean thinking* é hoje utilizada em empresas de diversas atividades, nomeadamente nos serviços, como por exemplo nas unidades de saúde, câmaras municipais ou banca [14].

2.2.1 A História

A indústria automóvel teve origem em finais do século XIX, mais propriamente por volta de 1880. O tipo de produção utilizado era artesanal, o que permitia proporcionar ao cliente exatamente

o que ele desejava. No entanto, o tempo de espera e os custos eram elevadíssimos, além de que, o sistema era incapaz de garantir confiabilidade e durabilidade ao produto, e os clientes tinham que providenciar os próprios testes. Este tipo de produção rapidamente se deparou com problemas que não conseguiu superar, dando origem à era da produção em massa [15].

Foi Henry Ford que descobriu como superar os problemas inerentes à produção artesanal. A chave do problema consistia na completa e consistente intercambialidade das peças e na facilidade de as ajustar entre si. Com estas inovações, foi possível em 1913 conceber a sua linha de montagem a trabalhar em fluxo contínuo [15]. Ford foi o primeiro a considerar o fluxo de produção e o trabalho *standard*. Com esta técnica, Ford reduziu drasticamente os custos e, conseqüentemente, o preço dos carros, mas a oferta para o cliente limitava-se ao tipo de carro que a linha produzia de uma forma padronizada e em altíssimo volume. Esta técnica foi designada de “produção em massa” [16].

A produção *Lean* pretende conjugar as vantagens da produção artesanal, em que se produz exatamente o que o consumidor deseja, com as vantagens da produção em massa. Com esta finalidade, deverá optar-se por trabalhadores multifuncionais a todos os níveis da organização, máquinas altamente flexíveis e cada vez mais automatizadas, para assim produzir grande volume de produtos de ampla variedade [15][17].

A produção em massa prosperou e, para além dos “Três Grandes” da indústria automóvel norte-americana - *Ford, General Motors e Chrysler* - foi adotada por quase todas as empresas da indústria automóvel a nível mundial. Em 1955, ano em que a produção em massa atingiu a maturação, foi também o ano em que as três companhias norte-americanas entraram em queda, isto porque muitas outras empresas - *Renault, Fiat, Mercedes* - produziam em escala comparável e produtos bem diversos. Com a enorme oferta do mercado e o descontentamento dos trabalhadores devido à monotonia inerente ao trabalho em massa, a estagnação da produção em massa norte-americana e europeia teria prosseguido indefinidamente, não tivesse uma nova filosofia industrial emergido no Japão [15].

2.2.2 TPS (*Toyota Production System*)

Depois da segunda guerra mundial, a família Toyoda decidiu também apostar em larga escala na produção automóvel. Fascinados com os resultados da Ford, 7000 carros/dia, quando a *Toyota Motor Company* desde a sua criação até 1950 havia produzido apenas 2685 automóveis, Eiji Toyoda foi durante três meses para a fábrica da Ford em Rouge, estudar o sistema produtivo. De regresso, e com a consciência de que a produção em massa nunca poderia funcionar no

Japão, onde o mercado interno era pequeno e existia uma procura diversificada de veículos, mas ciente que era possível melhorar o sistema de produção, deu início a uma série de inovações. É o nascimento do *Toyota Production System* (TPS) [15].

O TPS foi concebido com base em ferramentas e soluções que conduzem a uma melhoria contínua dos processos e das pessoas. As técnicas utilizadas focam-se essencialmente na produção JIT (*Just-In-Time*) e na eliminação de desperdícios na cadeia de valor [18].

Com o intuito de estruturar melhor o TPS para que dele se pudesse tirar o maior proveito, Fujio Cho, ex-diretor da Toyota, desenhou uma representação simples, denominada “casa do TPS”, representada na Figura 2 [18].

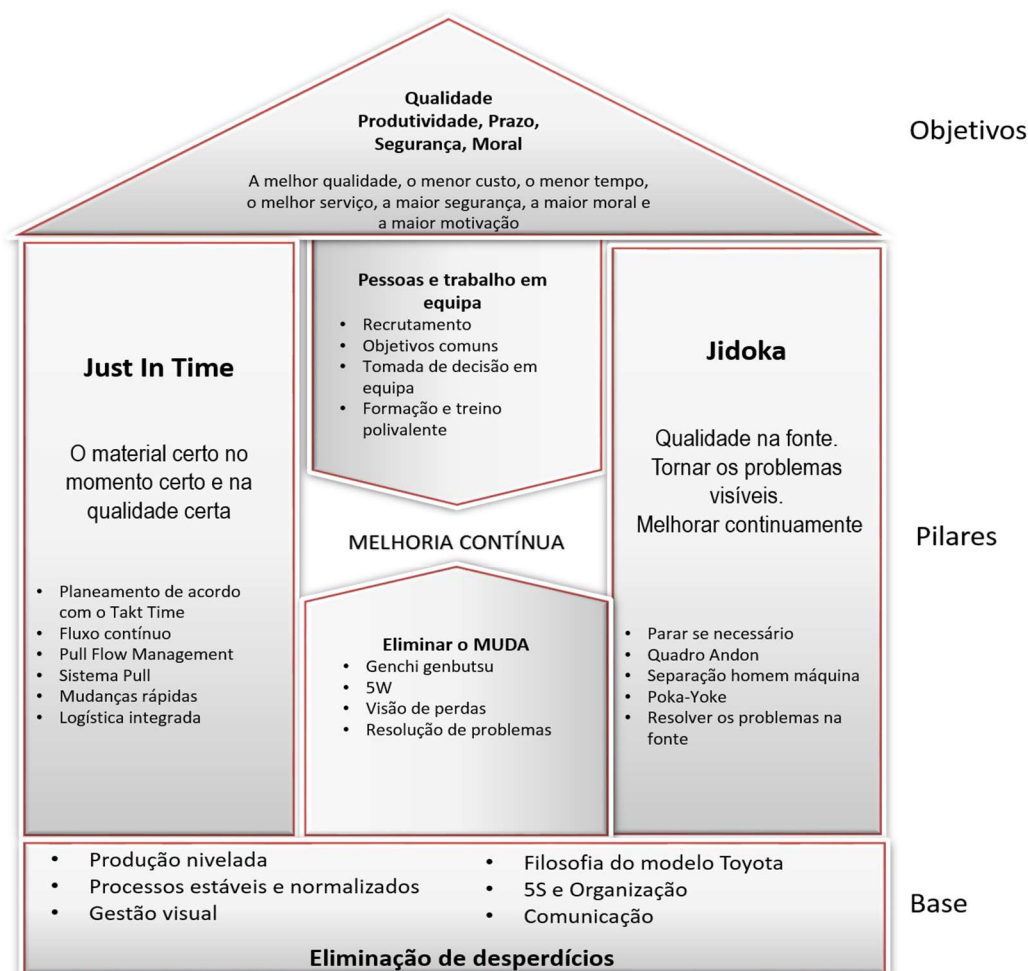


Figura 2 - A casa do TPS [18].

Nos alicerces encontram-se os princípios para tornar os processos estáveis e preparados para a melhoria da *performance*: a produção nivelada (*Heijunka*), os processos estáveis e normalizados (*standard work*), a gestão visual e os 5S [19].

Nos pilares, estão o JIT e o *Jidoka*. O JIT surgiu da necessidade de produzir diversidade em pequena quantidade, pois para que a indústria automóvel conseguisse resistir no Japão após a 2ª Guerra Mundial, não podia operar de outra forma. O *Jidoka* permite tornar visível o problema na fonte, a intervenção vai no sentido de eliminar a causa do defeito. Por isto, este termo é muitas vezes referido como uma filosofia para garantir a qualidade na produção [20].

No centro da casa temos a melhoria contínua, a necessidade de motivar e envolver os colaboradores, a resolução de problemas e a eliminação constante dos desperdícios. O telhado simboliza o resultado final do sistema: obter produtos ou serviços de qualidade, ao mais baixo custo e com o nível exigido pelo cliente [19].

Joffrey Liker, no seu livro *The Toyota Way* exhibe catorze princípios do modelo *Toyota* que patenteiam de uma forma sucinta o TPS. O mesmo autor agrupou os catorze princípios em quatro categorias designadas de “4 P”: *Philosophy* (princípio 1), *Process* (princípios 2 a 8), *People and Partners* (princípios 9 a 11) e *Problem solving* (princípios 12 a 14), sendo eles [18].

1. As decisões administrativas devem seguir uma filosofia de longo prazo, mesmo que a curto prazo não seja a opção mais vantajosa;
2. Criar um fluxo de processo contínuo, de modo a evidenciar os problemas;
3. Usar o sistema *Pull* para evitar excesso de produção;
4. Nivelar a carga de trabalho (*Heijunka*);
5. Enraizar a cultura de fazer bem à primeira. Saber parar sempre que necessário, para resolver os problemas;
6. Optar por tarefas padronizadas, pois só assim se consegue capacitar os colaboradores e promover a melhoria contínua;
7. Usar controlos visuais para evidenciar os problemas;
8. Usar tecnologia fiável e devidamente testada, que atenda às pessoas e aos processos;
9. Desenvolver líderes conhecedores do trabalho, que vivam a filosofia e ensinem os outros;
10. Desenvolver pessoas excepcionais que sigam a filosofia da empresa;
11. Respeitar a rede de parceiros e fornecedores, desafiando-os e ajudando-os a melhorar;
12. Frequentar o chão de fábrica para testemunhar os problemas e entender a sua causa;

13. Tomar decisões após analisar todas as opções e em consenso com todos os intervenientes. Primar pela sua rápida implementação;

14. Promover a reflexão permanente e a melhoria contínua (*Kaizen*).

O TPS está na origem do *Lean thinking* (pensamento magro) e foi replicado ao longo dos tempos por muitas empresas, até que nos anos 90 passou a ser chamado de *Lean manufacturing* ou *Lean production*, com a publicação da obra de referência de Womack & Jones, a filosofia *Lean Thinking* [21]. Embora passem por abordagens diferentes, os objetivos dos dois sistemas são comuns: eliminar desperdícios, motivar e envolver colaboradores, otimizar equipamentos, reduzir custos e aumentar a satisfação do cliente final. Assim, o *Lean* explora os vários conceitos utilizados no TPS, focando-se na eliminação dos vários tipos de desperdício existentes na cadeia de valor e na redução do tempo de ciclo do produto [22][23][24][25].

2.2.3 Princípios básicos do *Lean*

O pensamento *Lean* consiste num conjunto de conceitos e princípios que visam simplificar o modo como uma organização produz valor para os seus clientes, enquanto todos os desperdícios são eliminados [14].

Os conceitos e princípios que permitem alcançar os objetivos definidos pelo pensamento *Lean* começaram por ser cinco, aos quais foram acrescentados mais dois, sendo de seguida abordados sucintamente [14][19]:

- Conhecer os *Stakeholders* – não focar exclusivamente no cliente, mas conhecer e compreender todos os interessados;
- Definir valor – Identificar o que os clientes querem. Deve existir uma focalização na definição de atividades e operações que o cliente esteja disposto a pagar;
- Definir cadeia de valor – A cadeia de valor é o conjunto de todas as ações necessárias à satisfação do pedido dos clientes. Basicamente, consiste em identificar e mapear com precisão o fluxo de valor completo do produto;
- Otimizar os fluxos – A otimização dos fluxos consiste em encontrar a sequência ideal de etapas que criam valor, sem interrupção da mesma, procurando sincronizar os meios envolvidos na criação de valor para todas as partes;

- Implementar o sistema *pull* – Deixar que seja o cliente (e outros *stakeholders*) a puxar o fluxo dos processos, evitando que as empresas empurrem para as partes aquilo que elas julgam ser a necessidade destas;
- Procura pela perfeição - Empenho na procura pela perfeição, sabendo que os interesses, as necessidades e as expectativas dos diferentes *stakeholders* estão em constante evolução. Trata-se de uma jornada de melhoria contínua (*kaizen*);
- Inovar sempre – Inovar com o intuito de criar novos produtos, novos serviços e assim criar valor para todas as partes interessadas.

2.2.4 Conceito de valor

Valor é tudo aquilo que o cliente está disposto a pagar. De uma forma simples e pragmática, valor é o que o cliente leva, preço é o que paga – o que qualquer cliente pretende é que o preço pago seja justificado pelo valor que leva. Como tal, é fácil de entender que o valor é sempre definido pelo cliente e refere-se às características dos produtos ou serviços que satisfazem as necessidades e expectativas dos clientes. No entanto, apesar do cliente ser o foco da criação de valor, as empresas devem ter em conta os restantes *stakeholders*, sob pena de comprometerem a integridade da organização e a sustentabilidade dos produtos e serviços, uma vez que estes também esperam receber algo que compense a sua disponibilidade e apoio no desenvolvimento da empresa [14][26].

Acrescentar valor ao produto significa executar uma tarefa ou operação que vá de encontro às necessidades do cliente, o que fará com que o produto seja valorizado. É de vital importância, analisar toda a cadeia de valor de qualquer produto, determinar quais as atividades que criam valor, aquelas que embora não acrescentando valor são inevitáveis pela sua importância na manutenção dos processos e da qualidade, e as que não acrescentam valor e devem ser eliminadas. Só desta forma é possível otimizar o processo e entregar o mesmo valor ao cliente com um custo inferior para a organização [14].

2.2.5 Conceito de desperdício

Nas abordagens à identificação do desperdício, o objetivo é chegar a uma condição onde a capacidade de produção seja igual ao solicitado pelo cliente. Por outras palavras, nas empresas devem existir processos, materiais, pessoas e tecnologia para, na hora certa, produzir a quantidade certa do produto e/ou serviço que foi solicitado pelo cliente. As situações onde há desequilíbrio entre a capacidade e a carga, resultam em perdas para a empresa [20].

Para a gestão empresarial japonesa, isto é expresso em termos de “Muda”, “Mura” e “Muri”; os três *MU's*, que significam o seguinte:

- Muda – é o desperdício, refere-se a todas as atividades que não acrescentam valor. Nas organizações, manifestam-se através de todas as ações, materiais e processos que o cliente não perceba ou não sinta como importantes, ou seja, tudo o que o cliente não está disposto a pagar, como tal, deve ser reduzido ou eliminado [24].
- Mura - é o variável, refere-se às anomalias ou às instabilidades na produção. Pode ser evitado pelo *JIT*, que consiste em manter pouco ou nenhum *stock*. Inverte o paradigma produtivo e cria um sistema de “puxar” a produção, em que cada subprocesso retira as suas necessidades a partir do subprocesso anterior e, finalmente, a partir de um fornecedor externo. Este tipo de sistema é projetado para maximizar a produtividade, minimizando a sobrecarga de armazenamento [20][27].
- Muri – é o instável, manifesta-se através do excesso ou insuficiência produtiva. Para a sua eliminação é necessário uniformizar o trabalho, garantido que todos seguem o mesmo procedimento, tornando os processos mais previsíveis, estáveis e controláveis [14].

Mais de 95% do tempo disponível de uma organização é despendido na realização de atividades que não acrescentam valor, e dependendo da sua necessidade, estamos perante desperdício puro ou desperdício desnecessário [24]:

- Desperdício Puro – refere-se às atividades totalmente dispensáveis, como por exemplo deslocações, paragens e avarias. As empresas têm a obrigação de eliminar totalmente este desperdício;
- Desperdício necessário – apesar de não acrescentar valor, estas atividades têm de ser realizadas, como por exemplo as inspeções de componentes e matérias-primas adquiridas, inspeção de serviços internos, e a realização de *setups*. As empresas devem reduzir este tipo de desperdícios ao mínimo indispensável, optando por fornecedores e processos mais fiáveis para evitar inspeções e controlos de qualidade.

Para efetuar uma análise dos desperdícios, como etapa preliminar da aplicação dos conceitos *Lean*, é necessário saber identificá-los. Essa tarefa foi desenvolvida por Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, que identificaram os sete desperdícios que a seguir se apresentam [14] [20] [28].

1. Excesso de produção - Significa produzir mais que o necessário, mais rápido que o necessário e antes que necessário, o que se traduz num consumo desnecessário de matérias-primas, mão-de-obra e criação de *stocks*, que levam à ocupação de meios de armazenamento e meios de transporte. Assim, é imperativo que se produza somente quando o cliente encomenda.
2. Tempo de espera - Refere-se ao tempo que as pessoas ou equipamentos perdem sempre que estão à espera de algo, o que pode ocorrer devido a mau planeamento, falta de componentes ou matéria-prima, falta de mão-de-obra, *setups* mal conseguidos, avarias, interrupção na sequência das operações, gargalos na produção, etc. Isto resulta, inevitavelmente, num aumento do *lead time*, ou seja, do tempo que decorre entre o pedido do cliente e a entrega do produto. Estes períodos de inatividade devem ser eliminados, porque o tempo é um recurso limitado e não recuperável (só é utilizado uma vez). Sempre que possível, estes períodos devem ser aproveitados para fazer manutenção e limpeza do posto de trabalho.
3. Transporte de materiais - Transporte é qualquer movimento ou transferência de materiais, produtos semiacabados ou produtos acabados, de um sítio para o outro por alguma razão. Por mais pequenas que sejam as distâncias, movimentações do *Work-In-Progress* (WIP), implicam um gasto de tempo que não acrescenta valor ao produto final. No entanto, parte destes transportes são necessários, pelo que se deve minimizar as distâncias entre processos, reduzir a quantidade dos lotes e fazer um bom planeamento de *layout*.
4. Desperdício do próprio processo - Decorre da existência de etapas ou funções no processo que não agregam valor, porque são desnecessárias, ou extremamente complexas, ou ainda desadequadas que, de forma mais ou menos direta, acabam por se traduzir em defeitos. Instruções de trabalho pouco claras, deficiente definição dos requisitos dos clientes e especificações de qualidade mais rigorosas que o necessário, são também algumas causas de desperdício do próprio processo.
5. Inventário - A existência de materiais retidos por um determinado tempo, dentro ou fora da fábrica, é um sinal de alerta, porque normalmente esconde problemas, nomeadamente quebras de fluxo do processo produtivo, que muitas vezes têm origem em máquinas e operadores com baixa produtividade, e que desta forma são camuflados.

A existência de excesso de matéria-prima, WIP, bem como produtos acabados, ocupa meios de armazenamento, provoca consumo desnecessário de recursos de mão-de-obra e equipamentos utilizados nas movimentações, além de que aumenta a exposição a possíveis danos.

6. Trabalhos desnecessários - Refere-se a movimentos desnecessários para executar operações. São causas comuns: falta de organização no trabalho, operações isoladas, falta de formação das pessoas e incorreto *layout*. Algumas formas de eliminar o trabalho desnecessário são, por exemplo, conseguir um fluxo contínuo de produção, promover padrões para operações de trabalho e apostar na formação e experiência dos colaboradores.

O sistema de produção *Lean* procura a economia e consistência nos movimentos através do estudo de métodos e tempos de trabalho, chamando a atenção para soluções simples e de baixo custo.

7. Defeitos - São sempre resultado de problemas internos de qualidade que originam produtos rejeitados ou retrabalho de recuperação, o que, de imediato, envolve desperdício de materiais, mão-de-obra e tempo, resultando em custos elevados e clientes insatisfeitos.
- 7+1. Não aproveitamento do potencial humano - Saber escutar os trabalhadores e aproveitar as capacidades intrínsecas de cada pessoa, pode render muito à organização. Os trabalhadores são a maior fonte de sugestões de melhoria. O seu envolvimento em todo o processo resulta em motivação e adesão à mudança, que de outra forma está significativamente comprometida.

Identificadas as diversas formas de desperdício, é necessário delinear estratégias que visem a sua eliminação, por forma a otimizar a produção. A filosofia *Lean* conta com várias ferramentas de suporte [29]. O VSM, Gestão visual, 5S, *Standard work*, *Kaizen* ou o ciclo PDCA (*Plan – Do – Check – Act*) são utilizados nas empresas para ajudar a identificar oportunidades de redução de desperdícios e melhoria da eficiência dos processos de produção [30].

2.3 Ferramentas para a otimização da produção

A produção *Lean* conta com um conjunto de ferramentas que utiliza como instrumentos para a sua implementação, mas o *Lean* não se resume a um conjunto de ferramentas, estas apenas materializam e possibilitam que os princípios *Lean* sejam uma realidade nos processos das empresas [23] [26].

A maioria das ferramentas tem origem no sistema TPS. O JIT é uma das ferramentas fulcrais, um dos pilares da casa TPS. O *Jidoka*, outro pilar da casa TPS, determina a criação de condições que levem à perfeição do processo, eliminando as perdas na raiz e de forma definitiva [31].

O *Jidoka* complementa o JIT, e ambos assentam nos princípios para tornar os processos estáveis e preparados para a melhoria. A gestão visual, a produção nivelada (*Heijunka*) e os processos *standard* constituem a base do sistema TPS, que visa gerir as operações de forma simples e eficiente, otimizando o uso dos recursos. O resultado é um sistema de fabrico capaz de atender às exigências da qualidade e entrega no cliente, ao menor custo [14].

Mas, uma empresa *Lean* com sucesso, não pode somente agarrar-se às ferramentas do sistema de produção *Lean*, tem que cultivar os seus princípios. Pensamento *Lean* significa uma mudança na gestão de operações e toda a mudança começa pela mente: é necessário que todos participem no processo de mudança e tem que começar pela gestão de topo. A gestão de topo da empresa tem que se tornar consciente e participativa, procurando desenvolver um senso mais apurado do que necessita ser mudado na situação atual. Este senso de mudança vai gradualmente atingir níveis médios de gestão, até alcançar todos os colaboradores [14] [32].

“Ferramentas e técnicas não são armas secretas para transformar uma empresa. O contínuo sucesso da Toyota na implementação dessas ferramentas tem origem numa filosofia empresarial mais profunda, baseada na compreensão das pessoas e da motivação humana. O seu sucesso baseia-se essencialmente na sua habilidade de cultivar liderança, equipas e cultura para criar estratégias, construir relacionamentos com fornecedores e manter uma organização de aprendizagem” [33].

Trata-se de uma cultura com formação e treino, que recorre a métodos e ferramentas para eliminar desperdício, motivar colaboradores, otimizar equipamentos e aumentar a produtividade.

2.3.1 *Kaizen*

A palavra *Kaizen* resulta da aglutinação de duas palavras japonesas, *Kai* que significa mudança e *Zen* que significa para melhor, originando melhoria contínua. É outra forma de descrever o conceito *Lean* e a sua implementação é procurada por cada vez mais empresas [34].

A prática do *Kaizen* nunca tem fim e visa eliminar tudo o que seja desperdício com base no bom senso, com recurso a soluções económicas que se apoiam na motivação e criatividade dos

colaboradores. Para praticar *Kaizen*, recorre-se a eventos *Kaizen*, eventos de melhoria rápida, as quais se baseiam em equipas de melhoria dedicadas a implementar rapidamente *Lean*, numa área específica e num curto espaço de tempo, onde o objetivo pode ser tão simples como criar controlos visuais para uma área de trabalho, ou tão difícil como reorganizar uma grande e complexa cadeia de valor [19].

Um exemplo *Kaizen* é a realização de uma pequena reunião todas manhãs, para discutir os desvios de qualidade e eliminar as suas causas. *Kaizen* não se baseia apenas nas melhorias contínuas que são desenvolvidas e implementadas por peritos e gestores. Ele envolve todas as pessoas, baseando-se no conhecimento extensivo, competências e experiências de quem trabalha diretamente os processos [35] [36].

Os eventos *Kaizen* identificam a causa raiz dos problemas, são orientados para ações, são movidos pelos dados e factos e *desafiam* os colaboradores a pensar fora da zona de conforto, num ambiente seguro e propício à criatividade e produtividade [19].

2.3.2 *Just-In-Time*

Não é possível falar em *Lean*, sem mencionar *Just-In-Time*. O *Just-In-Time* é uma filosofia de gestão de operações, desenvolvida no Japão desde os anos 60, que teve como ponto de partida o sistema de produção da *Toyota Motor Company*. Este é um pilar fundamental do TPS e não existe um elemento mais estudado na abordagem moderna às práticas de gestão. O princípio básico do JIT é fornecer o produto certo, no lugar certo, na quantidade certa e na hora certa. O JIT é um sistema que funciona puxado pelas necessidades, enquanto os sistemas tradicionais são empurrados, produzindo mesmo que não haja necessidade [12].

O JIT assenta em três ideias básicas. A primeira é a integração e otimização de todo o processo de fabrico, que começa na conceção e projeto de um novo produto/serviço, e prossegue até à entrega ao cliente e assistência pós-venda. A segunda ideia é a melhoria contínua, pois o JIT fomenta o desenvolvimento de sistemas internos que encorajam a melhoria permanente dos processos e das pessoas. A terceira é entender e responder às necessidades do cliente, visando os requisitos de qualidade, prazo de entrega e custo [14].

O *JIT* assegura fluxos de trabalho suaves, contínuos e otimizados, com tempos de ciclo de trabalho planeados, medidos cuidadosamente. A produção é realizada de acordo com a procura, opera num sistema puxado, o que evita a criação de *stocks* e conduz à redução de custos com

desperdícios de tempo, materiais e capacidade. Os colaboradores podem concentrar-se nas suas tarefas sem interrupções, obter melhor qualidade e tranquilidade para os clientes [37].

A meta do JIT é desenvolver um sistema que permita a um fabricante ter somente os materiais, equipamentos e pessoas necessários a cada tarefa. Para se conseguir esta meta, é preciso, na maioria dos casos, trabalhar sobre seis objetivos básicos [38]:

1. Integrar e otimizar cada etapa do processo de produção;
2. Produzir produtos de qualidade;
3. Reduzir os custos de produção;
4. Produzir somente em função da procura;
5. Desenvolver flexibilidade de produção;
6. Manter os compromissos assumidos com clientes e fornecedores.

Para que uma empresa consiga implementar com sucesso o *Just-In-Time*, é primordial a consolidação do processo ao nível da qualidade e da fiabilidade dos equipamentos.

2.3.3 *Jidoka*

O *Jidoka* consiste num sistema que atua no equipamento, de forma a evitar produtos com defeito. A sua aplicabilidade passa por parar imediatamente o equipamento de uma forma autónoma ou manual, através da intervenção dos operadores, sempre que ocorre uma anomalia no processo. Teve início pela mão do fundador da Toyota, mas aplicado à automação de teares, difundindo-se para a indústria automóvel dada a sua importância na prevenção de geração de defeitos [19].

A ideia central é impedir a geração e propagação de defeitos, assim como eliminar qualquer anormalidade no processamento e fluxo de produção. Quando uma máquina interrompe a produção ou um operador pára uma linha, o problema torna-se imediatamente visível ao próprio operador, aos seus colegas e à sua supervisão. Isto desencadeia um esforço conjunto para identificar a causa fundamental e eliminá-la, evitando a reincidência do problema e, conseqüentemente, reduzindo as paragens [39].

Atendendo às palavras sábias de Ohno [40]:

“Nós parámos as linhas com o objetivo de não termos que pará-las novamente.”, “[...] para nós, parar a linha significa garantir que ela se tornará uma linha mais forte, que não terá que ser paralisada novamente pelo mesmo motivo.”, “Supervisores que nunca dizem “Páre a linha” são incompetentes, assim como também aqueles que param a mesma linha duas ou três vezes pelo

mesmo motivo.”, “[...] a linha que nunca pára, é uma linha extraordinária ou é absolutamente terrível.”

O *Jidoka* funciona como método de controlo de qualidade, que procura eliminar a ocorrência de defeitos com base na identificação e análise das causas. Por conseguinte, existem quatro pontos fundamentais que devem ser tidos em consideração, sendo eles [12]:

1. Com vista a executar uma inspeção de carácter preventivo, esta deve ser realizada na fonte. Assim, o controlo é aplicado na origem, em vez de incidir sobre o produto final;
2. Deve ser feita uma inspeção total, ou seja, 100%, em vez da tradicional verificação por amostragem;
3. O tempo decorrido desde a deteção do problema até à atuação, deve ser o menor possível;
4. É necessário ter consciência de que todo o ser humano comete erros. Como tal, sempre que possível deve-se recorrer a dispositivos *Poka Yoke* (anti-erro).

2.3.4 *Heijunka*

Heijunka é um conceito de nivelamento da produção, e significa em japonês, tornar estável. Pretende relacionar a procura de médio/longo prazo com o planeamento da produção, mediante a programação das operações de acordo com um padrão repetitivo e de curta duração, onde se conjugue o volume e o *mix* de produtos [33].

O processo *Heijunka* tem por objetivo nivelar [14]:

- O volume de produção;
- O tipo de produtos;
- O tempo de produção.

Através da realização destes objetivos, o *Heijunka* permite garantir resposta à miscelânea de produtos, um fluxo contínuo e de acordo com o *takt-time* previamente definido, baixos níveis de *stock*, o nivelamento da procura de recursos de abastecimento de produção e incentivar a conceção de processos, de forma a permitir uma fácil mudança de produtos com reduzidos tempos de *setup* [14][41].

Para que a prática do nivelamento seja alcançada com sucesso, é importante incentivar a adoção de pedidos regulares dos clientes e aumentar a frequência das entregas. Contudo, o *Heijunka* converte a instabilidade da procura dos clientes num nivelado e previsível processo de

produção. Se todos os processos, incluindo os subcontratados, utilizarem o sistema *Heijunka*, o sistema pode tornar-se muito estável [14][39].

O *Heijunka* é a condição prévia para o *JIT* e eliminação de desperdícios (*muda*), da variação da carga de trabalho (*mura*) e produção em excesso (*muri*). O *mura* e o *mudi* também são considerados desperdícios e devem ser erradicados [37].

2.3.5 Gestão visual

Gestão visual é um conceito *Lean* que enfatiza a colocação de informações críticas, de uma forma clara e estruturada, no ponto de uso, com a finalidade de aumentar eficiência e eficácia das operações, tornando as coisas visíveis, lógicas e intuitivas [24].

A informação absorvida através da visão é retida pelo cérebro com maior rapidez e por períodos de tempo mais longos. É importante que a informação que se pretende transmitir seja clara e seja exposta num espaço devidamente organizado e arrumado. A metodologia dos 5S é uma ajuda imprescindível para uma boa gestão visual [34].

Ao nível do *Gemba*, os sinais visuais podem aparecer como marcas pintadas no chão ou nas paredes, cartões *Kanban*, caixa *Heijunka*, sombras de ferramentas num quadro, semáforos, roupas de diferentes cores, etc. Sistemas visuais e outros dispositivos desempenham um papel fundamental em muitas outras ferramentas *Lean*, das quais são também exemplo o *SMED* (*Single Minute Exchange of Die*), *Standard work*, etc [24].

A gestão visual envolve a exposição com total visibilidade de como executar as atividades, com que meios (ferramentas, equipamentos, etc.), quais são os *standards*, os indicadores de desempenho e objetivos, através dos quadros de produção, parâmetros, sinalização de necessidade de ajuda e partilha de conhecimentos e boas práticas (lições aprendidas). A grande vantagem da criação de padrões que valorizem a gestão visual, é que estes serão compreendidos e cumpridos por todos muito mais facilmente do que um procedimento escrito, “ (...) *ajudam as pessoas a melhor gerir e controlar os processos, evitando erros, desperdícios de tempo e dando-lhes mais autonomia* [14].

2.3.6 Standard Work

A uniformização de processos e atividades passa pela documentação dos modos operatórios, garantindo que todos seguem o mesmo procedimento, utilizam do mesmo modo as mesmas ferramentas e sabem o que fazer quando confrontados com diversas situações. Este conceito é

utilizado para garantir a estabilidade do processo, para que as operações sejam sempre realizadas numa determinada sequência e da mesma forma, num determinado intervalo de tempo e com um menor nível de desperdícios, conseguindo maior produtividade e melhor qualidade [14] [42].

O trabalho padronizado engloba informações sobre qualidade, segurança, manutenção e padrões de trabalho. Os *standards* dos processos de trabalho (fichas de posto), devem conter o tempo de ciclo, níveis de *stock* intermédio e a sequência de trabalho, definindo claramente o início e fim do processo. Com isto, não significa que seja imposta uma forma rígida de trabalhar, mas sim a melhor forma, a mais fácil, mais segura e eficiente, existente até à altura. Sempre que ocorrerem melhorias, estas devem ser introduzidas e teremos um *standard* ainda melhor. O trabalho padronizado sustenta a melhoria contínua, ou seja, só existindo um padrão como base é possível saber se uma alteração constituiu efetivamente uma melhoria [19].

Com a implementação desta metodologia, verificam-se ganhos significativos em termos de produtividade, redução de falhas e tempo das operações. É também de salientar o seu funcionamento como instrumento de aprendizagem, o precioso contributo para o treino e disciplina dos colaboradores, fazendo com que qualquer colaborador, ainda que com pouca experiência, cumpra na íntegra as etapas do processo [18].

2.3.7 SMED (*Single Minute Exchanger of Die*)

A mudança de produtos, ferramentas ou ajustes feitos no decorrer do processo é designada de *setup ou changeover*. O período em que a produção é interrompida para troca e ajuste de ferramentas, designa-se por tempo de *setup* e corresponde ao intervalo entre o fabrico da última peça boa do lote anterior, até à primeira peça boa do lote seguinte [25].

Longe vão os tempos em que a indústria contava com grandes e longos lotes de produção. A exigência de diversidade e volumes reduzidos, imposta pela competitividade instalada desde a criação do sistema TPS pela *Toyota Motor Company* até aos dias de hoje, obriga ao fabrico de pequenos lotes. Para dar resposta a esta exigência de um mercado cada vez mais competitivo, é imperativo que os *setups* sejam executados de forma rápida. A metodologia desenvolvida por Shigeo Shingo, denominada SMED, e que pode ser traduzida por troca rápida de ferramenta num dígito de minuto, propõe que os *setups* sejam realizados até dez minutos, tempo possível de ser atingido a partir da racionalização das tarefas realizadas pelo operador da máquina [43][44][45].

O aparecimento da metodologia SMED, na década de 1960, foi impulsionada por uma forte necessidade de redução do tempo de *setup* numa prensa. Por falta de recursos, não era possível adquirir mais uma máquina para fazer face às necessidades, então Shigeo Shingo dedicou-se a observar os *setups* efetuados na prensa e verificou que grande parte das atividades que eram realizadas durante o *setup*, poderiam ser feitas antes ou depois da máquina parar. Encontrou assim o aspeto fundamental do SMED, a definição de atividade interna e externa, que se traduz em [34] [46]:

- Atividades internas - São aquelas que têm de ser realizadas com a máquina/equipamento parado, como, por exemplo, trocar a ferramenta de uma prensa ou um molde de uma máquina de injeção;
- Atividades externas - são aquelas que podem ser realizadas antes da máquina parar e depois do *setup* terminar, como, por exemplo, ir buscar as ferramentas ou arrumar os documentos da produção anterior.

De uma forma resumida, a metodologia SMED baseia-se em seis etapas para a redução do tempo de *setup* [47][48][49][50]:

1ª Etapa: Estudo do trabalho - Filmar o processo de mudança de produção, a fim de identificar, descrever e quantificar os tempos de todas as tarefas, discriminando as atividades internas e externas;

2ª Etapa: Separar as atividades internas das externas - De forma a minimizar o tempo de paragem, é indispensável transferir as atividades externas para antes e/ou depois do *setup* interno;

3ª Etapa: transformar atividades internas em externas - Mediante ações de pré-montagem, pré-aquecimentos, afinações prévias, de modo a minimizar o tempo de paragem da máquina;

4ª Etapa: Reduzir e eliminar atividades internas - Através da eliminação de ajustes, atribuição de trabalho em “paralelo”, simplificação de algumas tarefas, formação e treino;

5ª Etapa: Reduzir atividades externas - Mesmo não prejudicando o tempo de *setup*, estas atividades consomem tempo e recursos, devendo ser melhorada toda a logística de suporte à preparação de um *setup* e ao pós-*setup*;

6ª Etapa: Resumir e criar *standards* – Construir o método operatório que resume o resultado final da melhoria obtida com o SMED e promover o trabalho *standard* que servirá de base de treino e melhoria para as equipas.

As ações para reduzir o tempo de *setup* vão, desde as mais simples, como uma mudança no local onde se guardam as ferramentas, até à implementação de sofisticados dispositivos de preparação e troca de matrizes. Normalmente, são muito bem aceites pelos colaboradores e implementadas com entusiasmo, uma vez que muitas delas resultam das ideias e experiência dos próprios, que são quem está no terreno e sente os problemas diariamente [44][51]. Conhecimento sobre os aspetos técnicos dos equipamentos e ferramentas, organização do trabalho (quem faz o quê e quando) e conhecimento sobre o método (como fazer), são requisitos importantes para o sucesso da aplicação da metodologia SMED [52]. É importante promover o trabalho em equipa, para que os ganhos inerentes à metodologia prosperem [19]. A redução de tempos de *setup* através do SMED é fértil em ganhos para as empresas que o praticam, conforme evidencia a Figura 3 [53].



Figura 3 - Ganhos obtidos com a implementação do SMED (adaptado de [53]).

Num mundo cada vez mais competitivo e que muda a cada segundo, as empresas necessitam cada vez mais de estar preparadas para responder rapidamente às mudanças do mercado e às “naturais” alterações efetuadas e exigidas pelos seus clientes [29] [54].

2.3.8 5S's

Os 5S's são uma ferramenta *Lean* das mais utilizadas na indústria e serviços, que visa a organização, arrumação e limpeza dos locais de trabalho. A sua origem é japonesa e assenta em cinco palavras, todas elas iniciadas pela letra “s” e que correspondem às cinco etapas que definem a metodologia, cujo seu significado se apresenta [24] [55].

1. *SEIRI* (separar/triar/eliminar) - Na primeira etapa separa-se o útil do inútil, eliminando o desnecessário. Assim, rentabiliza-se o espaço, dá visibilidade ao que realmente interessa, facilita-se o acesso ao que é realmente necessário e reforça-se a segurança;
2. *SEITON* (organizar/arrumar) – Na segunda etapa o lema é “um lugar para cada coisa e cada coisa no seu lugar”, e sempre perfeitamente identificada. Desta forma, facilmente se encontrará o que se pretende, o controlo do trabalho em curso e produto acabado é realizado com facilidade e de forma eficiente, não serão realizados movimentos desnecessários e o ambiente será mais agradável e produtivo;
3. *SEISO* (limpar) – A terceira etapa passa por manter o posto de trabalho sempre limpo, suprimir as fontes de sujidade. Trata-se de não sujar, mais do que limpar constantemente. Desta forma, passa a mensagem de que se pretende trabalhar com qualidade, segurança e bom ambiente, transmitindo a imagem de empresa de “topo”;
4. *SEIKETSU* (normalizar/padronizar) – A quarta etapa consiste em criar procedimentos e regras para manter as três primeiras etapas. São exemplos, os planos de limpeza diários (5 minutos todos os dias para manter as condições), manutenção da identificação dos locais, limpeza e gestão visual. No fundo, consiste em criar rotinas de limpeza e inspeção para todos os trabalhadores, de forma a manter os locais de trabalho em condições perfeitas;
5. *SHITSUKE* (disciplina) – Ganhar o hábito de respeitar e utilizar corretamente os procedimentos *standard* e controlos previamente desenvolvidos. A monitorização desta fase compreende a avaliação do cumprimento dos procedimentos estabelecidos e a realização de reuniões de avaliação.

A chave do sucesso passa pelo foco na alteração das atitudes e comportamento das pessoas. É necessário consciencializar a importância dos conceitos e a forma como devem ser usados, para que resulte um ambiente agradável, seguro e produtivo.

2.3.9 5W's

A ferramenta 5W's, *Five Why's* (cinco porquês), destina-se a encontrar a causa raiz de um problema. Primeiro temos que definir o problema, depois perguntar “porquê?”, avaliar a resposta e ver se encontramos a sua causa raiz. Se sim, devemos erradicá-la e evitar a

recorrência, se não, continuar a perguntar porquê até encontrar. Normalmente, a maioria dos problemas resolvem-se antes de chegar ao quinto porquê, daí a designação da metodologia [19].

2.3.10 *Kanban*

Kanban significa cartão ou sinal. É uma ferramenta de controlo do fluxo de materiais, pessoas e informação no *shop floor* (ou *Gemba*) e garante a implementação de uma das principais características do JIT, a produção puxada (*pull*). É acima de tudo um sistema simples e visual, que se baseia no princípio de que nenhum posto de trabalho é autorizado a produzir sem que o seu cliente o permita. Esta necessidade, geralmente, é sinalizada através de um cartão.

No sistema *kanban*, a ênfase é colocada no *output* e não no *input*, de tal forma que o fluxo de operações é comandado pela linha de produção final (ou cliente final). A linha de produção recebe o programa de produção e, à medida que ela vai consumindo as quantidades necessárias, vai autorizando aos centros de trabalho precedentes o fabrico de um novo lote [56].

O *kanban* é um sistema de produção em lotes pequenos. Cada lote é armazenado em recipientes uniformizados, contendo um número definido de peças. Para cada lote mínimo contido no recipiente, existe um cartão *kanban* correspondente. Os recipientes com o respetivo conteúdo e acompanhados pelo seu cartão, são movimentadas através dos centros de trabalho, sofrendo as diversas operações do processo, até chegarem à forma de produto acabado. Cartões, contentores, carros de transporte, sinais eletrónicos, marcações no chão, são exemplos de *kanban's* usados para sinalizar a produção. O sinal visual contém informação do que produzir, quanto, quando, onde e qual o seu destino, podendo conter outros elementos como fotos, código de barras, cores de distinção, etc. [19] [56].

Atendendo a que a maioria das empresas trabalham com uma grande diversidade de produtos, é difícil e não recomendável dar o mesmo grau de atenção a todos, uma vez que cada um possui as suas peculiaridades, como custo, procura, prazo de entrega e alternativas de fornecimento. Tendo por base a classificação "ABC" de materiais, o *kanban* é usado para controlar 10% a 20% dos itens de maior consumo [57]. O *kanban* é mais adequado às produções em série de itens padronizados e de natureza repetitiva. Em produções por encomenda (*job shop*), o *Kanban* usa-se para o controlo dos itens padronizados [58].

2.3.11 *Poka Yoke*

Poka Yoke, ou sistema anti-erro como é habitualmente designado em Portugal, não é mais do que um tipo de ferramenta que visa prevenir ou detetar a ocorrência dos erros mais comuns

que dão origem a defeitos. Shigeo Shingo defende que esta ocorrência de erros é inevitável, mas que é possível impedir que produtos defeituosos cheguem ao cliente final [59][60].

Existem duas formas de atuar sobre o defeito, prevenindo-o ou detetando-o. O mais correto é prevenir, assegurando que as condições apropriadas existem antes de executar qualquer passo do processo. Quando não é possível atuar sob a forma de prevenção, então passamos para a deteção, eliminando os defeitos no processo o mais cedo possível.

No caso do método de prevenção, este pode ser categorizado em três tipos: controlo, paragem e aviso. No caso do controlo, ocorrem ações para correção automática do problema, no tipo paragem, o sistema desliga-se com a ocorrência de um erro e no tipo avisar, os processos de alerta recorrem a cores, símbolos, sons, entre outros, para que o erro não ocorra. Nos métodos de deteção de defeitos, uma vez detetada a existência de um problema, é provocada a ativação de um sinal luminoso ou sonoro para alerta dos operadores. Caso estes não atendam ao aviso, o processo que está a gerar o defeito continua. Uma vez interrompido o processo, é necessário proceder à correção do defeito [59].

A frequência com que ocorrem os defeitos e o facto de eles poderem ou não ser corrigidos, influencia a escolha do método. Defeitos mais frequentes ou impossíveis de serem corrigidos, exigem um *Poka Yoke* de controlo, enquanto que, se a frequência é baixa e o defeito é possível de ser corrigido, é preferível *Poka Yoke* de deteção.

Estes mecanismos podem ser elétricos, mecânicos, procedimentais, visuais, humanos, ou ter outra qualquer forma que impeça/previna a execução incorreta no processo [20]. Os erros mais comuns sobre os quais estes dispositivos pretendem atuar são: não completar todas as etapas de um processo, componentes em falta, troca de peças, falha da máquina, má introdução de parâmetros, *setups* incorretos ou preparação incorreta de ferramentas [61].

2.3.12 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA, também conhecido por ciclo de Deming, é um ciclo de desenvolvimento que tem foco na melhoria contínua e que pode ser aplicado a cada processo de uma empresa ou ao sistema como um todo, com o objetivo de impedir a estagnação dos processos e alcançar um estado de perfeição. É constituído por quatro fases, *Plan* (planear), *Do* (executar), *Check* (verificar) e *Act* (atuar), que estão representadas na Figura 4.

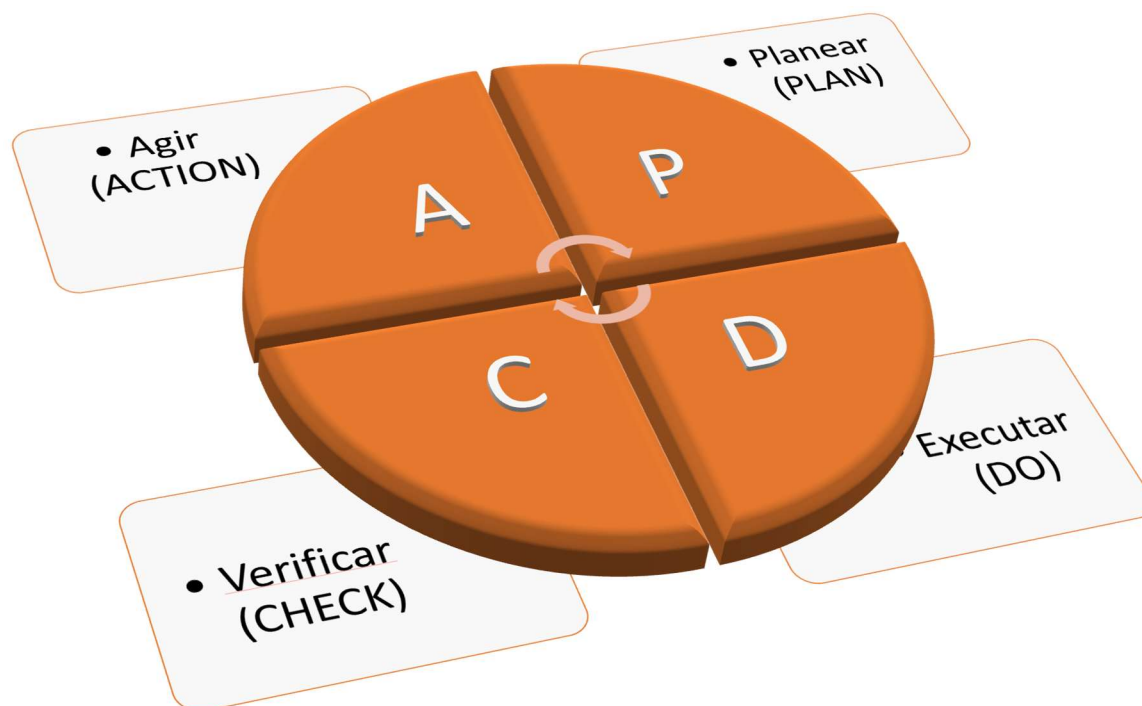


Figura 4 - Ciclo PDCA [62].

Cada fase envolve várias etapas, que devem ser aplicadas para que a seguinte possa ser realizada. A Tabela 1 exibe os oito passos obrigatórios para que o método apresente resultados positivos e com durabilidade.

O procedimento para cada fase é o que a seguir se descreve [39] [63]:

- P - *Plan/Planear* – Esta é a fase inicial, onde é identificado o problema, analisados os dados relacionados com o problema e todo o processo, no sentido de identificar as suas causas fundamentais para elaborar um plano de ação. Nesta fase, são estabelecidos todos os caminhos a serem seguidos;
- D - *Do/Executar* – Depois de definido o plano de ação, é necessário colocá-lo em prática. Deve-se executar tudo o que foi elaborado, definido e detalhado durante a fase de planeamento, recolhendo dados e medidas continuamente, de forma a documentar todas as mudanças no processo. Nesta fase, o treino e a disciplina dos colaboradores é indispensável para uma execução eficiente e eficaz de todo o projecto, de modo a que as primeiras acções venham a ter sucesso;

Tabela 1 - Passos para aplicação da metodologia PDCA [64].

PDCA	FLUXO	ETAPA	OBJECTIVO
P	1	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer a sua importância
	2	Observação	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista
	3	Análise	Descobrir as causas fundamentais
	4	Plano de ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais
D	5	Ação	Bloquear as causas fundamentais
C	5	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo
	?	(Bloqueio foi efetivo?)	
A	7	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema
	8	Conclusão	Recapitular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro

- C - *Check/Verificar* – Nesta fase, são verificados os resultados práticos da implementação do plano atrás definido. É o acompanhar de toda a execução do projecto, dos procedimentos e métodos implementados, e recolha de dados para uma avaliação e análise dos resultados atingidos em cada fase da execução. Se existirem grandes distorções para alcançar os resultados, pode ser necessário retornar à primeira fase e alterar ou refazer o plano inicial, de modo a realizar correcções de desvios e adequar os planos às mudanças imprevistas. Caso os resultados obtidos sejam satisfatórios em relação às metas estabelecidas, o programa deve prosseguir para a próxima fase;

- A – Act/Atuar - Comprovada a eficácia do plano implantado e adoptado, é necessário torná-lo padrão. O novo procedimento é documentado para garantir que será sempre utilizado até que uma nova melhoria o modifique. Esta fase garante que as melhorias resultantes das mudanças sejam colocadas em prática nos processos adoptados internamente.

É o momento de se actuar sobre todo o sistema organizacional, estimulando comportamentos e emoções que mantenham a motivação daqueles que foram os grandes responsáveis pelo sucesso de todo o projecto. Criar mecanismos que assegurem a manutenção de um bom ambiente de trabalho, vai determinar a continuidade do sucesso, com aumento da produtividade e eliminação de desperdícios.

Tal como representado na Figura 5, após a fase de implementação, é expetável que se observe uma certa instabilidade no processo, sendo que não se deve iniciar o novo ciclo PDCA sem que a melhoria implementada seja estável [24].

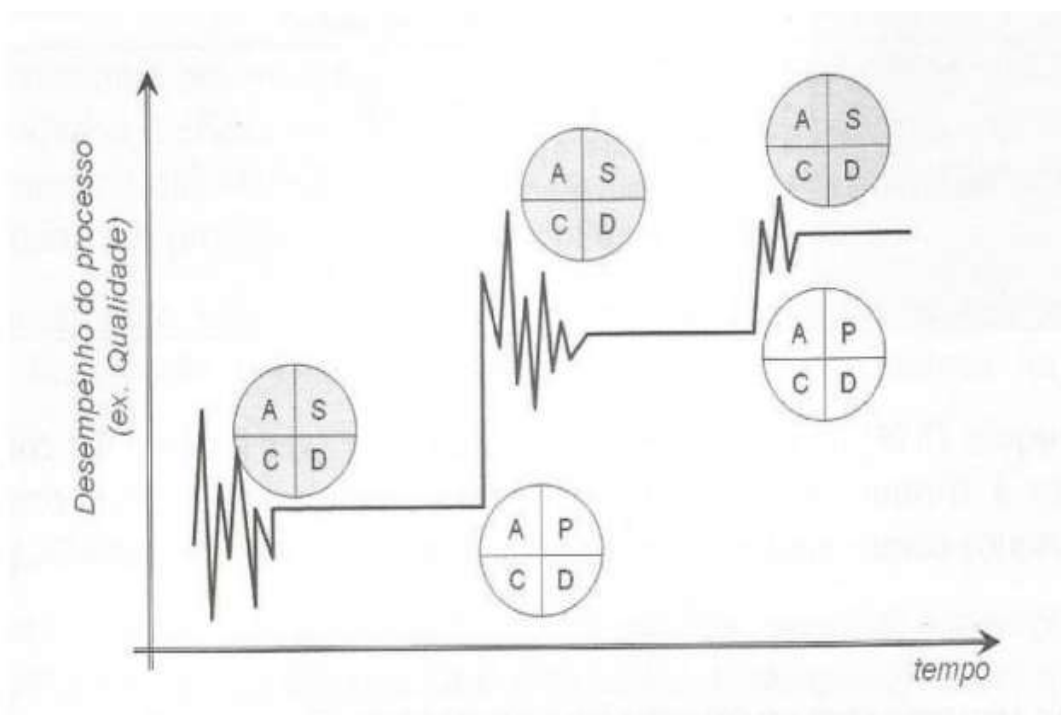


Figura 5 - Aplicação dos ciclos PDCA e SDCA [24].

O ciclo PDCA pode ser adaptado para gerar o ciclo de uniformização. Neste caso, o “P” (*plan*) dará lugar ao “S” (*standardize*), criando o ciclo SDCA. Só através da uniformização de procedimentos e de práticas (SDCA) é possível criar um “terreno firme” para que o próximo degrau de melhoria seja alcançado. O SDCA não é mais que o calço da roda PDCA (Figura 6) [24].

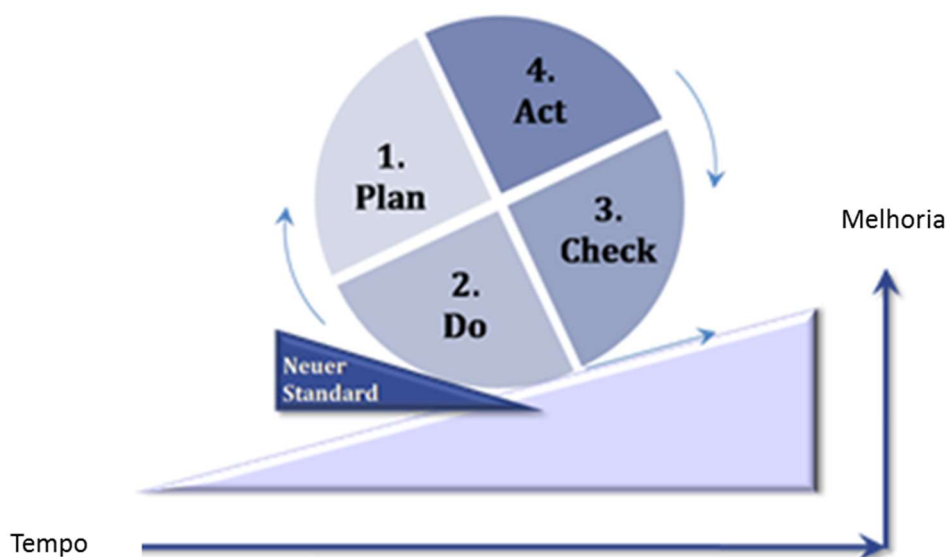


Figura 6 - SDCA como calço da roda PDCA [65] .

Desta forma, o ciclo SDCA uniformiza e estabiliza o processo em causa, enquanto o ciclo PDCA o melhora de forma incremental.

2.3.13 VSM (*Value Stream Mapping*)

Value Stream Mapping (VSM), ou em português Mapeamento do Fluxo de Valor, é uma ferramenta desenvolvida pelo *Operations Management Consulting Division* (OMCD) da *Toyota Motor Company*, originalmente para implementar o TPS nos fornecedores da Toyota [34].

A ferramenta sintetiza os princípios do TPS, ajudando a visualizar como está o processo em relação a esses princípios e auxilia a sua implementação [12]. Apesar desta ferramenta ter sido desenvolvida na Toyota na década de 80, ela era desconhecida do público fora da Toyota até aos anos 90, quando foi difundida por Rother a pedido de Womack [13].

O VSM espelha o percurso de um produto. Baseado na representação visual de todos os processos do fluxo de materiais e informação, esta técnica facilita a identificação de desperdícios e permite idealizar o fluxo de valor, desde o fornecedor até ao cliente [13]. É uma ferramenta que permite abordar a melhoria dos processos de uma forma sistemática [66] com o objetivo de encontrar diferentes tipos de desperdícios e eliminá-los, recorrendo aos métodos e técnicas *Lean* [67]. Existem vários graus de mapeamento, com diferentes complexidades. Pode ser realizado dentro de portas numa fábrica “*door-to-door*”, em várias fábricas ou até em várias

empresas. Contudo, numa fase inicial deve-se considerar apenas o que está dentro de portas na nossa fábrica e atender a uma só família de produtos por VSM.

O VSM segue os passos mostrados na Figura 7. Inicia-se com a seleção da família de produtos em que se pretende intervir, que naturalmente está abrangida por processos semelhantes e equipamentos comuns. Seguidamente, com base na informação recolhida no chão de fábrica, desenha-se o estado atual, no qual são sinalizados os pontos críticos, desperdícios sobre os quais recai a atenção da equipa que irá idealizar o estado futuro. O desenho do estado futuro conta com a participação de todos os envolvidos no processo, que centrados nos conceitos *Lean* filtram o que no processo acrescenta valor, e eliminam ou minimizam o desperdício [66][67]. Este processo só faz sentido ao culminar num plano de ações para implementação do estado futuro, aliando o ciclo PDCA com o SDCA. A implementação necessita de ser acompanhada, principalmente nos primeiros dias, pois é provável que nesta fase se identifique a necessidade de mais alguns ajustes. Na melhoria contínua, desenhar o mapa de estado futuro é uma atitude que tem início mas não tem fim, ou seja, uma vez concluído/implementado o estado futuro traçado, um novo estado futuro deve ser planeado [13][22].

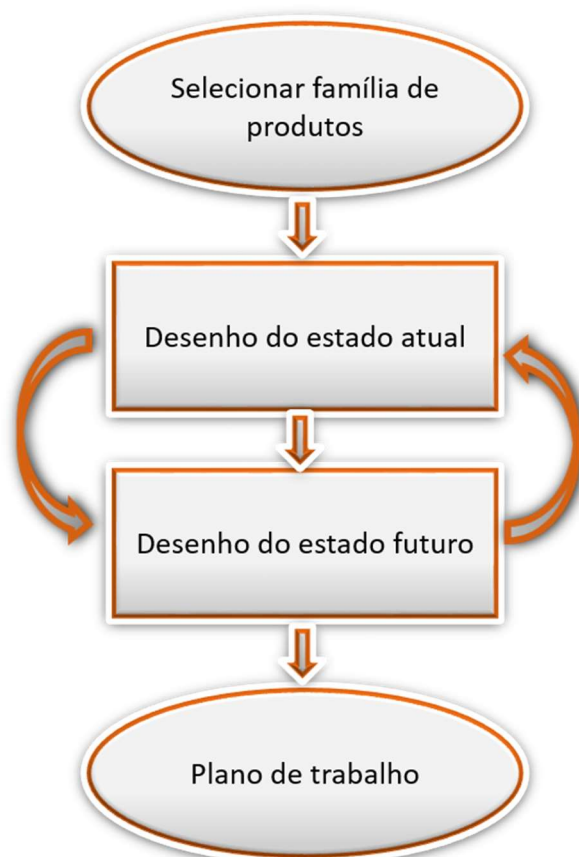


Figura 7 - Etapas a considerar na elaboração de um VSM (adaptado de [13]).

A elaboração do VSM requer um conhecimento prévio dos símbolos utilizados. Na Figura 8 estão representados os principais símbolos. A sua utilização proporciona uma linguagem comum, simples e intuitiva, que facilita a compreensão e análise do VSM.

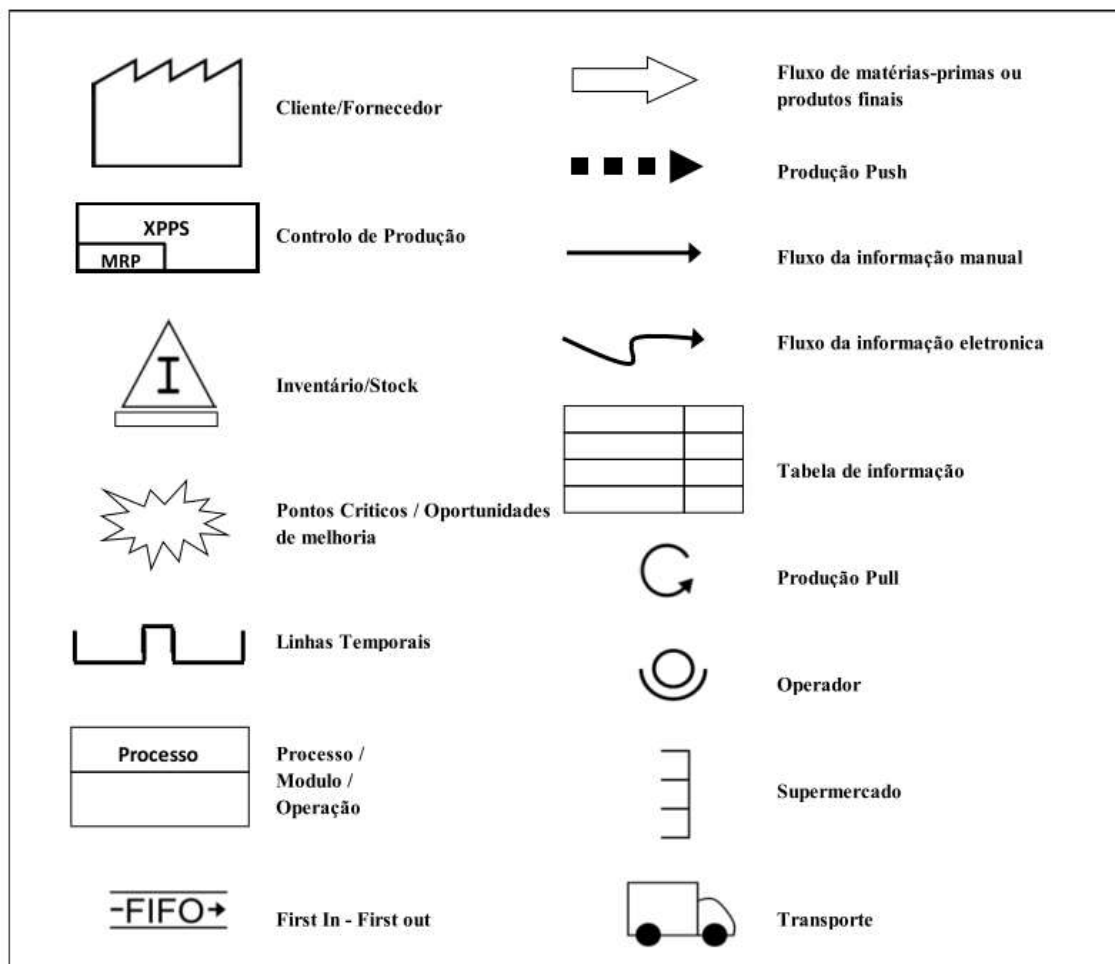


Figura 8 - Simbologia utilizada na elaboração de um VSM [68].

A visualização do VSM é realizada sempre de trás para a frente, ou seja, do cliente para o fornecedor, garantindo que o fluxo seja realizado a favor da produção, atendendo simultaneamente às necessidades do cliente [24].

Podemos resumir que o VSM mostra a imagem do estado global e nos ajuda a definir o caminho a tomar, rumo à excelência [19].

2.3.13.1 Métricas associadas ao VSM

O principal indicador do *Value Stream Mapping* é o *Lead Time*, mas existem outras métricas associadas ao VSM que serão de seguida abordadas.

2.3.13.1.1 *Lead Time* (LT)

É o tempo que uma peça demora a percorrer todo o fluxo de valor, desde que o pedido é efetuado à empresa, até à entrega do produto ao cliente, o qual inclui o tempo de processamento e o tempo de armazenamento de *stocks* intermédios e finais [13].

2.3.13.1.2 Tempo de ciclo (TC)

Tempo que uma peça demora a ser processada. É sempre definido pela operação mais lenta do processo (*bottleneck*). No caso de uma máquina, corresponde ao tempo decorrido desde a libertação de uma peça, até à libertação da seguinte [69].

2.3.13.1.3 *Takt-time* (TT)

O *takt-time* é utilizado para sincronizar o ritmo de produção com o ritmo de vendas. Calcula-se através da divisão do tempo disponível de trabalho num determinado período, em segundos, pelo volume de pedidos do cliente, em unidades, correspondente ao mesmo período. Este valor dá-nos indicação do ritmo a que o cliente está a pedir peças. Se produzirmos mais lento, não conseguimos responder aos pedidos, se produzirmos mais rápido, teremos superprodução e, conseqüentemente, *stock* de produto acabado. O *takt-time* é a referência que marca o ritmo a que cada peça tem de ser produzida, para satisfazer os pedidos do cliente dentro dos prazos estabelecidos [69].

2.3.13.1.4 Tempo de ciclo planeado (TCP)

O tempo de ciclo planeado é calculado para definir qual o ritmo a que se deve produzir. Neste tempo de ciclo são consideradas as perdas do processo, sendo o seu valor calculado através do produto do *takt-time* pelo OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Considerando um exemplo em que se espere 20% de perdas no processo (com paragens, variação de qualidade, etc.), o tempo de ciclo planeado será 80% do valor do *takt-time* [70].

2.3.13.1.5 Tempo de operação (TO)

Corresponde ao tempo que demora a realizar uma única tarefa ou um conjunto de operações.

2.3.13.1.6 Tempo de valor acrescentado (TVA)

Corresponde ao tempo despendido em operações que acrescentam valor ao produto, ou seja, que o cliente está disposto a pagar [55].

2.3.13.1.7 Ocupação semanal da máquina/posto/linha (OSem)

Traduz o tempo, em dias, que uma máquina ou posto estará ocupada para que seja possível satisfazer a procura mensal do cliente. No entanto, quando se diz que a ocupação é de X dias/mês, não significa que a produção seja de X dias contínuos, mas sim que o total de dias que a máquina/célula de trabalho estará ocupada a produzir esse produto corresponde a X dias. Este parâmetro é calculado da seguinte forma [68]:

$$OSem = \frac{P_{sem} \times TC}{sdh \times hpt \times ntd} \quad (1)$$

Onde:

OSem– Ocupação semanal da máquina/posto [dias/sem]

PSem – Procura semanal [nº de produtos/semana]

TC – Tempo de ciclo [s]

sdh – Segundos de uma hora [3600 s]

hpt – Horas de produção por turno [7,5 h]

ntd – Número de turnos por dia.

2.3.14 OEE (Overall Equipment Effectiveness)

O OEE é uma métrica utilizada para avaliar o desempenho global de um determinado equipamento ou processo. É um indicador de desempenho da produção que abrange a responsabilidade dos equipamentos, a influência da mão-de-obra e os defeitos produzidos. O OEE agrupa as seis fontes de perda com maior impacto no processo de produção em três categorias, conforme ilustra a Figura 9 [71] [72].

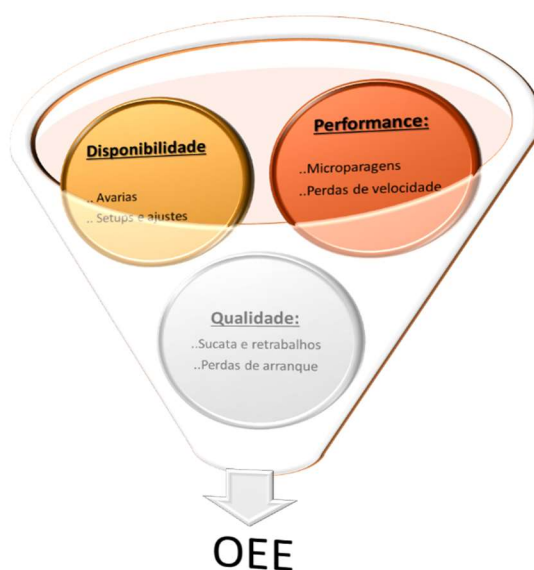


Figura 9 - Componentes do OEE (adaptado de [68]).

A Tabela 2 reúne alguns exemplos de perdas consideradas em cada uma das três categorias que integram o OEE.

Tabela 2 - Categorias de perdas que integram o OEE [72][74].

CATEGORIA OEE	TIPO DE PERDA	FONTE DE PERDA
Disponibilidade	Paragens devidas ao equipamento	<ul style="list-style-type: none"> • Avaria de máquina • Rotura de ferramenta • Manutenção não planeada
	Setups	<ul style="list-style-type: none"> • Mudança de referência
	Outras paragens	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de operador • Falta de material
Velocidade	Microparagens (inferiores a 10 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> • Fluxo produtivo obstruído • Variações nas características dos produtos • Necessidades de limpeza e verificações
	Velocidade operacional reduzida (qualquer motivo que impeça o processo de decorrer à velocidade máxima (tempo de ciclo padrão))	<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste do equipamento • Ciclo em vazio • Ineficiência do operador • Retrabalho
Qualidade	Rejeições no arranque (rejeição durante a fase de <i>setup</i> , arranque ou outra fase do processo)	<ul style="list-style-type: none"> • Sucata • Retrabalho • Sucata produzida na fase de <i>setup</i>
	Rejeições em produção	Mesmas causas que o item anterior, quando ocorrem durante o processo já estabilizado.

Para calcular o índice de disponibilidade, de velocidade e de qualidade, é necessário saber de que forma o tempo total de laboração é afetado pelas perdas que lhe são inerentes. A Figura 10 elucida o impacto das perdas no tempo disponível para laborar.

As paragens programadas contabilizam todos os períodos de interrupção previamente planeados, onde se inclui: ações de manutenção, intervalos, reuniões e arrumação do local de trabalho no final do turno. Excluídas do tempo total as paragens programadas, obtemos o tempo de produção planeado, ou seja, o tempo disponível para laborar [75].

TEMPO TOTAL (ex: um turno, oito horas)	
TEMPO DISPONÍVEL (tempo de operação planejado) (ex: 7:30 h)	Paragens Programadas (ex: 30 min)
TEMPO DE OPERAÇÃO (ex: 7:00 h)	Perdas disponibilidade (ex: 30 min)
TEMPO DE PRODUÇÃO (ex: 6:45 h)	Perdas velocidade (ex: 15 min)
TEMPO EFETIVO DE PRODUÇÃO (ex: 6:40 h)	Perdas qualidade (ex: 5 min)

Figura 10 - Impacto das perdas no tempo de laboração (adaptado de [76]).

O OEE tem por base o tempo disponível, afetado dos três parâmetros: disponibilidade, *performance* e qualidade, e o seu cálculo é realizado através da seguinte fórmula:

$$OEE = Disponibilidade \times Velocidade \times Qualidade \quad (2)$$

Disponibilidade – Reflete o tempo que o equipamento esteve realmente disponível.

$$Disponibilidade = \frac{Tempo \ de \ operação}{Tempo \ disponível} \quad (3)$$

O índice de disponibilidade é obtido da relação entre o tempo de operação e o tempo disponível. Reflete o tempo em que foi possível o equipamento operar. Melhorar a disponibilidade do equipamento contribui para a diminuição da quantidade de *stock* existente para proteger o processo contra quebras de produção provocadas por avarias, o que aumenta a capacidade efetiva do equipamento [77].

Velocidade – Reflete a quantidade de produtos que o equipamento devia produzir em relação ao realmente produzido durante o tempo que operou.

$$Velocidade = \frac{Tempo \ de \ produção}{Tempo \ de \ operação} = \frac{Tempo \ de \ ciclo \ padrão \times \ quantidade \ produzida}{Tempo \ de \ operação} \quad (4)$$

O índice velocidade é obtido da relação entre o tempo de produção e o tempo de operação, ou através da relação entre o produto do tempo de ciclo padrão pela quantidade produzida e o tempo de operação.

Comparando o número de produtos efetivamente produzidos com o número de produtos que se produziriam se a máquina estivesse a trabalhar em condições ótimas de funcionamento, em muitos casos, conclui-se que a introdução de melhorias destinadas à supressão das pequenas interrupções e ao aumento da velocidade de operação do equipamento, aumentaria significativamente a capacidade produtiva [77].

Qualidade – Reflete as unidades boas produzidas como uma percentagem do total de unidades iniciadas.

O índice qualidade é obtido através da relação entre o tempo efetivo de produção, que corresponde ao tempo durante o qual são produzidas peças conformes e o tempo de produção, ou através da relação da quantidade de peças boas produzidas bem à primeira e a quantidade produzida.

$$Qualidade = \frac{Quantidade\ Produzida - Peças\ retrabalhadas - Peças\ defeituosas}{Quantidade\ produzida} \quad (5)$$

O valor ideal da métrica do OEE é de 85 % ou superior. Para isso, e de acordo com o mesmo autor, o valor de referência das variáveis envolvidas é de 90% para a disponibilidade, 95% para a velocidade e 99% para a qualidade. Contudo, a análise do OEE não deve atender apenas às três variáveis que o compõe, mas também ao grau de automação do sistema produtivo. Um OEE razoável num sistema maioritariamente manual ou semiautomático, pode ser considerado fraco no caso de um sistema automático. Também não tem interesse certamente para as empresas ter um OEE de valor razoável com uma componente de qualidade baixa, em prol de uma velocidade ou disponibilidade mais elevadas [78].

Para a medição do OEE ser útil, as perdas com grande impacto na capacidade de produção devem ser aprofundadas e subdivididas. Este indicador é muito importante nas empresas, uma vez que identifica a necessidade de melhorias, evidenciando em qual dos fatores é necessário concentrar esforços. O principal objetivo do OEE não é fornecer um indicador de desempenho ótimo, mas sim fornecer um indicador simples e capaz de passar a informação necessária para objetivar onde devem ser gastos os recursos de melhoria no sistema.

Como ferramenta de melhoria contínua, o TPM (*Total Productive Maintenance*) visa o acompanhamento do equipamento durante todo o seu ciclo de vida, desde a sua aquisição ou projeto até se tornar obsoleto, e posteriormente ser abatido. Contando com o envolvimento de todos em atividades de manutenção produtiva, tem como meta “zero avarias” e assim melhorar a qualidade e otimizar a produtividade. Neste sentido, o TPM tem efeito direto no OEE, uma vez

que dirige os esforços para a eliminação das seis grandes perdas dos equipamentos, com consequências ao nível da disponibilidade, cadência e qualidade, partilhando responsabilidades entre manutenção e produção [79].

2.4 Técnicas de medição de tempos em operações de fabricação e montagem

O estudo do trabalho é o termo vulgarmente usado para descrever um conjunto de ferramentas e técnicas de análise utilizadas quando se estuda o trabalho efetuado pelo homem, qualquer que seja o seu contexto. O intuito é desenvolver o sistema e método favorito (usualmente aquele com menor custo), padronizar esse sistema e método, determinar o tempo gasto por uma pessoa qualificada e devidamente treinada a trabalhar num ritmo normal, assim como orientar o treino do trabalhador no método definido [80].

O estudo do trabalho assenta em duas técnicas, isto é, decompõe-se no estudo dos métodos e na medida do trabalho (Figura 11), cujas ações estão estreitamente ligadas entre si, ou seja, trabalham em paralelo, porque se estudamos a possibilidade de introdução de novos métodos, é necessário quantificá-los em tempo ganho. Por outro lado, ao medirmos o trabalho, identificamos tempos improdutivos, que podem ser eliminados com a introdução de novos métodos [81].



Figura 11 - Estudo do trabalho [81].

O estudo dos métodos consiste em registar e examinar de maneira crítica e sistemática os métodos existentes e previstos para execução de um determinado trabalho, a fim de os aperfeiçoar e de fazer aplicar métodos de execução mais cómodos, mais eficazes e com menores custos [82].

O estudo dos tempos consiste num conjunto de procedimentos utilizados para a determinação do tempo necessário, sob certas condições de medição padronizadas, para a realização de tarefas envolvendo alguma atividade humana. O resultado dessa determinação é designado por tempo padrão [80].

As duas técnicas são fundamentais no estudo do trabalho. Para se realizar devidamente um estudo de trabalho é necessário [83]:

- Escolher o trabalho ou o processo a estudar;
- Registrar por observação direta tudo o que se passa, a fim de que os dados se apresentem sob a forma mais conveniente para análise;
- Examinar e criticar os factos registados, verificando sistemática e sucessivamente o objetivo do trabalho, o lugar onde é executado, a ordem que tem na execução, a pessoa que o executa e a maneira como é executado;
- Estabelecer o método mais económico, tendo em conta todas as circunstâncias;
- Medir a quantidade de trabalho exigida pelo método escolhido e calcular um tempo padrão, ou tempo de referência, para a sua execução;
- Definir o novo método e o tempo correspondente, de maneira a permitir sempre identificá-los;
- Aplicar o novo método com os tempos atribuídos;
- Vigiar a aplicação da nova norma por meio de um controlo apropriado.

Genericamente, é essencial: padronizar a operação, determinar o tempo-padrão e treinar o operador. A medida do tempo padrão de produção, constitui dados importantes para [84]:

- A empresa elaborar o planeamento, utilizando com eficácia os recursos disponíveis e, também, para avaliar o desempenho da produção em relação ao padrão existente;
- Fornecer dados para a determinação do custo padrão de produção e estimar custos de novos produtos;
- Fornecer dados para o balanceamento de estruturas de produção, definir cadências de produção, efetuar análises de planeamento e capacidade.

O método utilizado na medição dos tempos varia de acordo com: o tipo de atividade, o tempo disponível para efetuar o estudo, ou os recursos em pessoal, a precisão pretendida, etc. [80],

sendo que, os mais utilizados são: a cronometragem, os tempos pré-determinados e a medida do tempo por sondagem. A cronometragem será o único método abordado, por se tratar da técnica mais apropriada à medição de operações de tempo de ciclo curto, como é o caso das linhas de montagem dos cabos de comando [85].

Para efetuar a cronometragem o analista deve munir-se de um cronómetro, de uma prancheta e folha de anotações de tempos. Pode ainda utilizar a análise de um filme ou outro mecanismo de registo cronometrado. No período escolhido para realizar a cronometragem, é necessário que a carga de trabalho garanta uma produção contínua, o trabalho seja executado rigorosamente sempre do mesmo modo e o ritmo de trabalho não apresente variações apreciáveis. Como os operários têm rendimentos diferentes ao longo do dia de trabalho, a escolha das horas do dia também é importante. O primeiro período, pela adaptação ao trabalho e o último, pelo cansaço, devem ser evitados [83]. Efetuar a medição das ações do operador em momento separado das ações das máquinas, é a técnica mais adequada para que se tenha exatamente o atraso do operador e o causado pelo equipamento [86].

Outros aspetos que devem ser considerados no momento da cronometragem dos tempos são [86]:

- Elementos estranhos: elementos desnecessários à operação, como por exemplo, o operador enxugar o suor da testa;
- Elementos anormais: são aqueles que modificam a sequência natural da operação, como uma rebarba, dificultando o encaixe de uma peça.

Apesar de ignorados no momento da cronometragem, os elementos estranhos ou anormais devem ser identificados, pois podem representar uma oportunidade de melhoria na operação. Dependendo da frequência com que ocorrem, convém identificar as causas e eliminá-las.

A cronometragem é efetuada com o objetivo de determinar o tempo padrão. Para tal, é necessário atender às seguintes fases [87]:

- Fazer um levantamento da informação relevante;
- Dividir o trabalho em elementos;
- Cronometrar e registar os tempos;
- Avaliar o ritmo do operador;
- Considerar as concessões permitidas para que, no final, seja possível calcular o tempo padrão.

O tempo padrão caracteriza-se por ser o tempo necessário à realização de uma dada operação por um trabalhador qualificado, a trabalhar ao ritmo normal segundo um método previamente estabelecido e sob condições normais de trabalho.

Para efetuar o estudo, o analista tem que escolher um operador que esteja treinado para as tarefas a medir, que utilize o método adequado e cujo desempenho seja médio, apesar de tanto um operário lento como um rápido apresentarem características interessantes para serem avaliadas: no caso do operário mais rápido, fornecer indicações de como atingir velocidades de trabalho superiores, no caso do operário lento, identificar as dificuldades inerentes à execução da tarefa. De seguida, analisa o método utilizado, registando todos os dados relativos às condições, aos métodos e aos elementos da atividade.

Com o trabalho ou tarefa a estudar dividida em elementos mensuráveis, o analista procede à cronometragem. Efetua várias medições de cada elemento individualmente e, posteriormente, a média dos tempos recolhidos.

O número de cronometragens a efetuar varia com o nível de confiança desejado e o erro a admitir no estudo. É geralmente utilizado o nível de confiança de 95% e um erro relativo de $\pm 5\%$. Isto significa que, com 95% de probabilidade, a média dos valores observados para o elemento não diferirá de $\pm 5\%$ do valor verdadeiro para a duração do elemento. O número de ciclos a cronometrar pode ser calculado a partir de uma cronometragem preliminar, de cinco a dez elementos, dependendo da duração do ciclo, e aplicando a fórmula matemática correspondente ao nível de confiança e ao erro relativo desejado [87].

A velocidade do operador usada na cronometragem é avaliada pelo observador e o tempo registado deve ser ajustado, de forma a que um operador qualificado a trabalhar num ritmo normal possa executar sem dificuldade o trabalho no tempo especificado para o mesmo. Esse tempo ajustado é denominado de tempo normal. Ao tempo normal são adicionadas tolerância para necessidades pessoais, fadiga e esperas, resultando assim o tempo padrão para a operação. Assim, para chegar ao tempo padrão de uma operação, há dois tipos de tempo que têm de ser determinados previamente: o tempo observado e o tempo normal [87].

O tempo observado é aquele que decorre realmente quando é realizada uma operação. Este é obtido por cronometragem, varia de operador para operador e também para o mesmo operador em diferentes ocasiões. O tempo observado resulta da média do número de medições que é previamente definido.

O tempo normal é o tempo requerido para um operador completar a sua operação, trabalhando com uma velocidade normal. Por sua vez, velocidade normal é aquela que pode ser obtida e mantida por um trabalhador de eficiência média, qualificado e motivado, durante um dia típico de trabalho sem fadiga indevida, onde é exigido do trabalhador não mais que um esforço razoável e regular. Um trabalhador nestas condições é considerado a operar ao ritmo normal (100%). Ao efetuar a cronometragem, o analista também deve registrar o fator de ritmo do operador [87].

$$TN = TO \times \frac{FR}{100} \quad (6)$$

Onde:

TN – Tempo normal (s)

TO – Tempo observado (s)

FR – Fator de ritmo

No estudo dos métodos, mesmo escolhendo o método de execução mais prático, económico e eficaz, exige sempre do executante o dispêndio de um certo esforço. Assim sendo, deve-se prever um complemento de tempo para lhe possibilitar repousar e compensar a fadiga, necessidades pessoais, entre outras. Para prever esse tempo, aplicam-se correções ao tempo base, de modo a se obter um tempo influenciado por fatores de difícil medição [80]. Os complementos de tempo a considerar são os esquematizados na Figura 12, cujo conteúdo correspondente a cada um que se encontra descrito na Tabela 3.

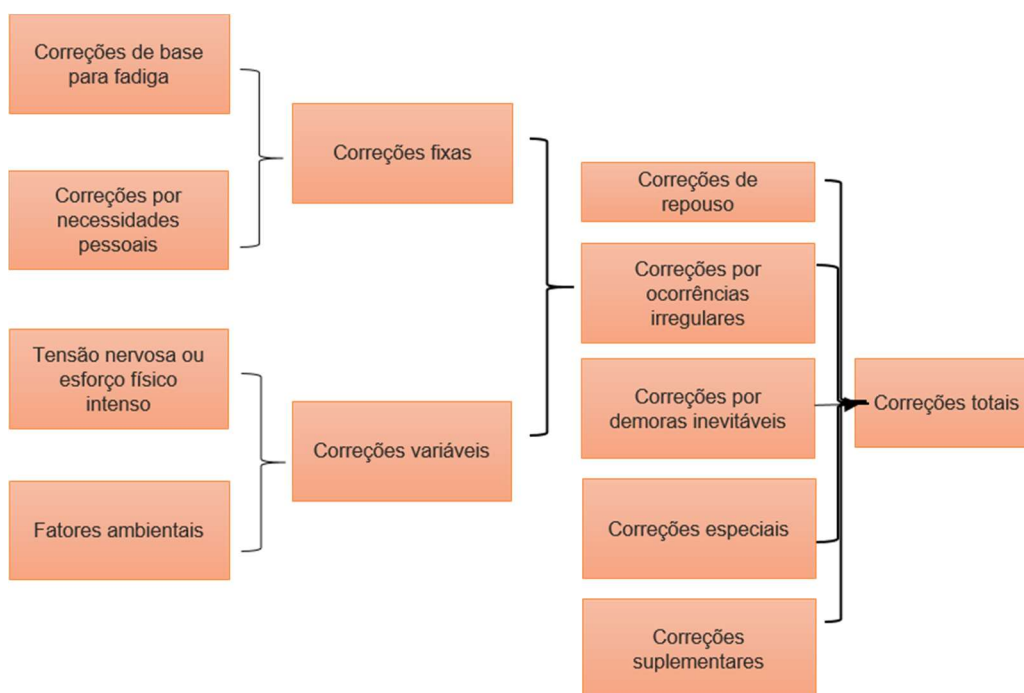


Figura 12 - Correção ao tempo normal (adaptado de [85]).

Tabela 3 - Correções ao tempo normal [85].

CLASSE DE CORREÇÃO	TIPO	DESCRIÇÃO	MÉTRICA
Correção de repouso	Correção de base para fadiga	Aplicam-se para compensar a energia despendida na execução do trabalho e para aliviar a monotonia	4% do TN
	Correção para necessidades pessoais	Tem em conta a necessidade de abandonar o posto de trabalho por necessidades pessoais	Entre 5 e 7% do TN
	Correções variáveis	Acrescentadas às fixas, quando as condições de execução são nitidamente diferentes das consideradas normais.	Valores tabelados (Anexo B)
Correção para ocorrências irregulares	Ocorrências irregulares	Ocorrências irregulares e aleatórias	Considerar a frequência média diária e a duração média da operação
Correção para demoras inevitáveis		Tempo concedido para compensar instantes de ociosidade forçada que têm origem na natureza do processo ou da operação e que, a não serem compensados, originariam um prejuízo no prémio do executante	Considerar os tempos improdutivos imputáveis à máquina
Correções especiais		Trata-se de correções para atividades que, normalmente, não fazem parte do ciclo da operação, mas são indispensáveis à boa execução do trabalho.	Considerar a frequência média diária e a duração média da operação

O tempo padrão (TP) é calculado adicionando ao tempo normal (TN), os complementos referidos anteriormente.

$$TP = TN_{\text{médio}} \times [1 + (\sum C/100)] \quad (7)$$

Onde:

TP – tempo padrão (s)

TN médio – tempo normal médio (s)

$\sum C$ – soma das correções

2.5 Balanceamento da linha de montagem

O estudo de tempos é a premissa básica para a elaboração do balanceamento de uma linha. Atendendo a que o balanceamento de uma linha de montagem corresponde à distribuição de operações sequenciais o mais uniformemente possível pelos postos de trabalho, de modo a minimizar o tempo em vazio, o conhecimento do tempo padrão de cada operação é imprescindível [86].

Não obstante os estudos para a conceção das linhas de montagem serem bem elaborados, contemplando as pessoas, materiais e equipamentos em cada posto de trabalho, dado tratar-se de um estudo teórico, é comum, na prática, verificar-se uma certa falta de balanceamento que deve ser reajustada para eliminar gargalos e esperas. Nestes casos, deve-se proceder ao estudo de tempos das várias tarefas. Uma forma prática de representar um balanceamento é através de gráficos de barras empilhadas (Figura 13), em que um dos eixos se refere ao tempo e o outro ao número de operadores ou postos de trabalho. A linha do *takt-time* é determinada e colocada como referência para a distribuição de tarefas e balanceamento [86].

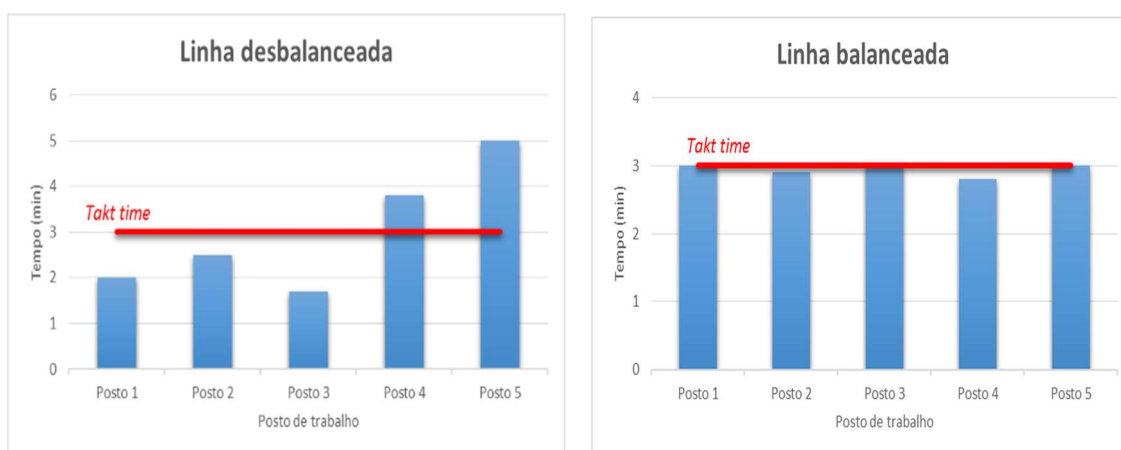


Figura 13 - Gráficos de distribuição de tempos (adaptado de [86]).

Na metodologia tradicional, tende-se a balancear efetuando uma distribuição igualitária entre os vários postos de trabalho. Neste caso, os postos estão balanceados mas não utilizados completamente. Na filosofia *Lean* ao efetuar os balanceamentos, os operadores são utilizados próximo do máximo da eficiência relativamente à exceção do último operador que apresenta alguma disponibilidade para assegurar tarefas administrativas da linha ou efetuar algumas substituições. O balanceamento destina-se à organização das tarefas nos postos de trabalho e é um fator importante no aumento da produtividade, uma vez que minimiza os tempos de paragem por espera [88].

2.6 Produção de cabos de comando para automóveis

Os cabos de comando são utilizados como meios mecânicos de transmissão de movimentos entre dois ou mais sistemas. Estes apresentam na sua composição básica (Figura 14): um cabo metálico (1), os terminais do cabo metálico em *zamak* (2), a espiral que protege o cabo metálico (3) e os terminais da espiral (4). Mas, o mais comum é integrarem diversos componentes, dependendo da função, da localização, do esforço, do número de solicitações, etc.

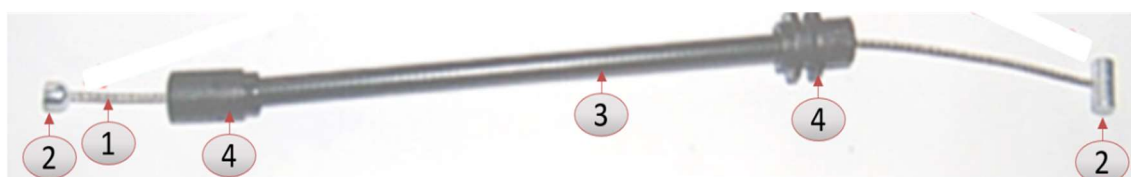


Figura 14 - Cabo de comando.

Independentemente da sua constituição e do local que ocupam no veículo, a sua função é transmitir ao sistema recetor as forças de acionamento aplicadas no sistema atuador, conforme elucidada a Figura 15 [89].

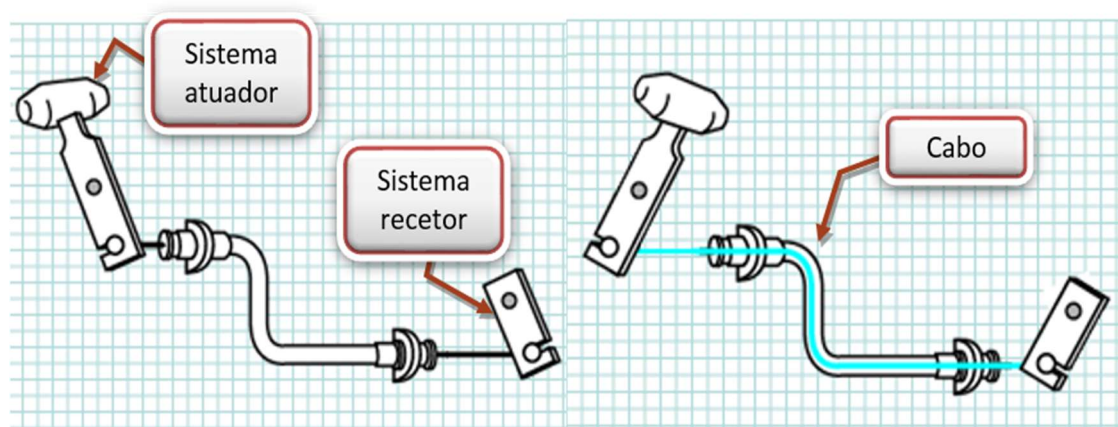


Figura 15 - Cabo como meio mecânico de transmissão de movimento [89].

Existem duas solicitações distintas no que se refere à atuação dos cabos: o sistema *pull* e o sistema *push/pull* [90].

- Sistema *Pull* – Os cabos “puxe” transmitem o esforço sob a forma de tração até um mecanismo. São utilizados em aceleradores, porta-malas, travão de mão, tampas de combustível, embraiagem, *cruise control*, etc.

- Sistema *Push/Pull* – Os cabos “empurre/puxe” transmitem o esforço sob a forma de tração e compressão até um mecanismo. São utilizados em sistemas onde são necessários esforços nos dois sentidos, como nos sistemas de abertura e fecho do sistema de ar condicionado.

A utilização de cabos como meio de transmissão de movimento tem vantagens sobre outros sistemas, dada a capacidade que eles têm de se moldar a diferentes geometrias. Esta característica, permite que se adaptem aos *layouts* dos vários sistemas de acionamento, imprescindíveis nos automóveis, dos quais são exemplo os mencionados na Figura 16 [91].

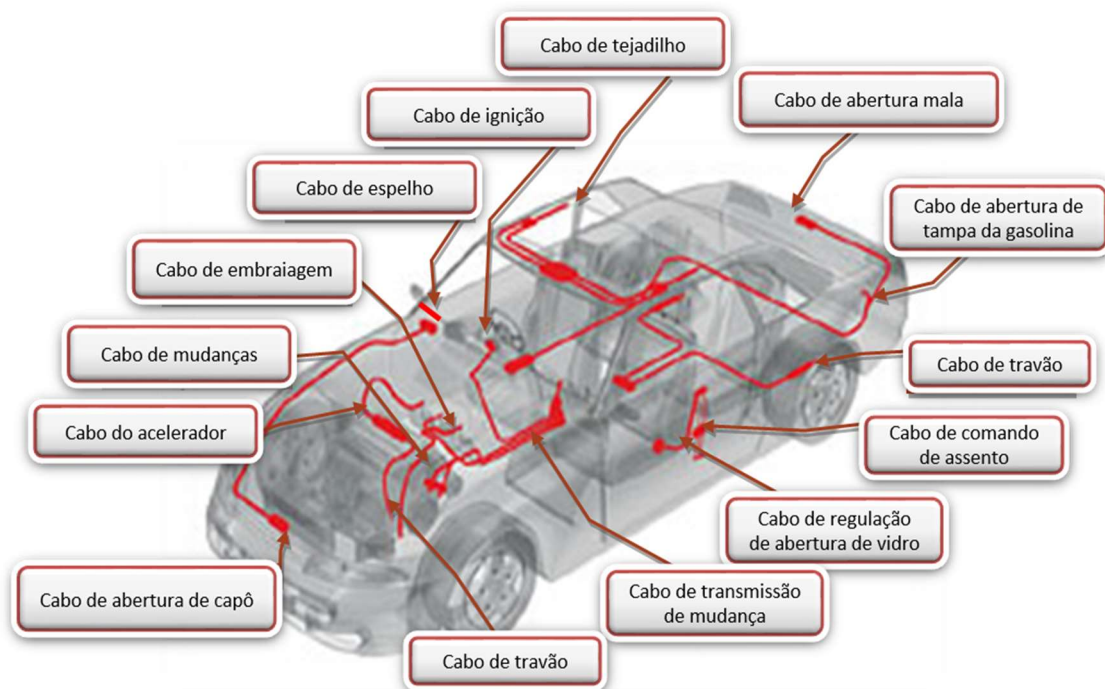


Figura 16 - Sistemas com acionamento por cabo metálico (adaptado de [91]).

Dos cabos de comando apresentados, são produzidos na FicoCables: cabos de abertura de capô, travão, elevadores de janela, abertura de mala, abertura de porta, assentos, ar condicionado e espelhos. A constituição dos cabos de comando depende da função a que se destinam e da especificação do cliente. Na sua forma final, são compostos pelo cabo metálico e diversos componentes.

2.6.1 O cabo metálico

A constituição e propriedades dos cabos metálicos são diversas e a sua escolha pressupõem conhecer as suas propriedades. Neste sentido, apresentam-se de seguida alguns conceitos básicos sobre cabos metálicos.

Na Figura 17 está representada a estrutura do cabo metálico. A constituição base do cabo metálico é o filamento. O enrolamento de dois ou mais filamentos origina a corda e o enrolamento de várias cordas em torno de um núcleo central gera o cabo, que pode ou não possuir revestimento exterior. Quando existe, este é normalmente em policloreto de vinilo (PVC), poliamida (PA) ou polipropileno (PP) e tem a finalidade de evitar a sua oxidação e consequente perda de propriedades [92] [93].

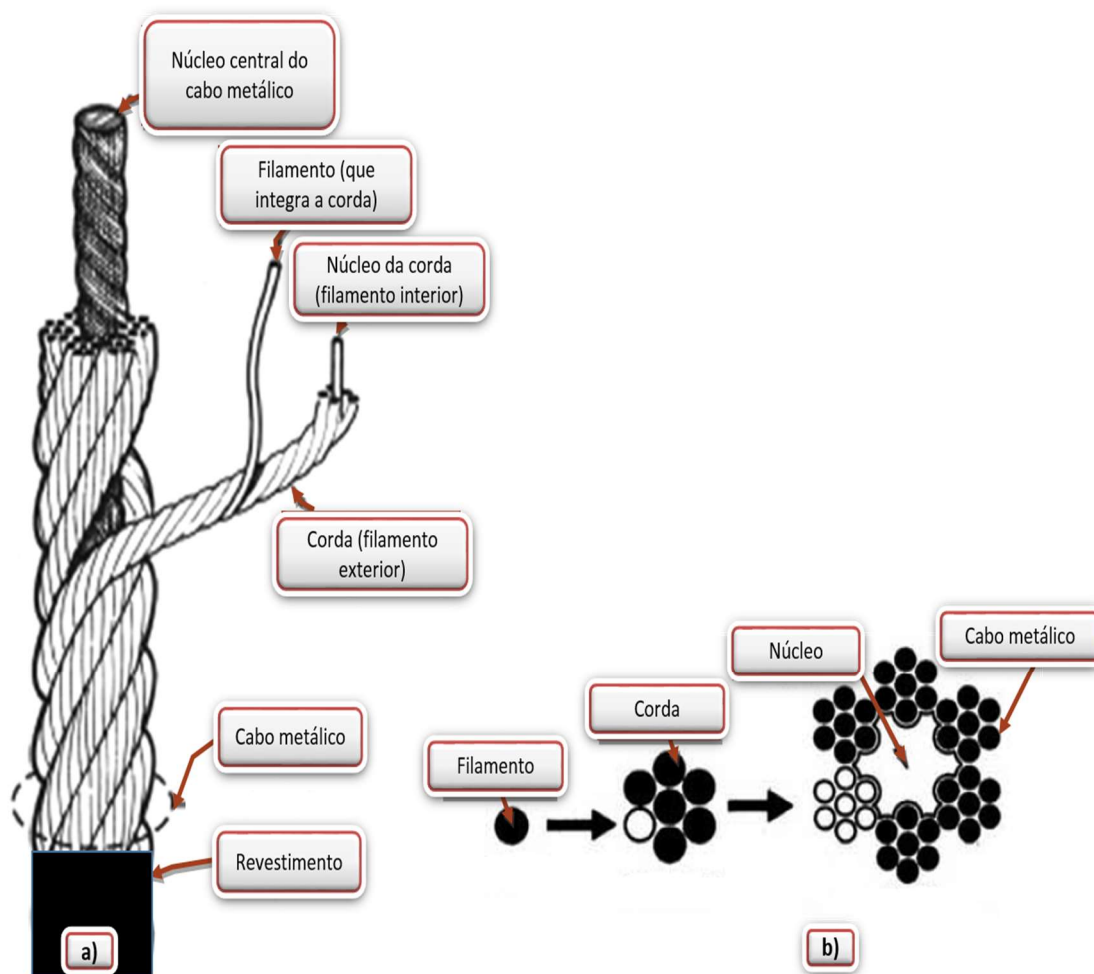


Figura 17 - a) Constituição do cabo metálico e b) vista em corte dos diferentes elementos que constituem o cabo (adaptado de [92]).

A corda é constituída por dois ou mais filamentos juntos, e a sua construção é normalmente referida como uma vez o número de filamentos total, incluindo o núcleo (por exemplo: 1x7, 1x19, etc.), conforme mostra a Figura 18.

Uma corda também poderá constituir um cabo, no entanto, pelo facto de possuir filamentos maiores, apresenta maior resistência à abrasão e menor flexibilidade, pelo que não é habitual ser usado desta forma.

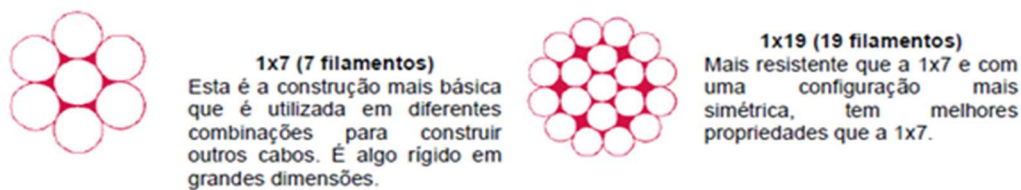


Figura 18 - Secções de cordas / ou cabos [92]

O cabo apresenta três ou mais cordas juntas. A construção é normalmente referida como o número de cordas utilizadas na conceção do cabo, em relação ao número de filamentos que envolvem o núcleo, conforme exemplos da Figura 19 [92] [93].

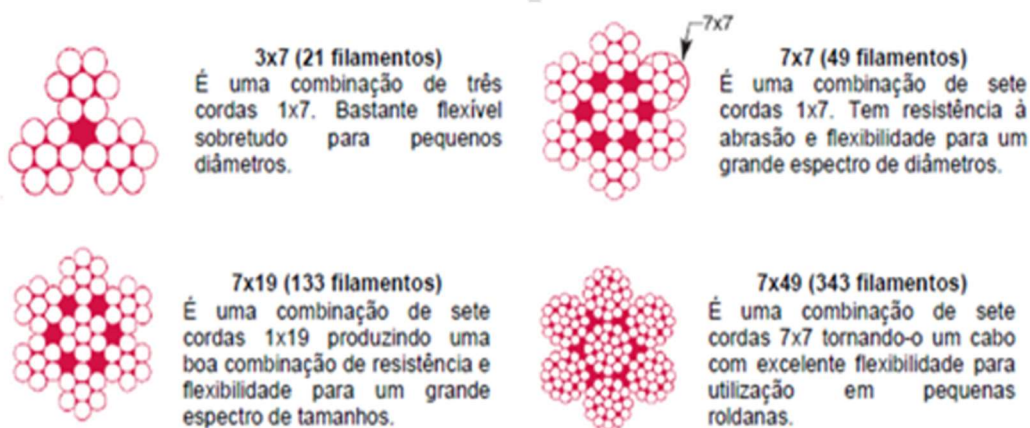


Figura 19 - Exemplos de secções de cabos [92].

A Figura 19 refere que a flexibilidade dos cabos é tanto maior quanto maior for o número de filamentos. O alongamento sofrido pelos cabos quando sujeitos a forças de tração, também é superior nos que apresentam maior número de filamentos, conforme mostra a Figura 20.

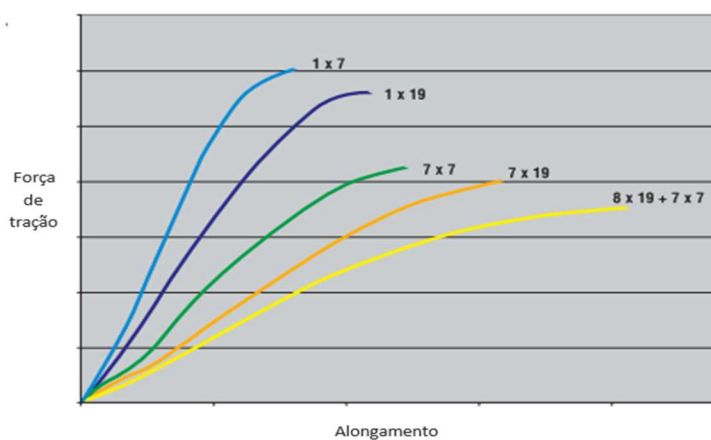


Figura 20 - Comportamento do alongamento / força de tração para diferentes cabos [93].

Os alongamentos que os cabos podem sofrer quando sujeitos a esforços são de dois tipos: alongamento estrutural e alongamento elástico [92].







- Alongamento estrutural – Quando uma corda ou cabo são construídos, a carga na extremidade é baixa. Desta forma, existem algumas folgas entre os filamentos e o núcleo do cabo ou da corda. A aplicação de uma carga inicial provoca uma acomodação dos filamentos ao núcleo, assim como um ligeiro alongamento do cabo ou da corda. A quantidade e alongamento estrutural não é constante para todos os cabos – depende de diversas variáveis como a construção, comprimento e outros fatores como a carga aplicada.
- Alongamento elástico – Alongamento elástico é, na realidade, o alongamento dos filamentos da corda ou do cabo. É causado pela aplicação de uma carga, de valor inferior à tensão limite elástico do metal, sendo o alongamento proporcional à carga aplicada. Quando a carga deixa de ser aplicada, o cabo ou a corda retoma o seu comprimento inicial, dado que o alongamento não atingiu o limite elástico do material.

Após a montagem dos cabos de comando na sua versão final (cabo com componentes), é realizado o ensaio à tração. Neste ensaio, é aplicada uma carga, normalmente correspondente a 60% do menor valor entre a carga suportada até rotura do cabo ou dos terminais. Com isto, uma parte do alongamento estrutural é removido [92].

2.6.2 Os componentes dos cabos de comando

O cabo metálico é uma peça fundamental no cabo de comando, mas por si só não teria utilidade, se não tivesse os restantes componentes associados, que dependendo das necessidades, são os mais variados. Na Tabela 4 encontram-se alguns componentes representativos dos utilizados na montagem dos diversos cabos produzidos na FicoCables, algumas especificidades dos mesmos e a função que desempenham no cabo de comando.

Tabela 4 - Principais acessórios que integram os cabos de comando, especificidades e funções desempenhadas.

Componente	Imagem	Especificidade	Função
		Espiral laminada	
Espiral		Espiral armada	A função da espiral é criar a proteção necessária à movimentação do cabo metálico
		Espiral tipo <i>braided</i>	
Terminais de espiral		Terminal fixo à espiral por punçõagem	Os terminais têm a função de posicionar a espiral no mecanismo
		Terminal fixo à espiral por punçõagem	
		Terminal sobreinjetado na espiral	

Terminais de espiral em forma de manípulo



Permitem o acionamento do cabo de comando

Terminais para afinadores



O terminal a) e o c) são punçoados na extremidade do respetivo tramo de espiral e posteriormente conectados, incorporando no interior a mola b) e originando o afinador d)

O afinador permite ajustar o comprimento da espiral e cabo metálico na ordem dos 15 mm. Desta forma, é possível absorver a variação na fixação dos cabos que ocorre de assento para assento.

Terminais de espiral para compensadores



O terminal a) e o c) são punçoados na extremidade do respetivo tramo de espiral e posteriormente conectados, incorporando no interior a mola b) e originando o compensador d)

Os compensadores são usados nos cabos de comando de assento (*easy entry*) que acionam o deslizamento do banco quando se pretende aceder aos bancos traseiros e/ou ajustar o posicionamento de condução para o condutor. Têm a função de proteger a espiral em caso de sobrecarga (extra curso), quando durante o acionamento esta sofre compressão acima do limite de admissível.

Grommet ou borracha de fixação



A função do *grommet* é impedir a passagem de humidade e resíduos da zona húmida para a zona seca



Tubo estrela é utilizado quando o ruído é provocado por impacto

Tubo exterior



Tubo de borracha utilizado quando o cabo atravessa de uma zona seca para uma zona húmida ou vice-versa

Tem a função de evitar ruídos provocados pela oscilação do cabo



Tubo de borracha é utilizado quando o ruído é provocado por fricção

Tubo interior









Evita a fricção do cabo metálico com a espiral

Guarda pó



O guarda pó, conforme o próprio nome indica, tem a função de evitar a entrada de resíduos para o interior da espiral, com consequências futuras no deslizamento do cabo.

		Abraçadeira com <i>clip</i> na extremidade	
Clips		<i>Clip</i> fixo a um casquilho	Estes componentes têm a função de fixar o cabo em vários pontos, de forma a ajustá-lo ao <i>layout</i> que lhe estará atribuído
		<i>Clip</i> com encaixe direto na espiral	
			
Terminais de cabo metálico		Os terminais apresentados são fixos ao cabo por prensagem	Têm a função de fixar o cabo ao sistema atuador
			

Para além dos componentes apresentados existem, ainda muitos outros. A sua aplicação no cabo depende da especificação do cliente e da função que este desempenhará no automóvel.

A título elucidativo, na Figura 21 e Figura 22 apresentam-se dois cabos que comportam alguns dos componentes mencionados na tabela anterior.



Figura 21 - Cabos de abertura de porta.

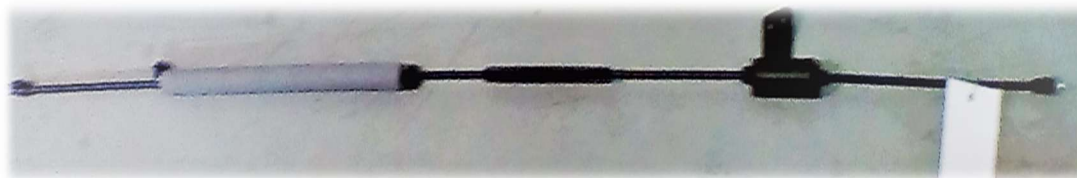


Figura 22 - Cabo de comando de assento.

A maior parte dos componentes são adquiridos pela FicoCables a fornecedores externos. Internamente é fabricada a espiral, é revestido cabo metálico, são injetados terminais em *zamak* e sobreinjetados terminais em plástico.

2.6.3 Processos usados no fabrico dos cabos de comando para automóveis

No fabrico dos cabos de comando, a FicoCables divide os processos em dois grandes grupos: processos associados ao fabrico e os processos de montagem.

2.6.3.1 Processos associados ao fabrico

O fabrico é responsável pela produção da espiral, revestimento de cabo metálico, corte de cabo e espiral, primeira injeção de *zamak* nos terminais do cabo e pela sobreinjeção de plástico nos terminais da espiral e terminais de cabo, conforme representado na Figura 23. Na Tabela 5 encontram-se sintetizados os processos mencionados e no anexo I é realizada uma descrição mais pormenorizada.

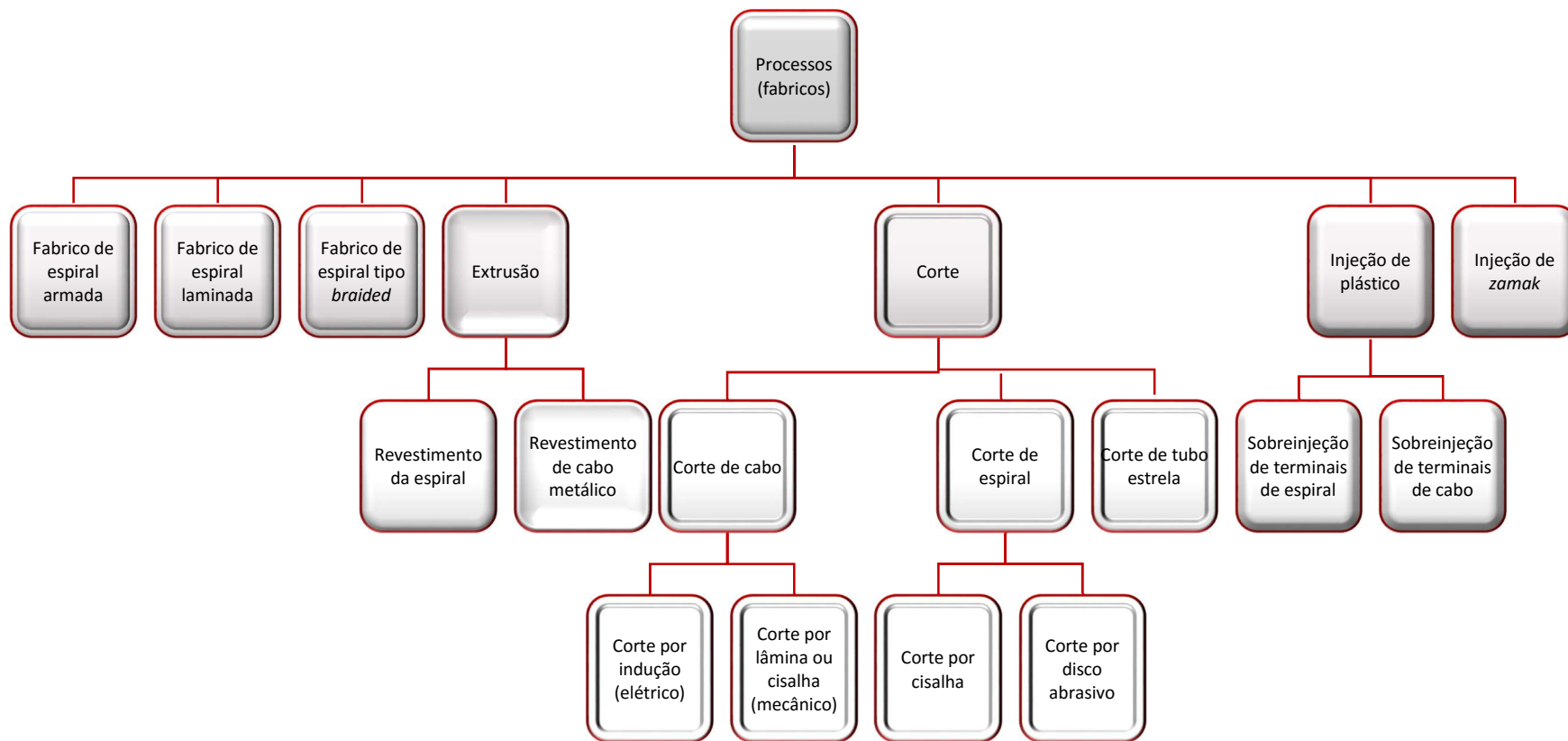


Figura 23 - Processos inerentes ao fabrico dos cabos de comando.

Tabela 5 - Processos de fabrico.

Processo	Equipamento	Descrição do processo	Especificidades
	Máquina de origem chinesa		
Fabrico de espiral laminada	Máquinas mais antigas na fábrica para fabrico de espiral laminada com e sem tubo interior	Laminagem a frio e enrolamento do arame em espiral	A espiral laminada pode ou não conter tubo interior
Fabrico de espiral armada	Planetária de discos, extrusora, tina de arrefecimento com tapete de arrasto	Os arames provenientes das bobines são encaminhados por guias e roldanas de forma a convergir para a fieira, onde culmina o processo de enrolamento dos arames sobre o tubo interior	A espiral armada contém sempre tubo interior Permite o fabrico de espiral com um máximo de 20 arames
Fabrico de espiral tipo <i>braided</i>	Planetária de tambores, extrusora, tina de arrefecimento com tapete de arrasto	Os dois tambores movimentam-se em sentido contrário, fazendo com que os arames provenientes das bobines enrolem sobre o tubo interior, com oito arames para a direita e outra camada de oito arames para a esquerda	A espiral tipo <i>braided</i> contém sempre tubo interior

Revestimento por extrusão de espiral, cabo metálico e arames	Extrusora	O material em granulado é alimentado à extrusora através da tremonha. No interior da extrusora existe um parafuso sem-fim que faz avançar o material até à fieira. Ao longo do percurso, ocorre a fusão do material por ação dos dispositivos de aquecimento, que são auxiliados pelo aumento do atrito entre os grânulos. Após a saída da fieira, o material é mergulhado numa tina para arrefecer, e a secagem é garantida pelo sopro existente no final	Para além do revestimento de espiral, cabo metálico e arames efetuados na FicoCables, o processo de extrusão também é utilizado no fabrico de tubo exterior e interior, não produzido atualmente na FicoCables, mas consumido na produção dos cabos de comando
Corte de cabo metálico	<p>Processo de corte mecânico: equipamento com lâmina ou cisalha</p> <p>Processo corte elétrico: equipamento munido de eletrodos</p>	<p>O cabo é dispensado da bobine de uma forma controlada por um compensador que mantém sempre a mesma tensão.</p> <p>Para evitar deformações, o cabo é guiado até ao dispositivo de corte por rolos de tracionamento</p>	Com o corte mecânico, o topo do cabo cortado tende a desentrançar. Com o corte elétrico, o topo do cabo fica soldado, devido à deformação provocada pelo calor que funde os vários filamentos do cabo. Pelo motivo exposto, a maioria dos cabos são cortados recorrendo ao sistema elétrico

	Corte de espiral por cisalha		Utilizado na espiral armada e tipo <i>braided</i> . A espiral laminada não pode ser cortada por este processo
Corte de espiral		Para evitar o aquecimento do material, pode ser utilizado fluido de corte	A espiral laminada, com e sem tubo interior, é sempre cortada por disco abrasivo. A espiral armada e tipo <i>braided</i> , para além de ser cortada por cisalha, também pode ser cortada por este processo, que embora mais dispendioso e com o inconveniente de formar rebarbas, proporciona um corte com maior perfeição
	Corte por disco abrasivo	No corte da espiral para sobreinjetar, é criada rugosidade na extremidade da espiral por um conjunto de maxilas aquecidas por uma resistência. A finalidade desta rugosidade é garantir a resistência à tração imposta pelo cliente	Pelo facto de resultarem rebarbas, a espiral cortada desta forma tem que passar por um processo de limpeza. Necessita de ser esmerilada para remover rebarbas existentes no exterior e escareada para garantir a limpeza interior, evitando assim problemas de qualidade: manchas nos terminais sobreinjetados e dificuldade na

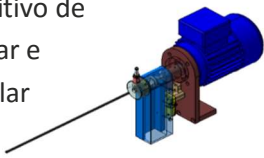

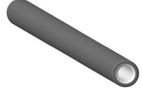
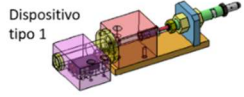
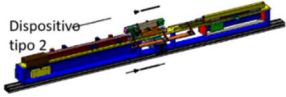

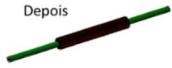
			montagem dos terminais punçoados, originando subconjuntos fora de medida
Corte de tubo estrela	Máquina de corte com lâmina	<p>O tubo exterior é dispensado num contentor, puxado através de rolos e obrigando a passar num compensador para lhe retirar tensões</p> <p>O corte é efetuado por lâmina e o comprimento garantido por um <i>encoder</i></p>	<p>Preferencialmente após o corte, o comprimento do tubo deve ser avaliado e montado na espiral, uma vez que o método de montagem do tubo interfere no comprimento final</p>
Injeção de terminais de cabo metálico com zamak	<p>Máquinas de injeção semiautomáticas</p> <p><i>Robocop's</i> (máquinas de injeção automáticas)</p>	<p>O cabo é aparado por corte mecânico, efetuada a flor, injeção <i>zamak</i> e remoção de gito</p>	<p>O cabo que anteriormente foi cortado por corte elétrico, necessita ser aparado mecanicamente para remover a extremidade que apresenta dureza elevada e dificulta a realização da flor, e também remover a película de óxidos resultante do corte elétrico. Para garantir a resistência à tração, é necessário fazer uma deformação na extremidade do cabo, designada de flor, o que vai proporcionar um aumento da área de</p>

			contato entre o cabo e o terminal em <i>zamak</i>
Sobreinjeção Plástica	Máquina de injeção: Fiser, Multiplás e Arburg	As máquinas aquecem o polímero à temperatura ideal, para que este funda e adquira a viscosidade adequada para fluir e preencher todos os canais do molde. A pressão exercida pela máquina é de vital importância neste processo. Só após o adequado arrefecimento, a peça deve ser retirada do molde para não sofrer deformações	Na injeção de terminais coloridos, é muito importante a espiral ser fornecida sem rebarbas Para garantir o esforço especificado, é necessário que as marcas dos mordentes estejam efetuadas em conformidade com o definido

2.6.3.2 Processos associados à montagem

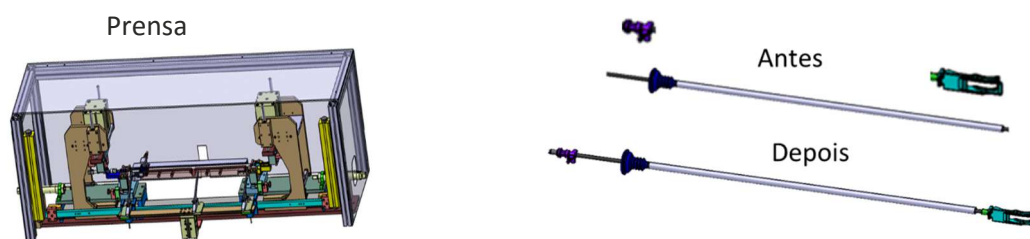
Como referido anteriormente, dependendo do local onde o cabo será aplicado e a função que irá desempenhar, a sua constituição é diferente, logo pressupõem a utilização de diferentes componentes e processos para a sua montagem. Na Tabela 6 serão apresentados os processos mais utilizados [94].

Tabela 6 - Processos usuais nas linhas de montagem.

Esmerilar e escarear espiral	
Objetivo	Eliminar rebarbas
Método de trabalho	Introduzir extremidade de espiral no dispositivo, repetindo para o lado oposto
Postos de controlo	Ausência de rabarbas e inexistência de espiral tapada
Problemas	Ruído no funcionamento do cabo; esforço de acionamento do cabo aumenta
Dispositivo de escarear e esmerilar	
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Antes</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Depois</p>  </div> </div>
Montagem de tubo exterior na espiral	
Objetivo	Introduzir o tubo exterior na espiral de acordo com o posicionamento definido
Método de trabalho	Dispositivo tipo 1: Apontar tubo na espiral e introduzir no dispositivo até que se desligue. Dispositivo tipo 2: Posicionar a espiral e o tubo exterior no <i>gabarit</i> e acionar a botoneira
Pontos de controlo	Tubo sem danos; tubo na posição
Problemas	Ruído no funcionamento do cabo
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Dispositivo tipo 1</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Dispositivo tipo 2</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Antes</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Depois</p>  </div> </div>

Punçonar terminais na espiral

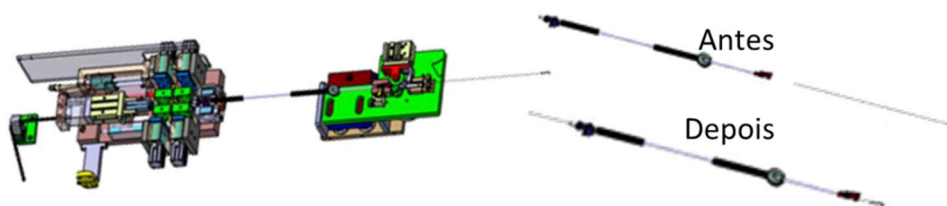
Objetivo	Fixar os terminais à espiral
Método de trabalho	Colocar a espiral no <i>gabarit</i> ; apontar os terminais de espiral dos dois lados; acionar botoneiras para punçonnemento
Pontos de Controlo	Esforço de tração dos terminais; verificar visualmente a existência dos punções de fixação e se os terminais estão danificados; comprimento do subconjunto de espiral com os terminais montados
Problemas	O cabo não transmitir movimento; não ser montável no local definido; o cabo soltar-se ou produzir ruído durante o funcionamento



Introduzir e aparar o cabo metálico

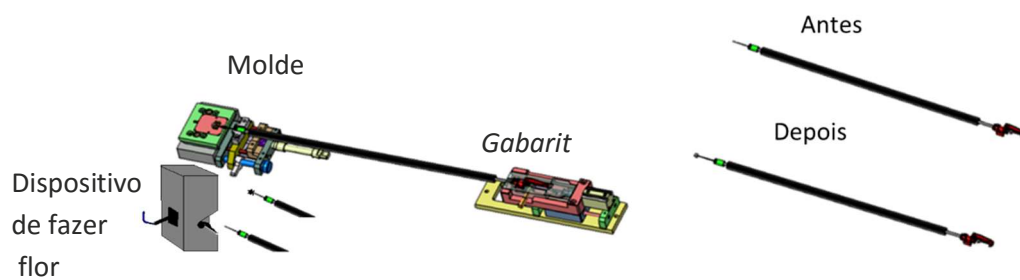
Objetivo	Introduzir o cabo na espiral e acertar o seu comprimento de forma a garantir que depois de injetar o 2º terminal de <i>zamak</i> , a cota de saída fica dentro do especificado
Método de trabalho	Apontar o cabo nos roletes; acionar a botoneira
Postos de controlo	Cabo com comprimento requerido; visualmente, verificar se existem danos no subconjunto e o cabo apresenta corte perfeito
Problemas	O cabo não transmitir movimento; não ser montável no local definido; soltar-se ou produzir ruído durante o funcionamento; o 2º terminal não atingir o esforço de tração requerido

Dispositivo de montar e aparar cabo



Injetar 2ª terminal de cabo com zamak

Objetivo	Criar uma peça que permita a conexão do cabo aos sistemas que o acionam
Método de trabalho	Introduzir o subconjunto no dispositivo de fazer flor; Posicionar o subconjunto no molde e no <i>gabarit</i> ; acionar botoneira
Postos de controlo	Esforço à tração dos terminais do cabo; visualmente, verificar se o subconjunto está danificado; verificar se o terminal injetado está isento de rebarbas
Problemas	O cabo não transmitir movimento; não ser montável no local definido; o cabo soltar-se ou produzir ruído durante o funcionamento; o sistema que o cabo comanda não mudar de estado



Termogravação

Objetivo	Gravar no registo dados que permitem a sua identificação e rastreabilidade (data de fabrico, referência, etc.)
Método de trabalho	Posicionar o subconjunto no dispositivo e acionar a botoneira
Postos de controlo	Verificar a existência da termogravação, correta e legível
Problemas	Devolução do cabo



Injetar massa lubrificante

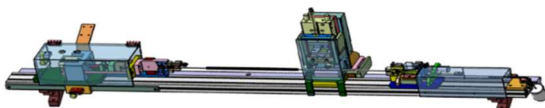
Objetivo	Lubrificar o interior da espiral de forma a facilitar o deslizamento do cabo
Método de trabalho	Introduzir a espiral no dispositivo
Postos de controlo	Visualmente verificar se o subconjunto contém massa lubrificante
Problemas	O cabo não transmitir movimento; o cabo produzir ruído durante o funcionamento



Banco de ensaios

(Em algumas linhas está acoplado à máquina de injeção de *zamak*)

Objetivo	Verificar as características específicas do cabo (cota de saída e esforço à tração) por forma a assegurar que cumprem os requisitos do cliente Após verificação, é efetuada marcação (data de fabrico, referência, etc.), ou apenas pico de validação
Método de trabalho	Colocar o cabo completo no <i>gabarit</i> (inclui terminais de espiral e de cabo nos locais definidos); acionar botoneira
Postos de controlo	Esforço à tração e cota de saída; visualmente, verificar se o subconjunto está danificado
Problemas	O cabo não transmitir movimento; não ser montável no local definido; o cabo soltar-se ou produzir ruído durante o funcionamento; o sistema que o cabo comanda não mudar de estado



2.6.4 Encadeamento dos processos

No diagrama da página seguinte (Figura 24) está representado o encadeamento dos processos ocorridos no fabrico dos cabos de comando.

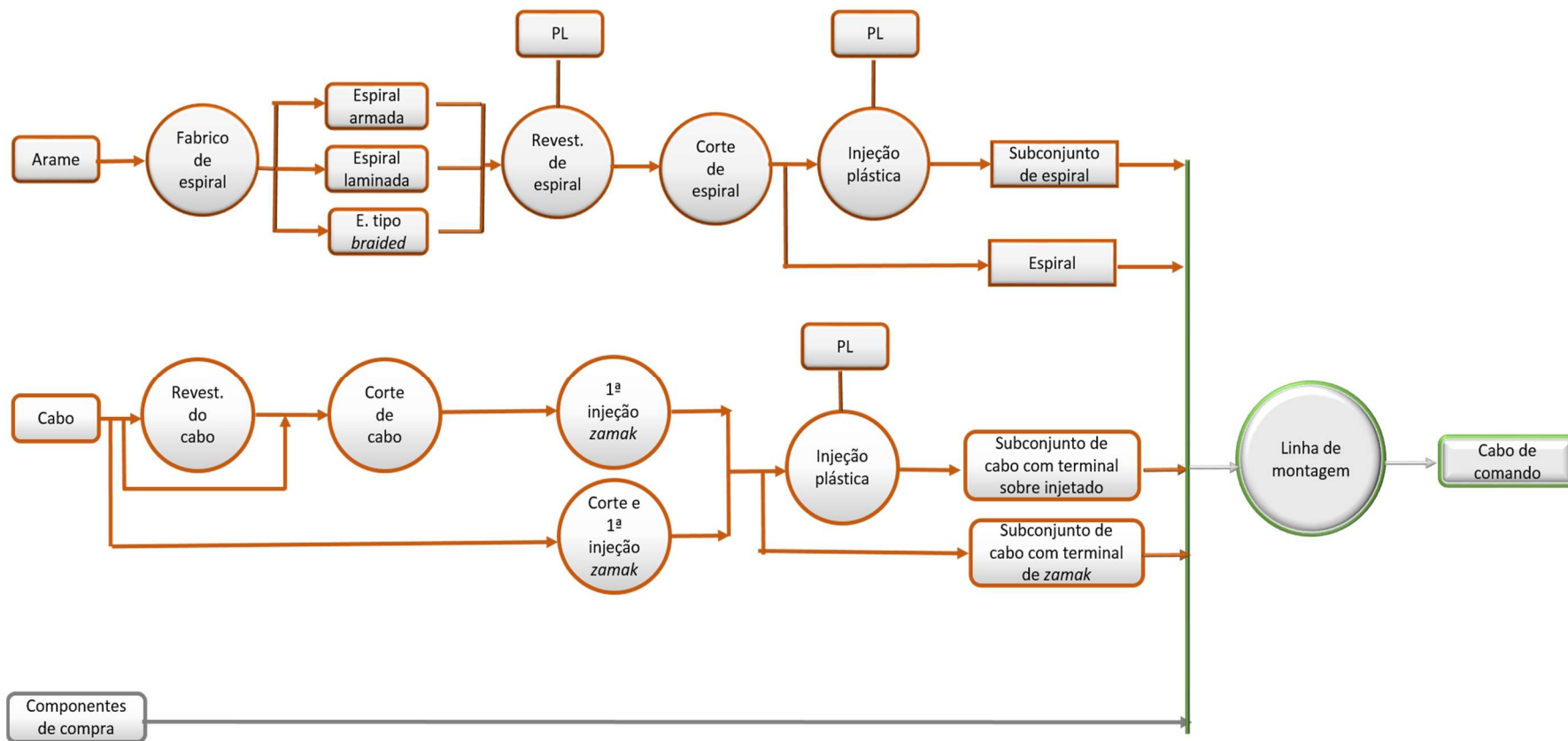


Figura 24 - Diagrama de encadeamento dos processos.

2.6.5 Controlo de qualidade

A qualidade do produto é garantida através de controlos incorporados no processo e controlos efetuados ao produto no decorrer das operações.

Os controlos incorporados nos processos constam de ferramentas designadas de *Poka Yokes*, uns que evitam os defeitos e outras que apenas auxiliam na sua deteção, dispositivos de ensaio e dispositivos de medição, nomeadamente ensaio à tração e medição da cota de saída.

O posicionamento e existência dos diversos componentes que constituem o cabo são garantidos pelos *Poka Yokes* e sistema *Jidoka* incorporados nos equipamentos, como exemplifica a Figura 25 para o *grommet*, em que a cavidade existente no *gabarit* garante o correto posicionamento e o sensor a sua presença.

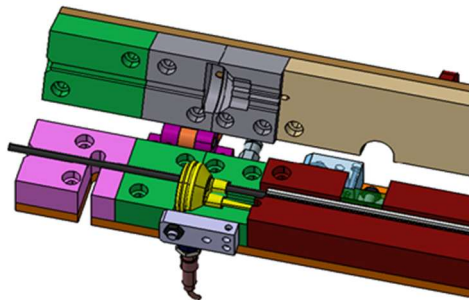


Figura 25 - Gabarito para montagem do *grommet*.

O alinhamento entre os terminais da espiral e os terminais do cabo são características que têm que ser garantidas no processo. O desalinhamento obriga a torcer o cabo para efetuar a sua montagem no automóvel, o que além de dificultar esta operação, pode originar perdas de eficiência e desgaste prematuro.

Para garantir o alinhamento entre os terminais da espiral, as ferramentas da prensa de punçonar têm a configuração dos terminais, de forma que, quando estes são posicionados, o encaixe apenas é possível na posição correta (Figura 26).



Figura 26 - Posicionamento dos terminais da espiral.

O alinhamento dos terminais do cabo metálico é garantido na injeção do segundo terminal. Nesta operação, o primeiro terminal é posicionado no encaixe da ferramenta (Figura 27), obrigando que este fique alinhado com o terminal que está a ser injetado.

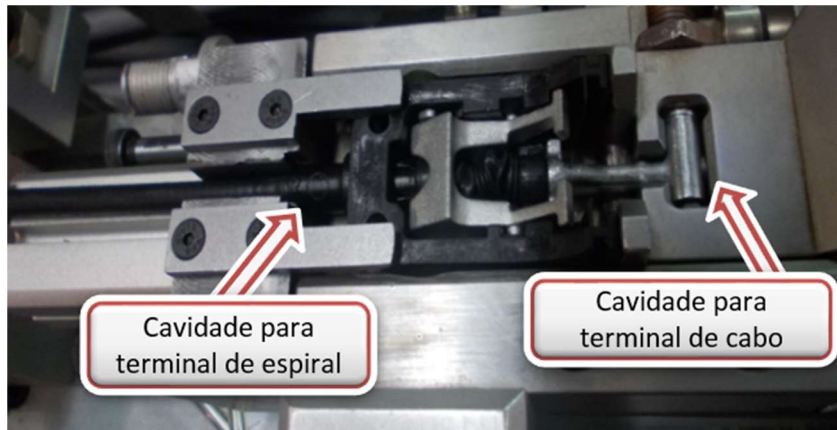


Figura 27 - Alinhamento dos terminais do cabo e da espiral.

Os dispositivos de medição utilizados, efetuam a medição de uma determinada característica em 100% dos produtos processados e exibem-na num *display*. No caso da característica medida não se apresentar dentro dos valores estabelecidos, é gerado um alerta para que o operador recuse a peça.

As duas características significativas controladas por este método são o esforço à tração e a cota de saída. O esforço à tração exigido varia entre 30 N e 40 N. Com estes valores, fica garantido que os terminais não se vão soltar perante as solicitações a que o cabo vai estar sujeito durante a sua utilização. A cota de saída, que corresponde ao comprimento de cabo que excede os terminais da espiral, é medida em 100% dos cabos produzidos, para que a montagem do cabo no produto do cliente se efetue sem problemas, pois o cabo pode ter sido fornecido mais curto ou mais comprido do que o necessário. Estas características são controladas, na maioria das linhas, no posto da segunda injeção do terminal de *zamak*. Uma minoria possui um último posto, designado de banco de ensaio. Quando realizada no posto da máquina de *zamak*, é feito no cabo uma marca designada de pico de validação, como garantia que o ensaio e medição foram executados. Quando a linha tem o posto de banco de ensaio, a termogravação só é efetuada se o ensaio e medição da cota estiverem OK.

Para realizar os ensaios, é necessário posicionar os terminais da espiral e do cabo no *gabarit*. Quando o ensaio é realizado na máquina da segunda injeção de *zamak*, efetua-se após injeção, e ainda com o molde fechado, garantindo assim o bloqueio do segundo terminal. O ensaio ao esforço é feito tracionando o primeiro terminal. E ainda com o cabo tencionado do ensaio à

tração, é feita a medição do comprimento mínimo e máximo do cabo por dois sensores. Caso alguma destas características não se encontre conforme, no *display* aparece uma mensagem de erro: erro de carga para o caso do esforço e erro de cota para o comprimento. Os cabos com características fora do especificado, têm que ser colocados no local correspondente ao defeito que possui, conforme evidencia a Figura 28. Cada defeito tem um número máximo de peças admissível, que uma vez atingido, o operador é obrigado a parar para atuar na causa do problema. A indicação quanto à possibilidade de recuperação, método, responsável e frequência, também fazem parte dessa informação.



Figura 28 - Local designado para colocação de peças com defeito.

O controlo ao produto ocorre em diferentes fases, conforme a seguir se descreve:

- OK à primeira peça – ocorre no arranque de cada turno, sempre que troque de referência, em caso de paragem prolongada ou intervenção da manutenção. Nesta fase, efetua-se a validação dos controlos do processo (*Poka Yokes* e sensores) e realizam-se os controlos definidos para o produto.
- Verificação a 100% – ocorre a cada peça produzida. O operador verifica visualmente e em todas as peças a qualidade das operações efetuadas. As características a verificar estão definidas nas fichas de posto.
- O autocontrolo – ocorre com a frequência definida (frequentemente de hora a hora) às características e parâmetros que constam do plano de controlo. Neste documento, são efetuados os registos dos respetivos resultados em cada posto de trabalho. Normalmente, compreende verificações visuais e medição de cotas a respeitar.

DESENVOLVIMENTO

3.1 OBJETIVOS DO TRABALHO PRÁTICO

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

3.3 ANÁLISE E OPTIMIZAÇÃO DE LINHAS DE MONTAGEM DE CABOS DE COMANDO PARA AUTOMÓVEIS

3.3.1 Caso da linha MQB1

3.3.2 Caso da linha V408

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Objetivos do trabalho prático

O presente trabalho tem como objetivo a otimização de processos nas linhas de montagem, visando o aumento da produtividade.

A existência de linhas de montagem com PhH (Peça/hora/Homem) abaixo do objetivo, onde para além de resultados inferiores aos orçamentados, também pode estar comprometido o prazo de entrega ao cliente, significa prejuízo avultado para a empresa. Neste sentido, com vista a aumentar a eficiência, a empresa traçou um plano com a envolvimento de várias equipas, que estando interligadas pelos líderes do projeto, atuavam conforme as responsabilidades atribuídas, com foco nas componentes: velocidade, disponibilidade e qualidade.

O desenvolvimento deste trabalho visou responder às solicitações colocadas à equipa responsável por atuar na componente velocidade e disponibilidade no que se refere a *setups*, cujos principais objetivos foram:

- Melhorar a eficiência dos processos;
- Reduzir o tempo para realização das operações;
- Aumentar o PhH, identificando e eliminando desperdícios;
- Nivelar linhas de montagem e padronizar métodos;
- Reduzir os tempos de *setup*.

3.2 Caracterização da empresa

3.2.1 O grupo Ficosa (Ficosa International, S.A.)

A Ficosa é uma empresa multinacional. Em 1949, Josep Maria Pujol e Josep Maria Tarragó criaram uma oficina em Barcelona (Espanha), com o nome “Pujol i Tarragó”, dedicada a cabos mecânicos. Em 1987 foi renomeada para Ficosa International. A empresa dedica-se à pesquisa, desenvolvimento, produção e comercialização de componentes e sistemas para o sector automóvel. Conta com centros de produção, centros de engenharia e escritórios comerciais, em 16 países na Europa, América do Norte, América do Sul e Ásia. A empresa afirma-se como

fornecedor oficial e parceiro tecnológico de uma grande parte das empresas produtoras de veículos em todo o mundo (Figura 29). A empresa investe todos os anos em atividades de I&D (Investigação e Desenvolvimento), representando atualmente cerca de 6.5% da sua faturação.



Figura 29 - Presença global do grupo Ficoso [95].

Um fator de sucesso para garantir a qualidade global e altos níveis de serviço, é o sistema pelo qual a Ficoso se rege, o FMS (*Ficoso Manufacturing System*) que permite à Ficoso ter a imagem de marca “*made by Ficoso*”. Este sistema assenta em quatro princípios: *Just-In-Time*, Foco na Qualidade, Melhoria Contínua e Compromisso e Alta *Performance* das Equipas.

3.2.2 FicoCables, Lda.

A FicoCables Lda. dedica-se ao fabrico de componentes para a indústria automóvel desde 1971. A atividade foi iniciada em Portugal pela Teledinâmica, numa garagem em Vila Nova de Gaia, com três funcionários e gerida pelo Eng.º Franco Dias. Em 1972, a Teledinâmica associou-se à firma Pujol e Tarragó, com sede em Barcelona. Em 1980, começou a exportar para a Fiat Italiana e para vários construtores europeus, iniciando assim o seu processo de expansão, vendendo para o mercado externo. Em 1981, a empresa mudou as suas instalações para a Maia, fruto do seu crescimento para o mercado exterior. Em 1993, a empresa alterou a sua designação para FicoCables Lda., contando atualmente com mais de 1000 trabalhadores. Em 2017 é detida maioritariamente pela Panasonic, que adquiriu recentemente 69% de capital social.

A FicoCables fornece clientes que são OEM'S (*Original Equipment Manufacturer*) e outros que são fabricantes diretos para as OEM'S. Os principais clientes em termos globais são: VW, Opel, PSA, Renault, Brose, Johnson Controls, Faurecia, Kiekert e Inteva.

A empresa apresenta duas áreas de negócio:

- Sistemas de conforto – onde são produzidos sistemas lombares de conforto, que uma vez incorporados nos assentos dos veículos, permitem a sua regulação na zona das costas (*suspension mat*) e banco de assento (*cushion*);
- Sistemas de porta e assentos - onde são produzidos os cabos utilizados na transmissão de movimentos dos sistemas de elevadores de janela, regulação lombar do assento, sistemas de inclinação do banco, travão de mão, acelerador, abertura de porta, capô, mala, entre outros.

A unidade de negócios sistemas de porta e assentos, onde se realizou o projecto, está organizada por módulos de acordo com a descrição da Tabela 7.

Tabela 7 - Definição dos módulos existentes nas unidades de negócios da FicoCables.

	Módulo	Actividade
	2,3	Linhas de montagem
Unidade de negócios sistema de porta e assentos – Produção de sistemas de transmissão de movimentos	1	Fabricos: Espiral, extrusão, corte abrasivo
	2 (injeção)	Fabricos: Corte de cabo, corte tubo exterior, sobreinjeção de plástico; 1ª Injeção de <i>zamak/robocops</i>
	5	Unidade fabril da plataforma: linhas de montagem

Do fabrico resultam componentes que, em conjunto com componentes de compra, são utilizados nos módulos das linhas de montagem para produzir o produto final de acordo com as especificações do cliente. Por uma questão de proximidade, o corte de cabo e grande parte da a 1ª injeção de *zamak* estão a ser integrados progressivamente nos módulos das linhas de montagem.

3.3 Análise e otimização de linhas de montagem de cabos de comando para automóveis

As linhas de montagem são constituídas por um conjunto de equipamentos organizados em postos de trabalho dispostos sequencialmente, geralmente ligados entre si por um sistema contínuo de movimentação de materiais. As diversas operações que ocorrem em cada um dos postos da linha de montagem podem ser efetuadas de forma manual, assistida por ferramentas ou pequenos equipamentos.

Em cada posto de trabalho apenas é permitido um único trabalhador. Frequentemente, as linhas de montagem agregam três a quatro trabalhadores. No entanto, este número oscila de acordo com a complexidade do cabo de comando que é produzido, podendo atingir os oito trabalhadores.

Os tempos de ciclo são relativamente baixos, pois a maioria das linhas de montagem têm tempos de ciclo entre 6 e 9 segundos, o que permite um *output* entre 600 e 400 peças por hora, respetivamente. Os movimentos repetitivos inerentes aos curtos tempos de ciclo das operações são um problema para os operadores. Uma forma de minimizar as consequências deste tipo de trabalho é fazer rotatividade entre postos.

São várias as condicionantes a que uma linha de montagem está sujeita. O facto de ter um operador menos experiente ou rotinado, de faltar um componente ou avariar um posto de trabalho, afeta a linha na totalidade, reduzindo a produção ou ditando a sua paragem. A produção de várias referências de cabos similares na mesma linha, com o objetivo de a rentabilizar, contribui para o aumento da sua complexidade, com a agravante de normalmente estar associada à produção de pequenos lotes, o que eleva o tempo despendido em *setups*. Nestes casos, é fundamental agilizar os *setups*, assim como definir a sequência ótima para minimizar o impacto na produção.

Para otimizar os processos associados às linhas de montagem é fundamental analisá-los bem, conhecer os equipamentos e materiais utilizados, a relação entre o operador e o equipamento, assim como os tempos de todas as tarefas envolvidas. A otimização dos processos tem como foco a eliminação de desperdícios, atuando:

- Na otimização dos equipamentos,
- Instabilidade do processo;
- Otimização de *layouts*;

- Otimização de fluxos;
- Problemas específicos.

Otimizar custos, produtividade, processos, tempo, etc., significa estabelecer prioridades, para uma maior eficiência e eficácia, em busca de obter o melhor rendimento [96].

O presente trabalho contempla dois casos de estudo direcionados para a otimização de processos produtivos nas linhas de montagem de cabos de comando:

1. Caso da linha MQB1: Retrata a otimização de processos numa linha de montagem de cabos de abertura de porta, com vista a atingir a capacidade necessária para satisfazer os pedidos do cliente. A intervenção nesta linha ocorreu em duas fases: a primeira fase consistiu na realização de melhorias nos equipamentos e a segunda fase na atuação sobre os desperdícios associados a operações de valor não acrescentado;
2. Caso da linha V408: Retrata a otimização dos tempos de *setup*, numa linha de montagem designada para projeto-piloto da implementação da metodologia SMED e outras ferramentas *Lean*, com vista à redução de desperdícios inerentes à mudança de ferramentas.

3.3.1 Caso da linha MQB1

A decisão de estudar a linha MQB1 tem por base dois motivos que são alvo da preocupação da empresa em termos de competitividade e sustentabilidade do produto: PhH abaixo da quantidade estabelecida para o orçamento e tempo de ciclo superior ao *takt-time*.

Para solucionar o problema apresentado, efetuaram-se melhorias no processo de fabrico do cabo em estudo, que ocorreram em duas fases:

1. Na primeira fase, foram identificadas e aplicadas melhorias ao nível dos processos. Operações manuais passaram a ser realizadas em automático ou semiautomático e uma operação foi eliminada da linha.
2. A segunda fase incidiu sobre a eliminação/redução das operações que não acrescentam valor ao produto, nomeadamente:
 - Abastecimento e *decantings* dos componentes à linha;

- Movimentação do produto entre postos;
- Inspeções realizadas aos subconjuntos abastecidos à linha e verificação de conformidade do produto produzido;
- Preenchimento do quadro de produção.

O posto gargalo, posto de injeção do segundo terminal com *zamak*, também foi objeto de melhorias nesta fase.

3.3.1.1 Apresentação do produto

Na linha de montagem designada por MQB1, são produzidos cabos de acionamento de abertura de porta pelo exterior, com a referência Ficosa 121912373 (Figura 30), pertencentes ao projeto MQB1.



Figura 30 - Cabos de porta produzidos na linha MQB1.

Estes cabos são aplicados nas portas dos veículos da marca Volkswagen, no modelo Passat, Golf e Up. A sua função no veículo é efetuar a abertura da porta quando acionado através do manipulador existente no exterior, conforme elucidada a Figura 31.

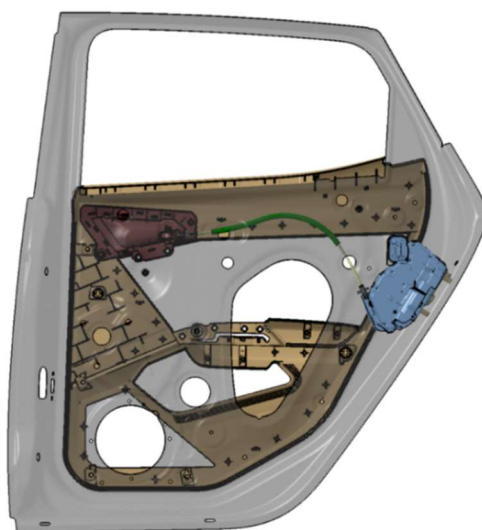


Figura 31 - Aplicação do cabo na porta do veículo.

O cabo apresentado é constituído pelos componentes descritos na Tabela 8.

Tabela 8 - Descrição da constituição do cabo.

Imagem	Nº	Descrição
	1	Terminais de cabo em zamak
	2	Cabo metálico
	3	Fole pequeno
	4	Terminal-caixa
	5	Terminal de espiral sobreinjetado
	6	Espiral
	7	Tubo exterior em esponja
	8	Fole grande
		Massa lubrificante

3.3.1.2 Apresentação da linha de montagem MQB1

A linha está localizada no módulo F2 linhas de montagem e ocupa uma área de 25 m². É constituída por quatro postos de trabalho, com um operador designado para cada posto. O fluxo dos materiais entre postos segue o trajeto representado pela linha a verde exibida na Figura 32.

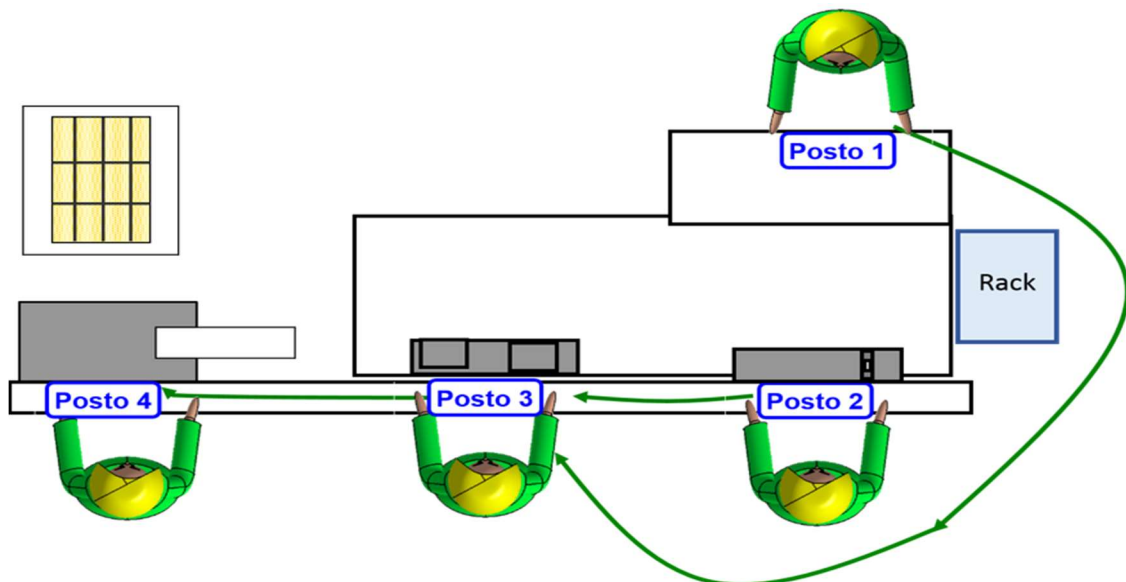


Figura 32 - Layout da linha MQB1.

3.3.1.3 Breve descrição do funcionamento da linha MQB1

Para o funcionamento da linha, foco do caso em estudo, contribuem três postos de trabalho externos:

- O posto de preparação: onde se efetua a montagem do tubo esponja;
- A máquina de injeção plástica: onde se realiza a sobreinjeção dos terminais da espiral;
- O *robocop*: onde se efetua a primeira injeção do terminal *zamak*.

Com a inclusão destes postos de trabalho no caso de estudo, pretende-se:

- Proporcionar uma visão mais ampla do processo de fabrico do cabo, abordando a preparação dos subconjuntos que são fornecidos à linha.
- Integrar as melhorias realizadas na linha com a necessidade de intervenção nestes postos de trabalho.

Na Figura 34 estão representadas as operações realizadas nos postos de trabalho envolvidos no fabrico do cabo do projeto MQB1.

As operações encontram-se codificadas com base no seguinte critério:

- O primeiro dígito pretende identificar o posto de trabalho. Para os postos externos à linha é usado o dígito 0, na linha, 1 para o posto 1, 2 para o posto 2, etc.
- O segundo dígito é utilizado para identificar o conjunto de operações realizadas no posto em questão.

Em complemento ao fluxograma apresentado na Figura 34, segue-se uma breve descrição do funcionamento de cada um dos postos de trabalho mencionados.

3.3.1.3.1 Posto de preparação

No posto de preparação é efetuada a montagem do tubo esponja na espiral. Para o efeito, recorre-se a um dispositivo de montagem de tubo exterior em gaveta (Figura 33). A necessidade da utilização deste dispositivo prende-se com o facto da esponja estar sujeita a ajuste com interferência.

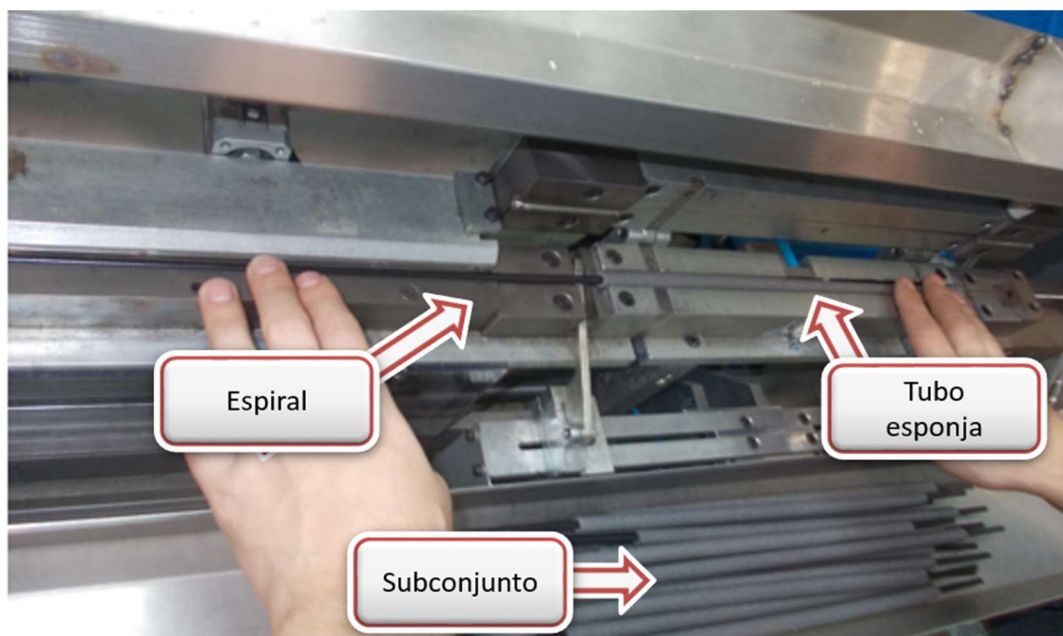


Figura 33 - Montagem de tubo esponja na espiral.

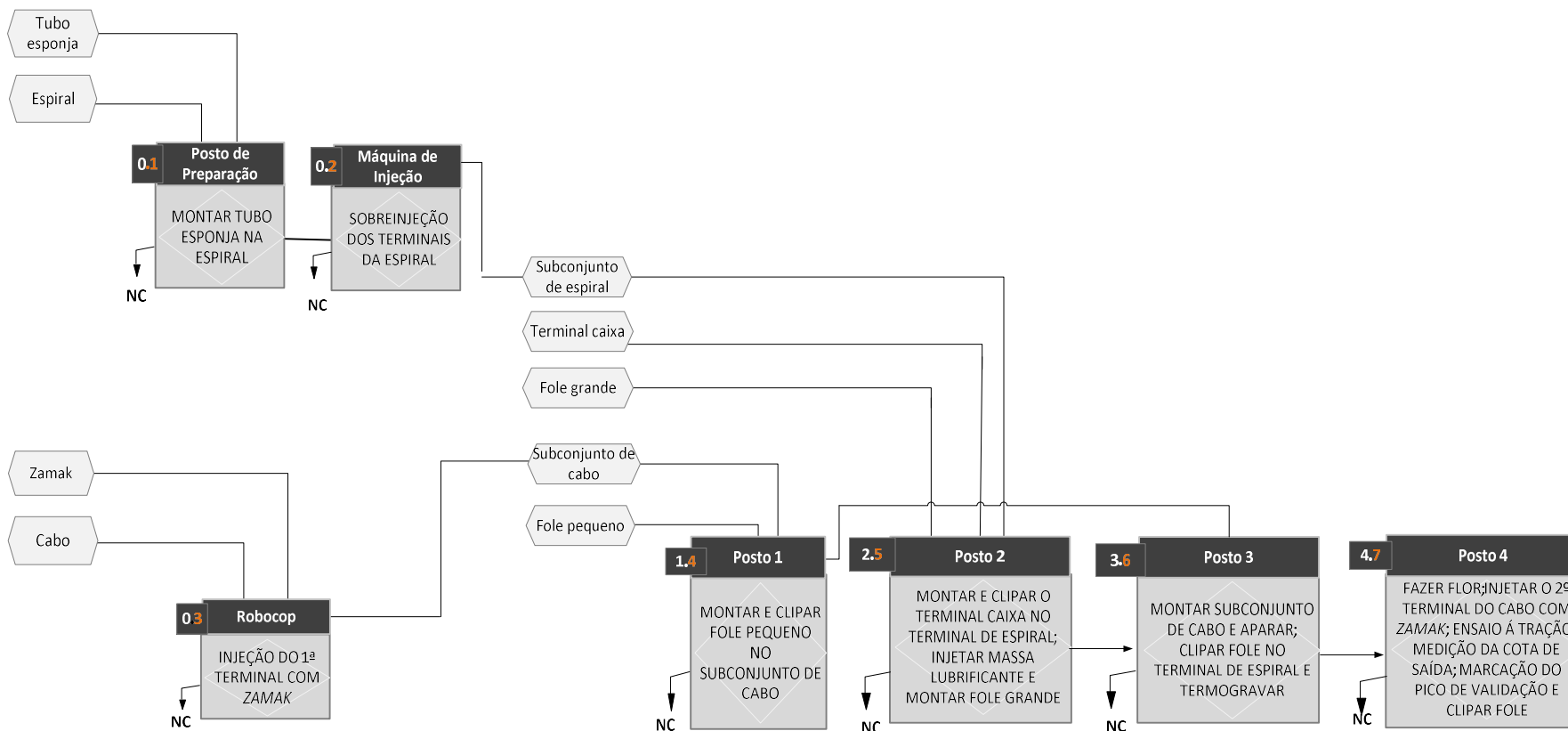


Figura 34 - Fluxograma das operações do cabo MQB1.

3.3.1.3.2 Posto de injeção plástica

O subconjunto (espiral com tubo esponja) proveniente do posto de preparação é colocado no molde da máquina de injeção para efetuar a sobreinjeção dos dois terminais da espiral, conforme mostra a Figura 35.

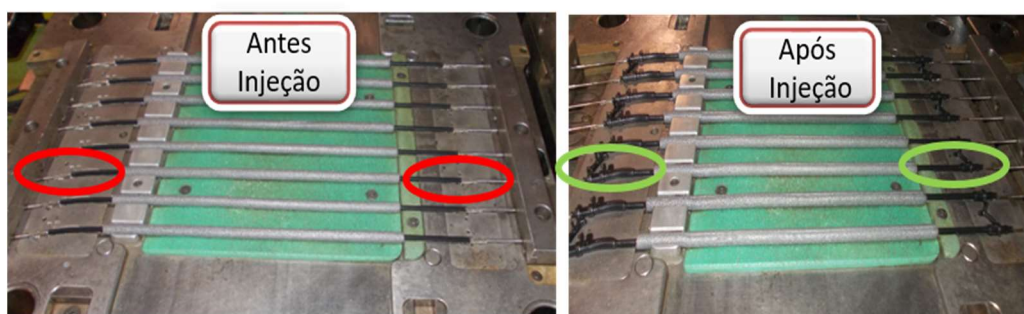


Figura 35 - Sobreinjeção dos terminais da espiral.

3.3.1.3.3 Robocop

No *robocop*, o cabo metálico que é fornecido em rolos, é cortado e injetado numa das extremidades com um terminal *zamak*, como ilustra a Figura 36. O subconjunto de cabo resultante desta operação, segue para a linha de montagem.

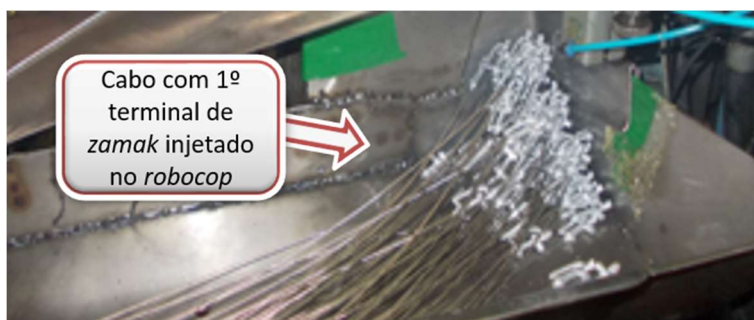







Figura 36 - Injeção do primeiro terminal do cabo com *zamak*.

3.3.1.3.4 Linha de Montagem

3.3.1.3.4.1 Componentes consumidos na linha de montagem

Na linha de montagem são consumidos os subconjuntos provenientes dos postos de trabalho anteriormente apresentados e componentes de compra, conforme apresentado na Tabela 9.

.Tabela 9 - Componentes abastecidos à linha de montagem.

Posto de trabalho	Componente abastecido	Imagem do componente
PT1	Subconjunto de cabo	
	Fole pequeno	
	Subconjunto de espiral	
PT2	Terminal-caixa	
	Fole grande	
	Massa lubrificante	
PT4	Barra de zamak	

3.3.1.3.4.2 Abastecimento dos componentes

O abastecedor coloca as embalagens dos componentes no *rack* junto à linha, e a partir deste, os operadores abastecem os seus postos. A transferência dos componentes do *rack* para a linha é efetuada de duas formas, conforme elucida a Figura 37:

- O subconjunto de cabo e o subconjunto de espiral, na caixa em que foram abastecidos ao *rack*;
- Os foles e o terminal-caixa são transferidos para caixas mais pequenas, usadas na linha de montagem.

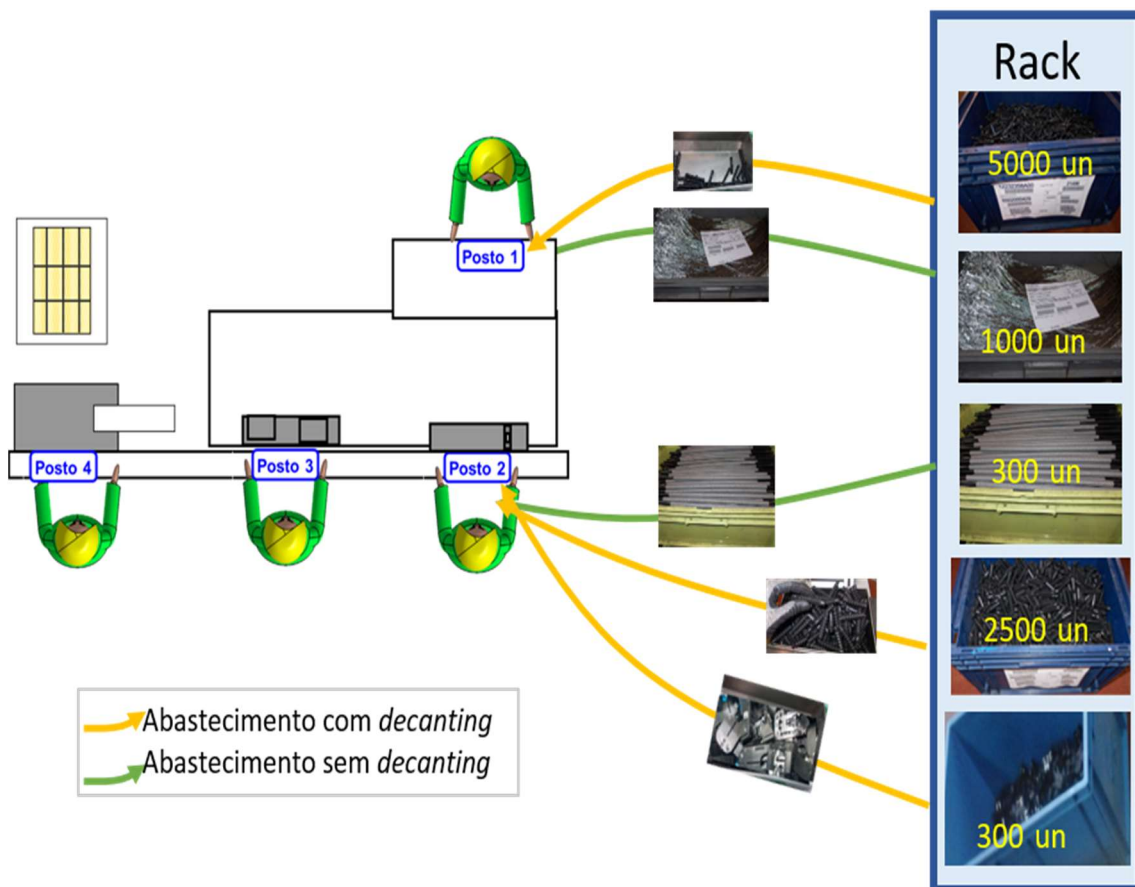


Figura 37 - Processo de abastecimento dos componentes à linha.

Esta diferença de funcionamento prende-se com as condições existentes na linha para acondicionar os componentes, as quais são condicionadas pelo espaço e pela necessidade de facilitar o alcance dos componentes durante a operação de montagem.

3.3.1.3.4.3 Operações

POSTO 1

No fluxograma da Figura 38, realçam-se as operações realizadas no posto 1.

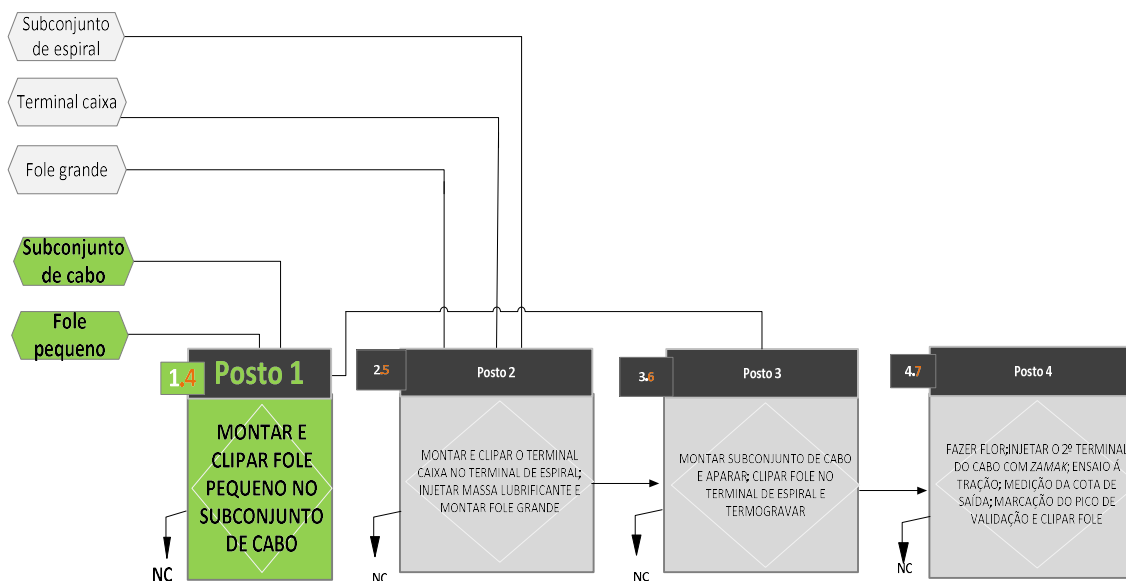


Figura 38 - Fluxograma das operações da linha com destaque do posto 1.

O fole pequeno é introduzido manualmente no cabo metálico e clipado no terminal de *zamak*. Para efetuar a clipagem, o operador exerce pressão sobre o fole contra o terminal, conforme mostra a Figura 39.



Figura 39 - Operação do posto 1 – Montar e clipar fole pequeno no subconjunto de cabo.

POSTO 2

No fluxograma da Figura 40, evidenciam-se as operações realizadas no posto 2.

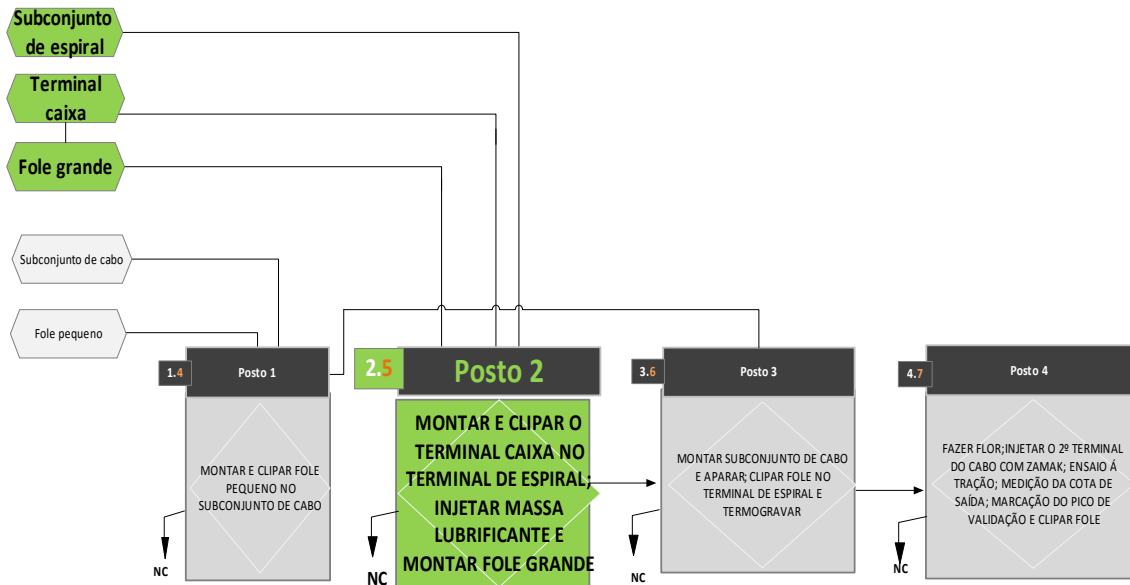


Figura 40 - Fluxograma da linha de montagem com destaque do posto 2.

O operador posiciona o terminal-caixa e o subconjunto de espiral no dispositivo. Este, após acionar a botoneira, efetua a clipagem do terminal na espiral e injeta massa lubrificante. Após realização das operações previstas, o subconjunto é extraído e o operador realiza a montagem do fole grande no terminal da espiral manualmente, conforme elucidada a Figura 41.

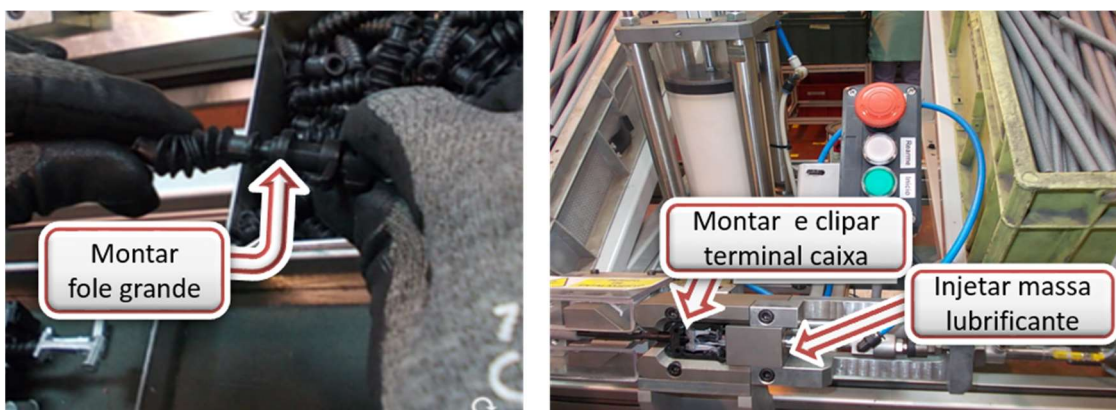


Figura 41 - Operações realizadas no posto 2 – Montar e clipar o terminal caixa no terminal de espiral, injetar massa lubrificante e montar fole grande.

POSTO 3

No posto 3 realizam-se as operações em realce no diagrama da Figura 42.

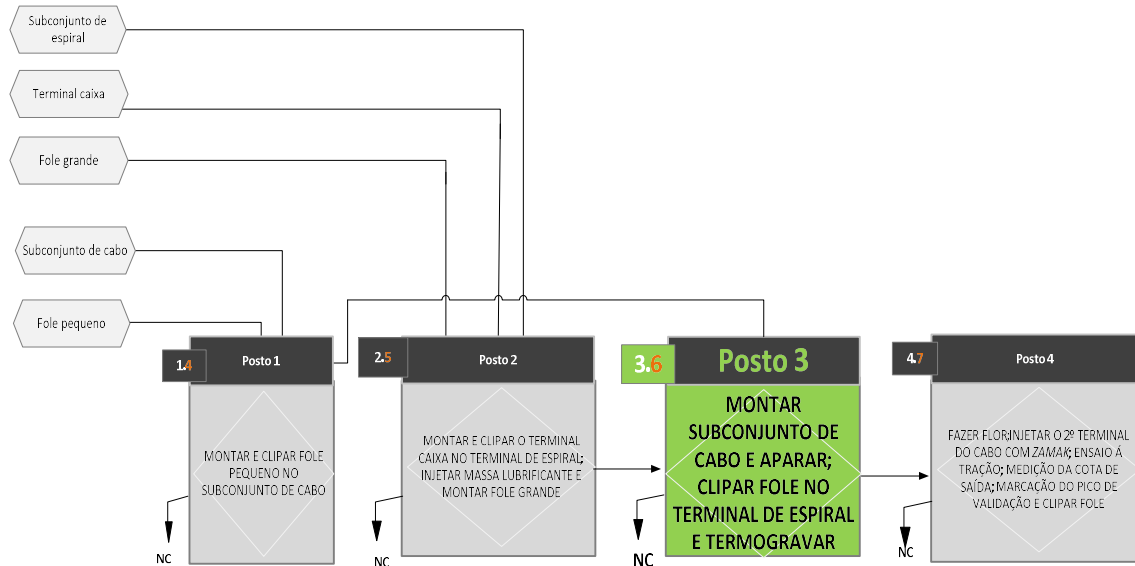


Figura 42 - Fluxograma da linha de montagem com destaque do posto 3.

O operador posiciona o subconjunto de espiral (proveniente do posto 2) no dispositivo e de seguida introduz o subconjunto do cabo com fole (proveniente do posto 1) nos roletes. O dispositivo aparar o excedente de cabo, realiza a termogravação e clipa o fole no terminal de espiral, conforme elucida a Figura 43.

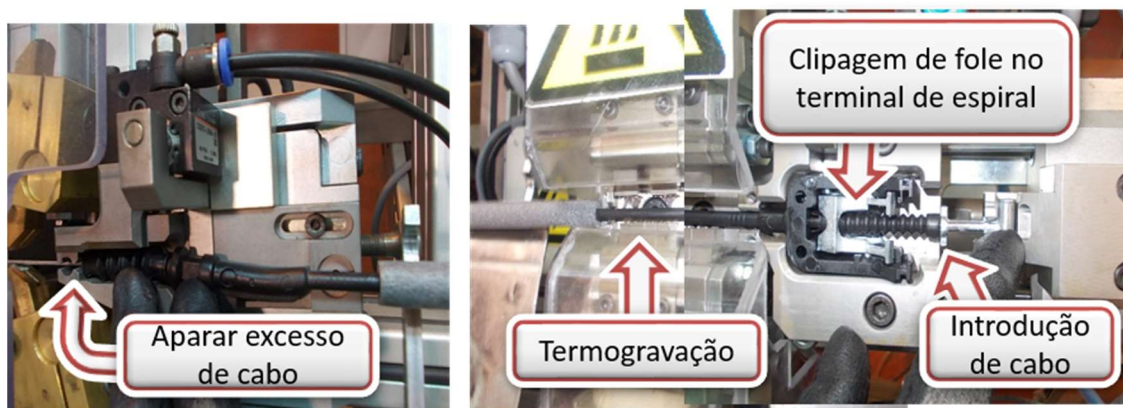


Figura 43 - Operações realizadas no posto 3 – Montar subconjunto de cabo e aparar, clipar fole no terminal de espiral e termogravar.

POSTO 4

No diagrama da Figura 44 destacam-se as operações realizadas no posto 4.

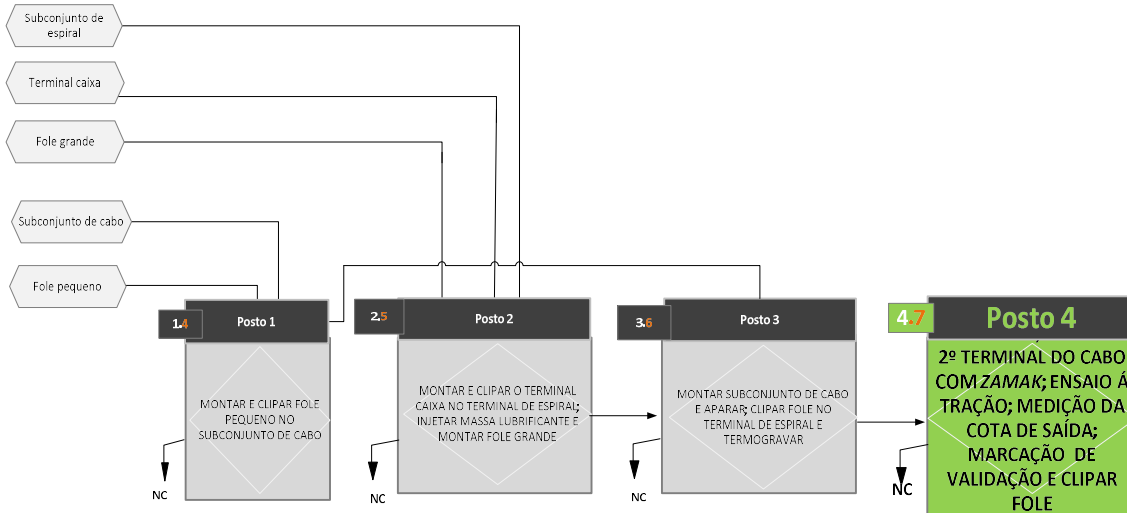


Figura 44 - Diagrama da linha de montagem com destaque do posto 4.

Conforme é visível na Figura 45, o operador recolhe o fole e intruz o cabo no dispositivo de fazer flor, posicionando seguidamente o subconjunto na máquina de *zamak* e acionando a botoneira. A máquina efetua a injeção do 2º terminal de *zamak*, clipa o fole grande no terminal de *zamak* injetado, realiza o ensaio à tração, a medição da cota de saída e efetua a marcação de validação.

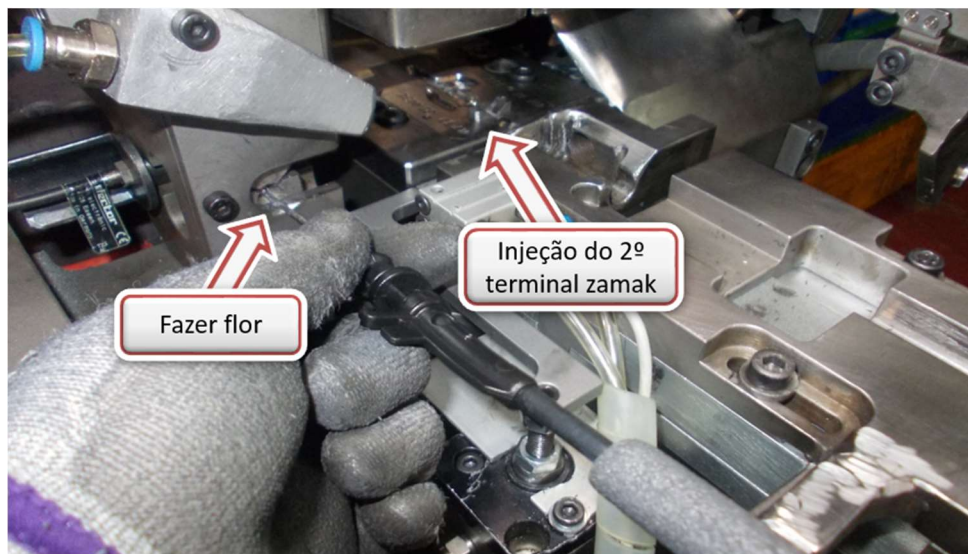


Figura 45 - Operações do posto 4 – Injeção do 2º terminal do cabo com *zamak*, ensaio à tração, medição da cota de saída, marcação da validação e clipar fole.

Após a realização das operações previstas na máquina de *zamak*, o cabo é extraído automaticamente para a bandeja, daí é recolhido pelo operador do posto 1 para retirar o gito e embalar, conforme ilustra a Figura 46, estando o processo de fabrico concluído.



Figura 46 - Operações de retirar gito e embalar.

3.3.1.4 Medição de tempos na linha MQB1

Foi efetuada a medição do tempo para cada uma das operações definidas para os postos externos e internos à linha de montagem MQB1, cujo resultado se apresenta na Tabela 10.

Tabela 10 - Tempos dos postos externos e internos à linha MQB1.

	Posto de preparação	Máquina de injeção de plástico	<i>Robocop</i>	Linha de montagem			
				Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4
Tempo (segundos /peça)	5,4	5,5	5,6	7,5	8,2	7,9	8,1

O posto de preparação, a máquina de injeção e o *robocop*, apresentam tempos inferiores ao posto-gargalo da linha e ao tempo de ciclo planeado (6,5 segundos por cabo) que resulta do produto do *takt-time* (7,2 segundos por cabo) pelo OEE (90%). Neste contexto, não se configuram problemas de abastecimento da linha e resposta ao cliente.

No que se refere à linha, concluiu-se de imediato que era necessário efetuar uma melhoria dos equipamentos, uma vez que todos os postos apresentam tempos superiores ao *takt-time* previsto para o pico dos pedidos, conforme se pode confirmar nos dados da Tabela 11.

Tabela 11 - Volumes anuais contratados e respetivo *takt-time*.

Ano	2014	2015	2016	2017	2018
Valor anual contratado (peças)	1 650 000	1 750 000	2 100 000	2 640 000	2 300 000
<i>Takt-time</i> (segundos/peça)	11,5	10,9	9,1	7,2	8,3
Tempo de ciclo planeado (segundos/peça)	10,3	9,8	8,2	6,5	7,5

Os tempos apresentados na Tabela 10 correspondem apenas às operações cíclicas realizadas em cada posto de trabalho. No entanto, são necessárias outras operações, nomeadamente: remoção de gito, embalagem, abastecimento dos componentes, preenchimento do quadro de produção e controlos de qualidade. Estas operações sem valor acrescentado têm um impacto significativo no *output* da linha, e neste caso, em que o valor de produção real não ultrapassa as 350 peças por hora, representam uma perda de capacidade de 20,3%, uma vez que a produção prevista, atendendo ao posto-gargalo e considerando apenas o tempo da operação cíclica, é de 439 peças por hora.

Para atingir o objetivo, as melhorias dos equipamentos teriam que permitir, no mínimo, uma diminuição do tempo de ciclo para o valor planeado (6,5 segundos por cabo) e as operações sem valor acrescentado teriam que ser reduzidas ao mínimo indispensável e distribuídas pelos postos com menor tempo de ocupação. Neste sentido, a primeira fase da intervenção incide sobre melhorias nos equipamentos, mas tendo sempre presente que as alterações efetuadas não podem adicionar, pelo contrário, terão que eliminar/reduzir as operações sem valor acrescentado. Contudo, operações de valor não acrescentado que não estão diretamente relacionadas com as melhorias irão persistir, pelo que, numa segunda fase serão intervencionadas, de forma a reduzi-las ao mínimo indispensável ao processo atualizado.

3.3.1.5 Diagrama VSM do estado atual da linha MQB1

O estado atual da linha é apresentado no diagrama VSM da Figura 47.

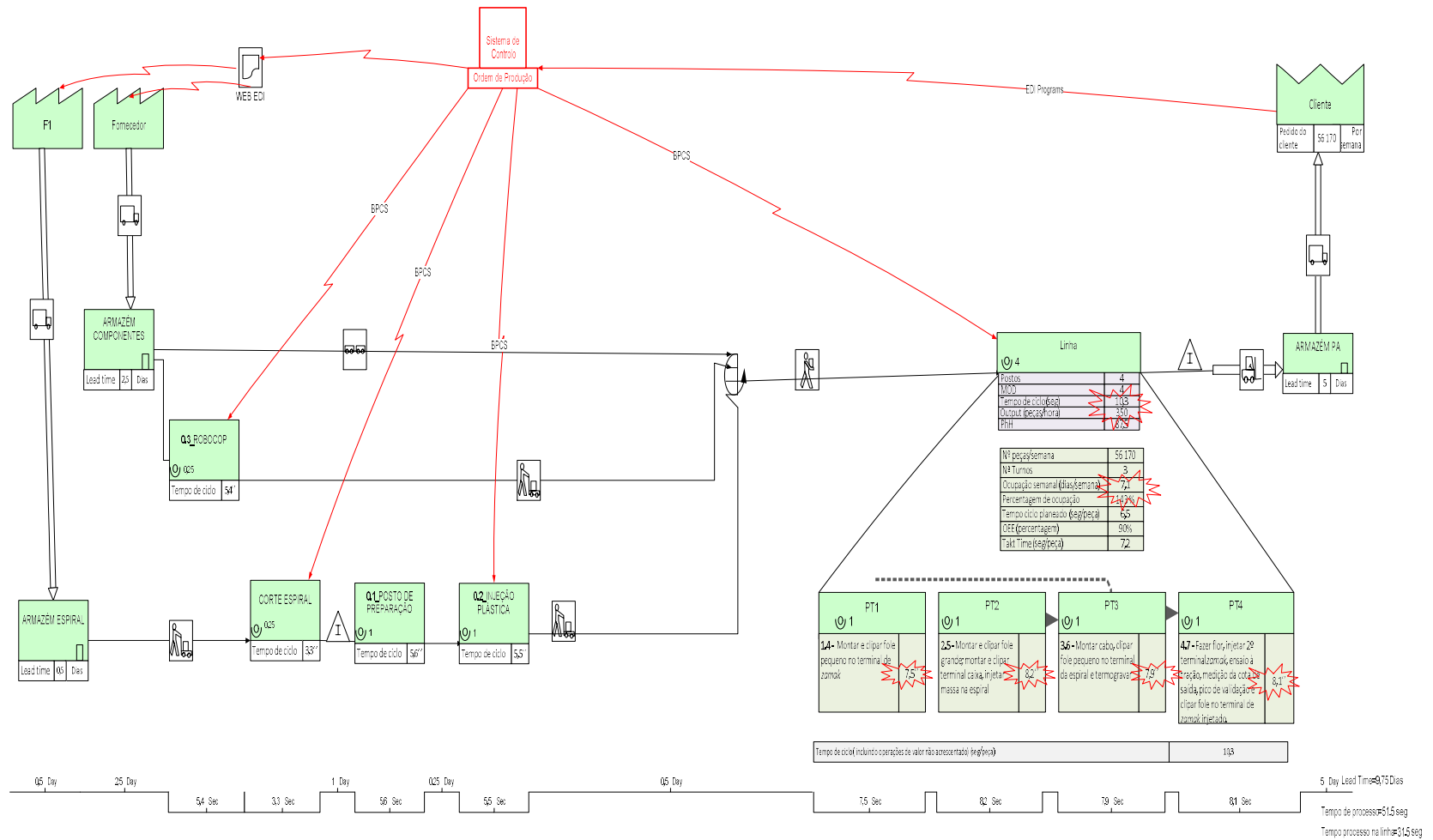


Figura 47 - VSM do estado atual do projeto MQB1.

3.3.1.6 Melhorias identificadas como passíveis de ser aplicadas à linha MQB1

Dada a discrepância entre o *takt-time* e o tempo de ocupação dos postos de trabalho da linha, conforme referido anteriormente, as melhorias a aplicar, numa primeira fase direccionaram-se para a realização de ações de melhoria nos equipamentos.

Posto 1

Conceção de um dispositivo para introduzir o fole pequeno no subconjunto do cabo metálico e clipar no terminal *zamak*. Esta operação deixará de ser realizada manualmente, passando a ser realizada em modo semiautomático.

Posto 2

Conceção de uma máquina para injetar massa no cabo e clipar o terminal-caixa em automático.

Posto 3

Remoção da operação de aparar cabo. Este passará a ser fornecido à linha com o comprimento exigido pelo produto acabado. Esta alteração na linha obriga a intervir no *robocop*.

Robocop

Munir o *robocop* de um sistema que lhe confira capacidade para garantir o corte de cabo com o comprimento exigido ao produto final ($535 \pm 1,7$ mm). Como resultado desta ação, podemos considerar a economia inerente ao desperdício de cabo e menos uma operação na linha de montagem.

Posto 4

Integrar um dispositivo para cortar o gito na máquina de *zamak* e melhorar a extração do cabo.

A melhoria proposta para o posto 3 só será viável se o cabo cortado no *robocop* e a espiral sobreinjectada apresentarem comprimentos com variações dentro dos limites que permitirão ao produto final cumprir com o especificado, ou seja, garantir que a cota de saída apresente o valor ($59 \pm 0,5$ mm).

Uma vez que, a cota de saída corresponde ao comprimento de cabo metálico livre de espiral, conforme elucida a Figura 48, é fácil concluir que a cota de saída tanto é afetada pela variação do comprimento da espiral como pelo comprimento do cabo.

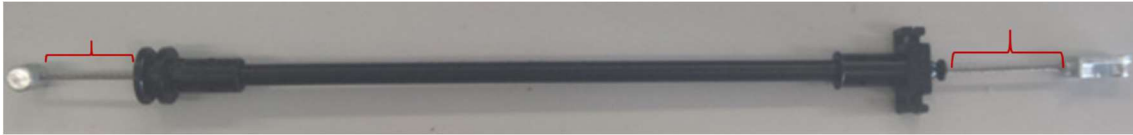


Figura 48 - Cota de saída.

Por forma a atestar o cumprimento deste requisito, foi realizada a avaliação da capacidade do processo, no que se refere ao comprimento do cabo cortado com o 1º terminal *zamak* injetado e do subconjunto da espiral com os dois terminais já injetados, cujos resultados se apresentam na Tabela 12.

Para o cálculo da C_p (capacidade do processo) e C_{pk} (índice de capacidade do processo) foram recolhidas 125 amostras e realizada a medição do seu comprimento. Os LSE (limite superior especificado) e LIE (limite inferior especificado) são definidos com base no valor nominal, afetado da tolerância admissível para que os produtos resultantes se encontrem dentro da especificação.

Tabela 12 - Resultados da avaliação da capacidade do processo.

	Especificação			Medição			
	Nominal (mm)	LSE (mm)	LIE (mm)	Média (mm)	Desvio (mm)	C_p	C_{pk}
Cabo	535,0	536,7	533,3	535,0	0,42	1,36	1,37
Espiral	470,6	471,6	469,6	470,7	0,08	3,99	3,60

Quanto maior o valor de C_p e C_{pk} , menor é a probabilidade de o comprimento estar fora das especificações, sendo que para valores iguais ou superiores a 1,33 o processo já é considerado capaz.

A necessidade de garantir o comprimento da espiral é superior à necessidade de garantir o comprimento do cabo. A variação no comprimento da espiral tem impacto direto, enquanto a variação do comprimento do cabo tem a hipótese de, em parte, ser absorvida na injeção do 2º terminal de *zamak*.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 12, é possível atestar a capacidade do processo, uma vez que o valor de C_{pk} é superior a 1,33 conforme requerido.

3.3.1.7 Implementação das melhorias na linha MQB1

Posto 1

No posto 1, foi implementado o dispositivo que realiza a operação em semiautomático. Agora, o operador é responsável por posicionar o fole pequeno no dispositivo, apontar o subconjunto de cabo até atingir os roletes e pressionar o botão. O dispositivo introduz o subconjunto de cabo no fole e encaminha-o para o tubo de recolha, conforme mostra a Figura 49.

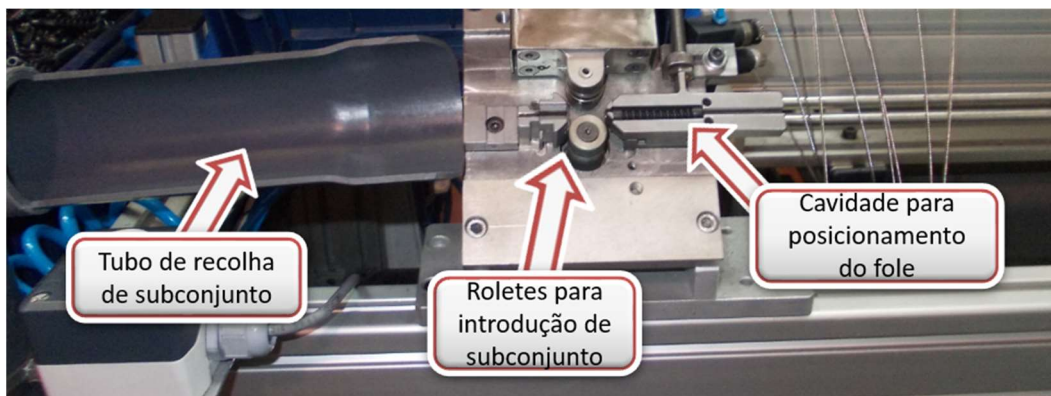


Figura 49 - Dispositivo de montar e clipar o fole pequeno.

A passagem do subconjunto do posto 1 para o posto 3 passou a ser realizada através da calha colocada para o efeito (Figura 50). Com isto, eliminou-se o desperdício associado à operação de transporte que era realizado pela operador do posto 1, operação que não acrescentava valor ao produto.

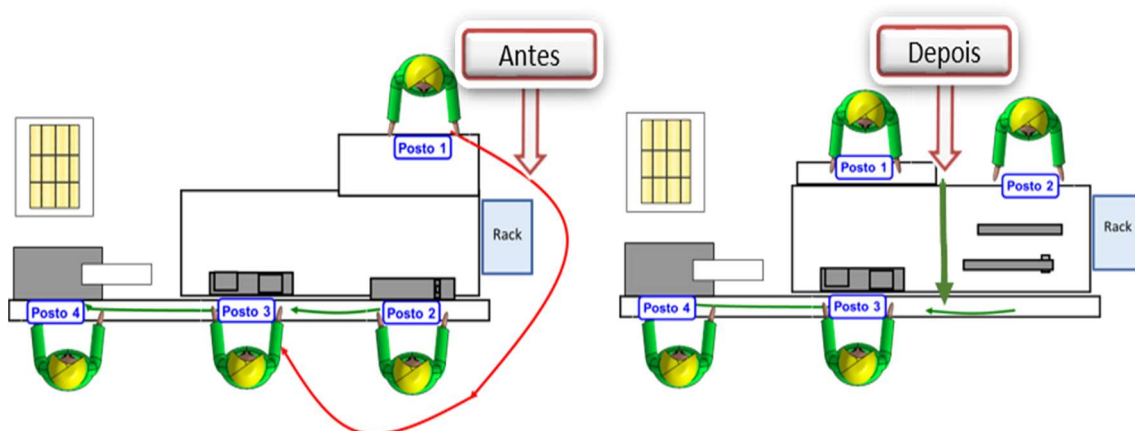


Figura 50 - Passagem do subconjunto de cabo metálico do posto 1 para o posto 3.

Posto 2

O equipamento instalado no posto 2 permite a injeção de massa lubrificante e clipagem do terminal caixa na espiral em automático, enquanto o operador se ocupa da montagem do fole grande e abastecimento do terminal-caixa e do subconjunto, conforme ilustra a Figura 51.

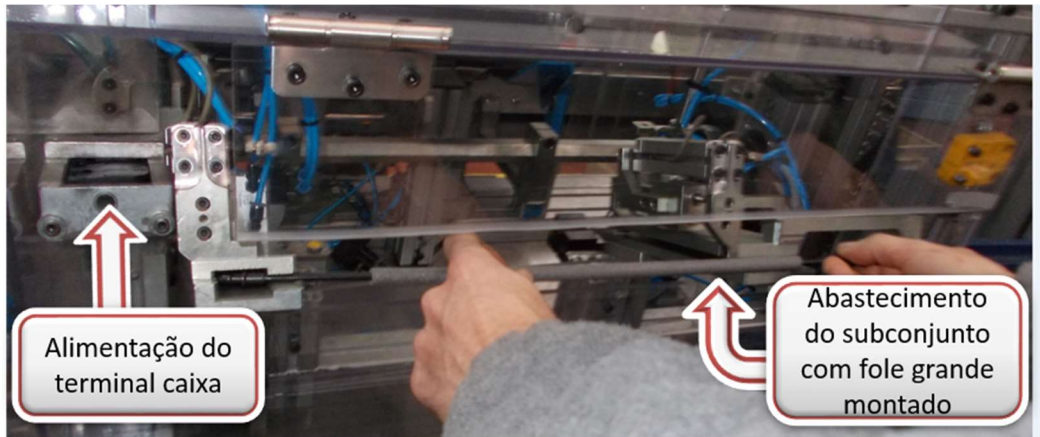


Figura 51 - Abastecimento da máquina instalada no posto 2.

Conforme é visível na Figura 52, o subconjunto abastecido à máquina pára numa primeira estação, onde é realizada a injeção de massa lubrificante. Com auxílio do manipulador rotativo passa à segunda estação, onde é montado e clipado o terminal caixa. Após a realização das operações descritas, o subconjunto é extraído para o tapete e segue para o posto 3.

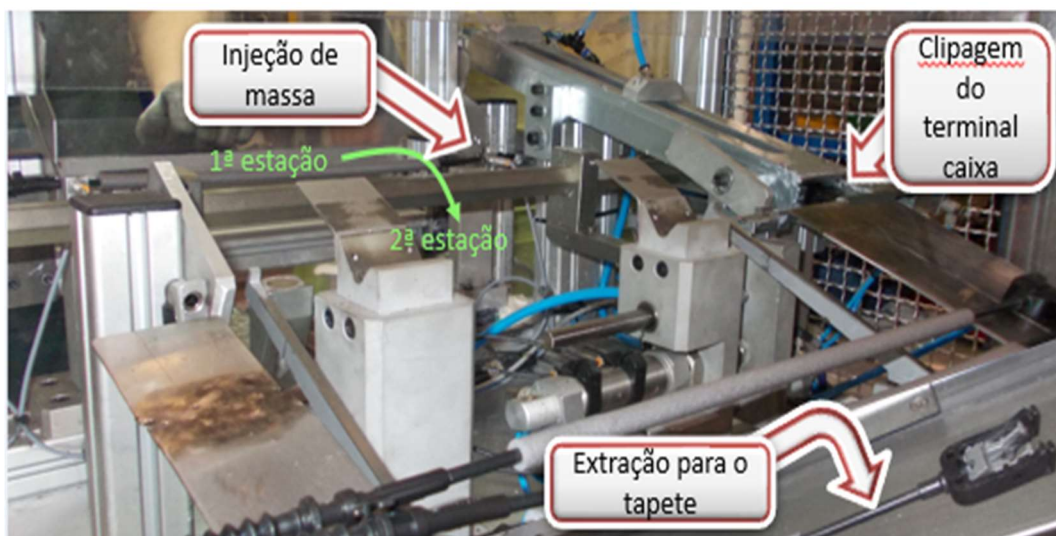


Figura 52 - Operações realizadas na máquina do posto 2.

Ao contrário do que acontecia no processo anterior, em que o operador aguardava que o dispositivo efetuasse a operação para depois posicionar o subconjunto do cabo e o terminal-caixa, com esta máquina, o abastecimento é efetuado em paralelo com a realização das operações. A redução obtida no tempo de ocupação deste posto deve-se essencialmente a esta “independência” do sistema homem/máquina.

Posto 3

Este posto deixou de realizar a operação de aparar o cabo metálico, uma vez que o corte na medida final passou a ser garantido no *robocop*. Na sequência da remoção desta operação, foi possível alterar a cavidade de posicionamento da extremidade com fole grande, imprimindo maior facilidade na realização desta tarefa, conforme é visível na Figura 53.



Figura 53 - Cavidade de alojamento do terminal com fole grande.

Robocop

No *Robocop* foi aplicado um tensor de cabo (Figura 54) com a finalidade de colocar o cabo sob tensão para efetuar o corte. A introdução deste dispositivo permite garantir que o comprimento do subconjunto de cabo cumpre com a especificação no que se refere ao seu comprimento.

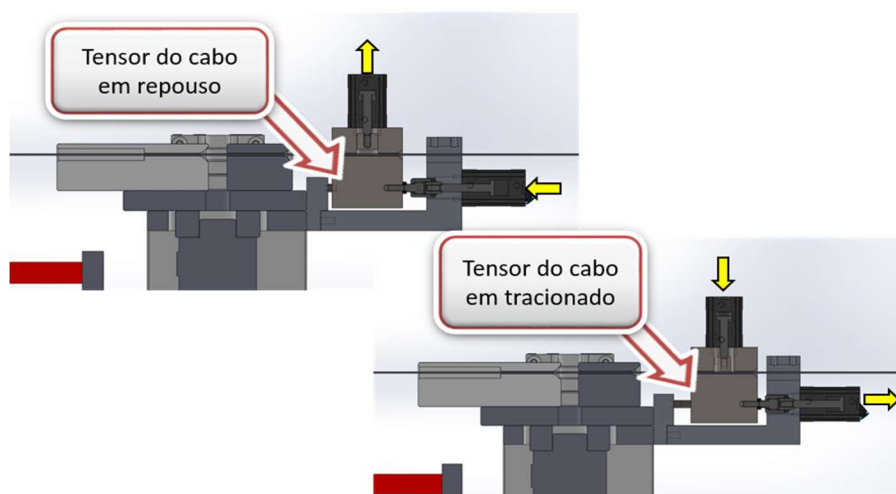


Figura 54 - Tensor de cabo aplicado no *robocop*.

Posto 4

Para que a remoção do gito deixasse de ser efetuada manualmente, foi acoplado à máquina de *zamak* um dispositivo corta-gito, conforme mostra a Figura 55.

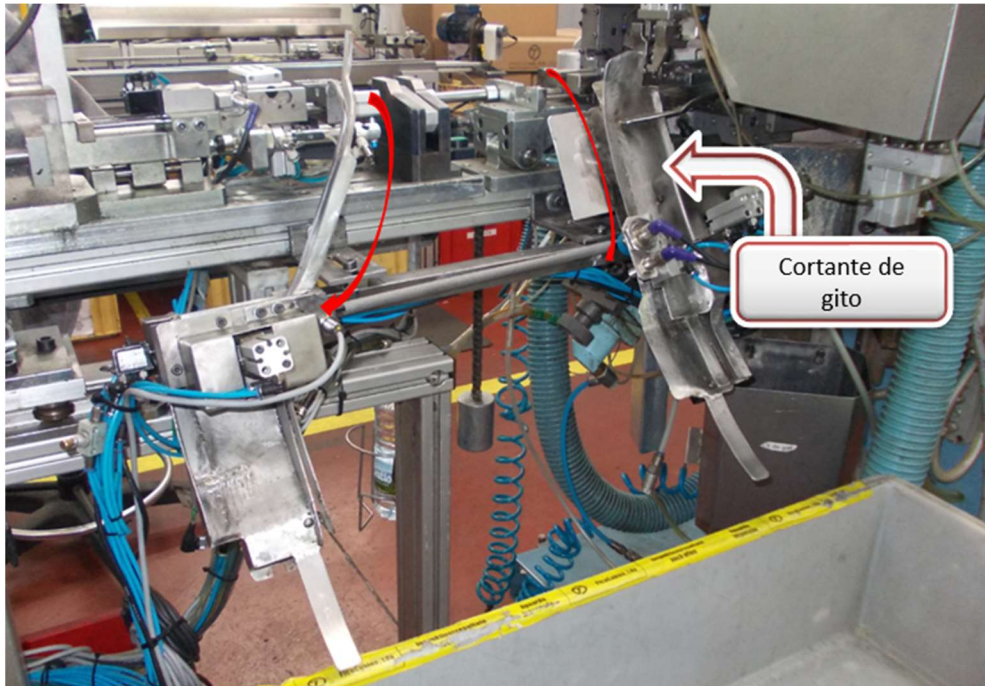


Figura 55 - Cortante de gito acoplado à máquina de *zamak*.

O cabo é extraído pela máquina de *zamak* para as guias do dispositivo que o conduz até ao cortante. Após efetuar o corte do gito, os sensores ordenam a abertura dos pernos que trancaram a passagem do cabo e este cai para a caixa, a partir da qual é colocado na embalagem final. O extrator central existente apresentava problemas no deslizamento do cabo, o que obrigava o operador a auxiliar na extração. Para resolver o problema, alterou-se a configuração do extrator, conforme ilustra a Figura 56.



Figura 56 - Alteração da configuração do extrator.

3.3.1.8 Medição de tempos por tarefa na linha MQB1

Após a realização das melhorias apresentadas no ponto anterior, foi efetuada nova medição de tempos. Nesta fase, sempre que possível, as operações foram subdivididas em elementos e avaliadas todas as tarefas realizadas pelos operadores, designadamente: *decantings*, controlo da qualidade, controlo de produção e abastecimentos, tarefas que não acrescentam valor ao produto, mas têm impacto na quantidade de peças produzidas por hora na linha.

Na Tabela 13, Tabela 14, Tabela 15 e Tabela 16 constam os tempos de ocupação do posto 1, 2, 3 e 4, respetivamente.

A coluna onde consta a sequência/descrição das tarefas foi incluída nas tabelas com o intuito de associar o tempo despendido às tarefas executadas pelo operador para concretizar as operações previstas no seu posto de trabalho.

O tempo-máquina é apresentado com o propósito de avaliar se ocorrem esperas do operador pela máquina ou vice-versa. Assim, se o tempo máquina for inferior ao necessário para o operador executar as tarefas que lhe estão atribuídas, o operador nunca espera pela máquina, caso contrário, espera. Na segunda hipótese, caso o tempo-máquina não esteja otimizado, é considerado um ponto crítico com hipótese de melhorias. No entanto, existem situações em que esta análise não é linear, porque ambos esperam em momentos diferentes, como no caso do posto 4. Este será analisado com maior detalhe, pois apesar do tempo-máquina ser inferior ao tempo-homem, o homem espera pela máquina.

Os tempos despendidos em operações que não acrescentam valor ao produto final estão assinalados a vermelho. Estas operações serão alvo de análise, no sentido de, no estado futuro serem eliminadas ou reduzidas ao mínimo possível.

Tabela 13 - Descrição das tarefas e respetivos tempos no posto 1 da linha MQB1.








Posto 1		
Operação	Sequência/descrição das tarefas	Tempo (s/un)
1.4 - Montar e clipar fole pequeno no terminal de zamak	1. Pegar no fole pequeno e posicionar no dispositivo	
	2. Pegar no subconjunto do cabo e apontar nos roletes	5,4
	3. Acciona a botoneira ^[1]	
	^[1] Máquina: Introduz subconjunto do cabo no fole	1,3
1.4.1. - Passagem de posto	○ Após realizar aproximadamente dez subconjuntos, retirar do tubo de recolha e colocar na calha que os conduz ao posto 3	 0,3
1.4.2. - Embalar	○ Colocar cabos na caixa ○ Abrir e fechar embalagem ○ Colar etiqueta na caixa	0,6
1.4.3. - Controlo de qualidade	○ Verificar subconjunto de cabo	 0,7
1.4.4. - Decantings	○ Fole pequeno	 0,2
	○ Subconjunto do cabo	 0,1
1.4.5. – Abastecimento interno	○ Subconjunto do cabo	 0,1
1.4.6. - Transporte	○ Caixa do subconjunto do cabo: do <i>rack</i> para a linha e a caixa vazia da linha para o depósito das caixas vazias	 0,1
	○ Caixa de fole pequeno: do <i>rack</i> para o depósito das caixas vazias	 0,2
Tempo de ciclo (TC)		8,3
Tempo de ocupação (TO)		7,6
Tempo de valor acrescentado (TVA)		6,0

Tabela 14 - Descrição das tarefas e respetivos tempos no posto 2 da linha MQB1







Posto 2			
Operação	Sequência/descrição das tarefas	Tempo (s/un)	
2.5 - Montar e clipar fole grande; montar e clipar terminal-caixa, injetar massa na espiral	 <ol style="list-style-type: none"> 1. Pegar num terminal caixa e introduzir no alimentador 2. Pegar subconjunto espiral (mão esquerda) e fole grande (mão direita) 3. Montar e clipar fole no subconjunto 4. Posicionar subconjunto no alimentador da máquina ^[1] 	5,5	
	^[1] Máquina: Injeta massa, monta e clipa o terminal caixa e extrai subconjunto para o tapete, que o conduz ao posto 3		3,6
	2.5.1 - Controlo de qualidade	<ul style="list-style-type: none"> ○ Verificar subconjunto de espiral 	 0,5
	2.5.2 - Decantings	<ul style="list-style-type: none"> ○ Foles grandes ○ Terminal-caixa 	 0,2  0,3
2.5.3 - Abastecimento interno	<ul style="list-style-type: none"> ○ Subconjunto da espiral 	 0,1	
2.5.4 - Transporte	<ul style="list-style-type: none"> ○ Caixas do subconjunto da espiral e terminal-caixa: do <i>rack</i> para o suporte de abastecimento à linha (caixa cheia) e do suporte para o depósito das caixas vazias. ○ Caixa de foles grandes: do <i>rack</i> para o depósito das caixas vazias 	 0,2	
Tempo ciclo (TC)		8,3	
Tempo de ocupação (TO)		6,8	
Tempo de valor acrescentado (TVA)		5,5	

Tabela 15 - Descrição das tarefas e respectivos tempos no posto 3 da linha MQB1.

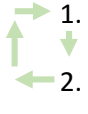



Posto 3		
Operação	Sequência/descrição das tarefas	Tempo (s/un)
3.6 - Montar cabo, clipar fole pequeno no terminal da espiral e termogravar	 1. Posicionar subconjunto no dispositivo 2. Aponta o subconjunto do cabo no dispositivo ^[1]	5,5
	^[1] Máquina: introduz cabo, clipa o fole pequeno no terminal da espiral e termograva	1,3
	○ Transferir o subconjunto do cabo proveniente do posto 1 da calha para o tubo	0,3
Tempo ciclo (TC)		8,3
Tempo de ocupação (TO)		5,8
Tempo de valor acrescentado (TVA)		5,5

Tabela 16 - Descrição das tarefas e respetivos tempos no posto da linha MQB1.

Posto 4		
Operação	Sequência/descrição das tarefas	Tempo (s/un)
4.7 - Fazer flor, injetar 2º terminal zamak, ensaio à tração, medição da cota de saída, realizar marca de validação e clipar fole no terminal de zamak injetado.	1. Pegar subconjunto do tapete	
	2. Comprimir fole	
	3. Introduzir a extremidade do cabo no dispositivo de fazer flor	3,0
	4. Retirar a extremidade do cabo do dispositivo de fazer flor	
	5. Esperar pela máquina	 1,0
	6. Posicionar subconjunto no gabarit da máquina zamak	3,0
	7. Pressionar botoneira ^[1]	0,6
	^[1] Máquina: Injeta 2º terminal zamak, clipa fole no terminal zamak, realiza ensaio à tração, efetua medição da cota de saída, realiza marca de validação e faz a extração.	5,3
4.7.1 - Controlo de qualidade	Medição da cota de saída (hora a hora)	 0,5
4.7.2 - Controlo produção	Preencher quadro de produção (hora a hora)	 0,2
Tempo ciclo (TC)		8,3
Tempo de ocupação (TO)		8,3
Tempo de valor acrescentado (TVA)		6,6

Conforme referido anteriormente, neste posto de trabalho a máquina espera pelo homem, mas o homem, a dado momento, também espera pela máquina. Por forma a clarificar o exposto, na Figura 57 apresenta-se o diagrama Homem-Máquina.

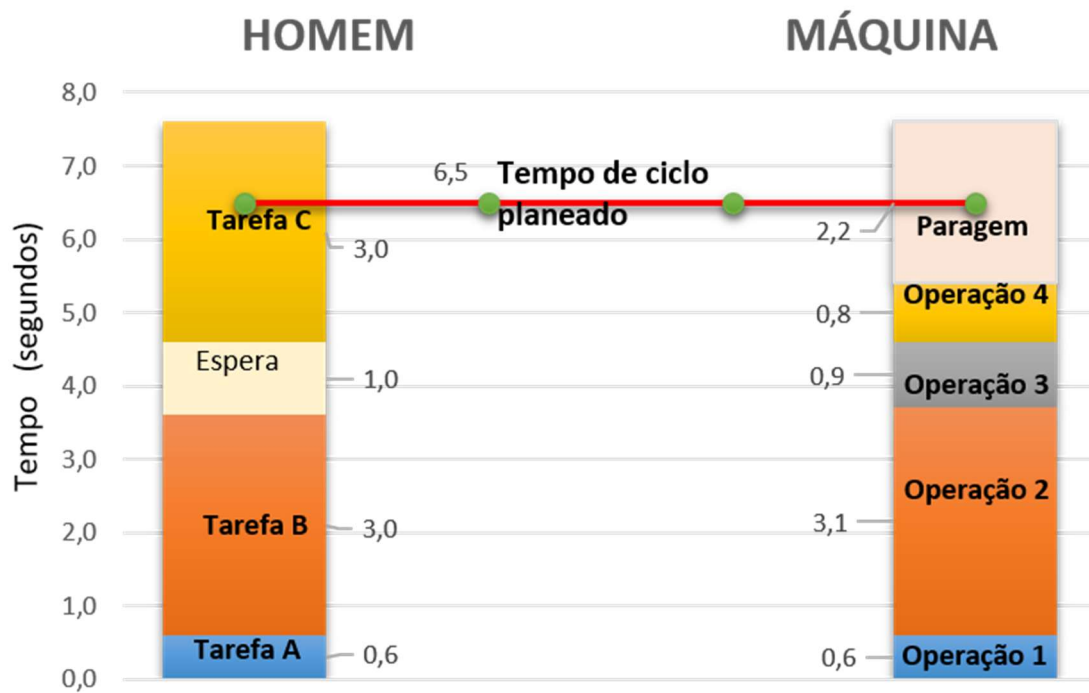


Figura 57 - Diagrama Homem-Máquina.

LEGENDA:

Tarefa A_Premir botoneira

Tarefa B_ Fazer flor

Tarefa C_Posicionar subconjunto

Operação 1_Fechar o molde

Operação 2_Injetar; Ensaiar;

Posicionar *transfer* para extrair cabo

Operação 3_Clipar fole

Operação 4_Extrair cabo

Na Tabela 17 encontra-se o resumo dos tempos medidos na linha MQB1. A primeira linha da tabela contém o tempo correspondente às tarefas cíclicas (nas tabelas anteriores, circunscrito por setas), e que necessariamente só podem ser realizadas pelo operador do próprio posto.

Tabela 17 - Tempos da linha MQB1.

Operação/Tarefas	Tempo (segundos)			
	Posto 1	Posto 2	Posto3	Posto 4
Tarefas cíclicas	5,4	5,5	5,5	7,6
Abastecimento interno	0,1	0,1	...	...
Embalagem	0,6	...	...	...
Transporte	0,2	0,2	...	...
Passagem de posto	0,3	...	0,3	...
<i>Decantings</i>	0,3	0,5	...	...
Controlo de Qualidade	0,7	0,5	...	0,5
Controlo de Produção	...	...	...	0,2
Tempo Ocupação	7,6	6,8	5,8	8,3*
Tempo de valor acrescentado	6,0	5,5	5,5	7,6
Equilíbrio	85,8%			

*Posto gargalo

Após as melhorias nos equipamentos, verifica-se que no posto 1, 2 e 3 o objetivo de reduzir o tempo das tarefas cíclicas abaixo de 6,5 segundos por peça foi atingido. No que se refere ao posto 4 ficou aquém do pretendido, pelo que na fase seguinte será objeto de acompanhamento.

Com a avaliação de todas as tarefas sem valor acrescentado realizadas pelo operador, está agora bem patente o desperdício inerente às mesmas e a necessidade de atuar no sentido de as eliminar/reduzir, ou no mínimo, atribuí-las aos postos com menor tempo de ocupação.

3.3.1.9 Diagrama VSM do estado estado futuro 1/actual 2

O VSM da Figura 58 espelha o estado da linha após as melhorias efetuadas aos equipamentos, assim como os pontos críticos que ainda carecem de intervenção.

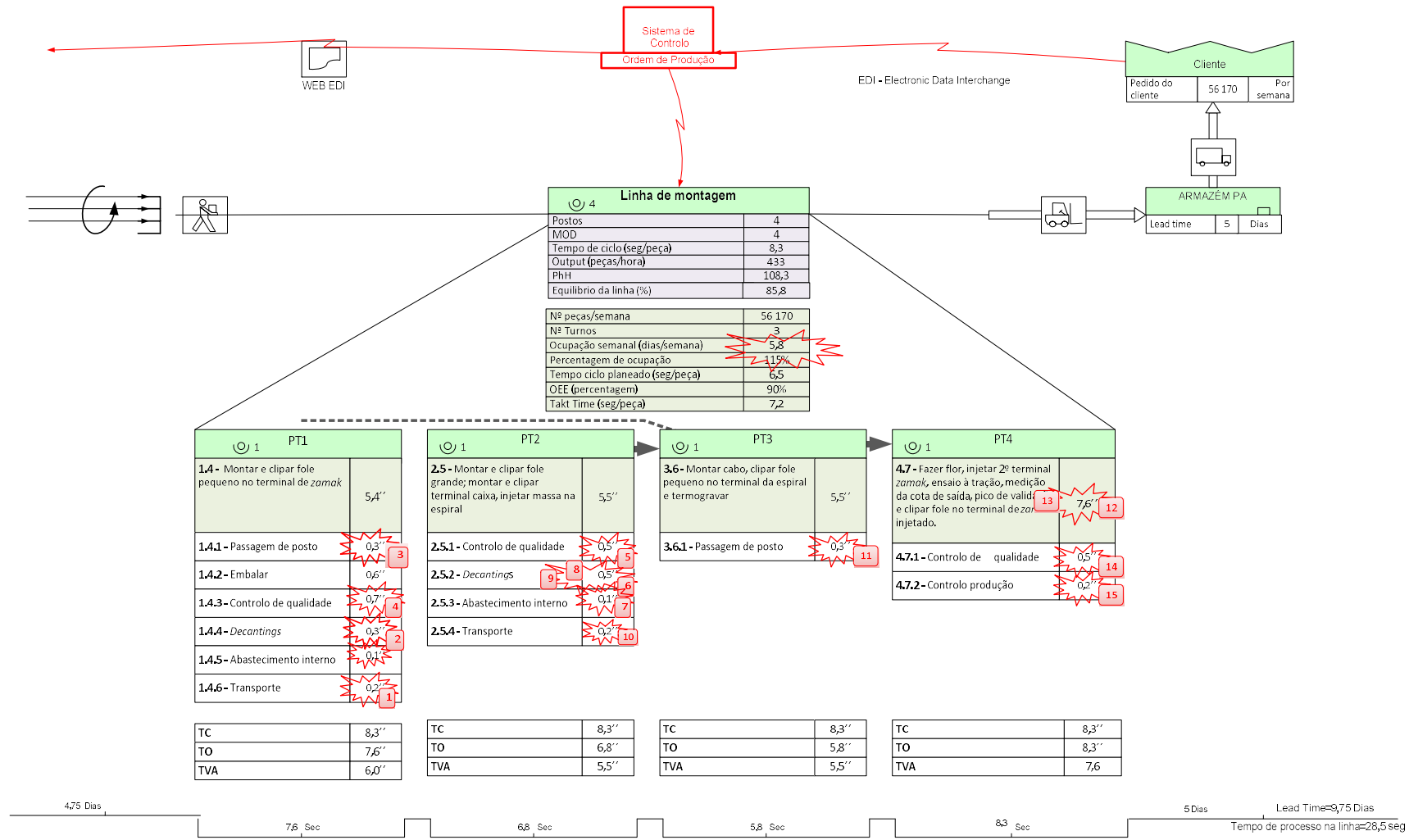










Figura 58 - VSM do estado futuro 1 / atual 2

3.3.1.10 Melhorias identificadas como passíveis de ser aplicadas

No decorrer da medição dos tempos e na sequência da análise do diagrama VSM foram identificados alguns problemas e suas causas, na sua grande parte associados a operações de valor não acrescentado. Para facilitar o seu registo e acompanhamento das ações definidas para a sua resolução, recorreu-se ao plano de ação em forma de PDCA apresentado resumidamente na Tabela 18 e na íntegra no anexo II.

Tabela 18 - Plano de ação para a linha MQB1.

PLANO DE AÇÃO				
PLANEAR				
Posto	Ponto crítico	Problema	Causa	Ação
PT1		Distância que o operador percorre para depositar as caixas vazias do subconjunto de cabo e fole pequeno	Localização do depósito das caixas vazias	Dimensionar o <i>rack</i> para comportar as caixas vazias e as caixas cheias entre passagens do abastecedor
		Necessidade de realizar <i>decantings</i> do fole pequeno	Não é possível colocar na linha a caixa do fornecedor	Criar suporte na linha para a caixa
		Cabo com dificuldade de deslizar no tubo de recolha	Desgaste do material do tubo e perfuração	Substituição do tubo existente
		Necessidade de verificar subconjunto de cabo	Eventuais rebarbas da 1ª injeção de <i>zamak</i> , cabo trilhado ou danificado	A linha só aceita material com qualidade garantida
		Necessidade de verificar subconjunto de espiral	Eventuais defeitos nos terminais sobre injetados	A linha só aceita material com qualidade garantida
	PT2		Necessidade de transferir os terminais caixa para uma caixa de menor dimensão	A dimensão da caixa do fornecedor (595 mm x 395 mm x 315 mm) não permite a sua utilização no suporte existente na da linha.	Solicitar o fornecimento em caixas de dimensão: 300 mm x 395 mm x 220 mm

		Frequentes abastecimentos do terminal-caixa	Quantidade fornecida por caixa permite autonomia reduzida	Solicitar fornecimento de maior quantidade por caixa
		Necessidade de transferir subconjunto de espiral para uma caixa de menor dimensão	Utilização de caixas com altura superior à permitida pelo suporte	Utilizar apenas caixas de dimensão: 595 mm x 395 mm x 215 mm
		Necessidade de realizar <i>decantings</i> do fole pequeno	Não é possível colocar na linha a caixa do fornecedor	Criar suporte na linha para a caixa
		Distância que o operador percorre para depositar as caixas vazias do subconjunto de cabo e fole pequeno	Localização do depósito das caixas vazias	Dimensionar o <i>rack</i> para comportar as caixas vazias e as caixas cheias entre passagens do abastecedor
		Dificuldade na extração do cabo	Extrator ineficaz	Melhorar extração
PT4		Utilização de método inadequado para posicionar o terminal-caixa no <i>gabarit</i>	Falta de pormenor na ficha de posto	Padronizar operação e ministrar formação aos operadores
		Necessidade de medir cota de saída hora a hora	Garantir afinação	Reduzir frequência de realização. Tarefa assumida pela <i>Team Leader</i>
		Necessidade de preencher quadro produção hora a hora	Necessidade de manter o controlo visual	Atribuir tarefa ao operador do posto que não seja gargalo

3.3.1.11 Diagrama VSM do estado futuro 2 da linha MQB1

Com a atuação nos pontos críticos identificados na Tabela 18, o estado futuro é o apresentado no VSM da Figura 59.

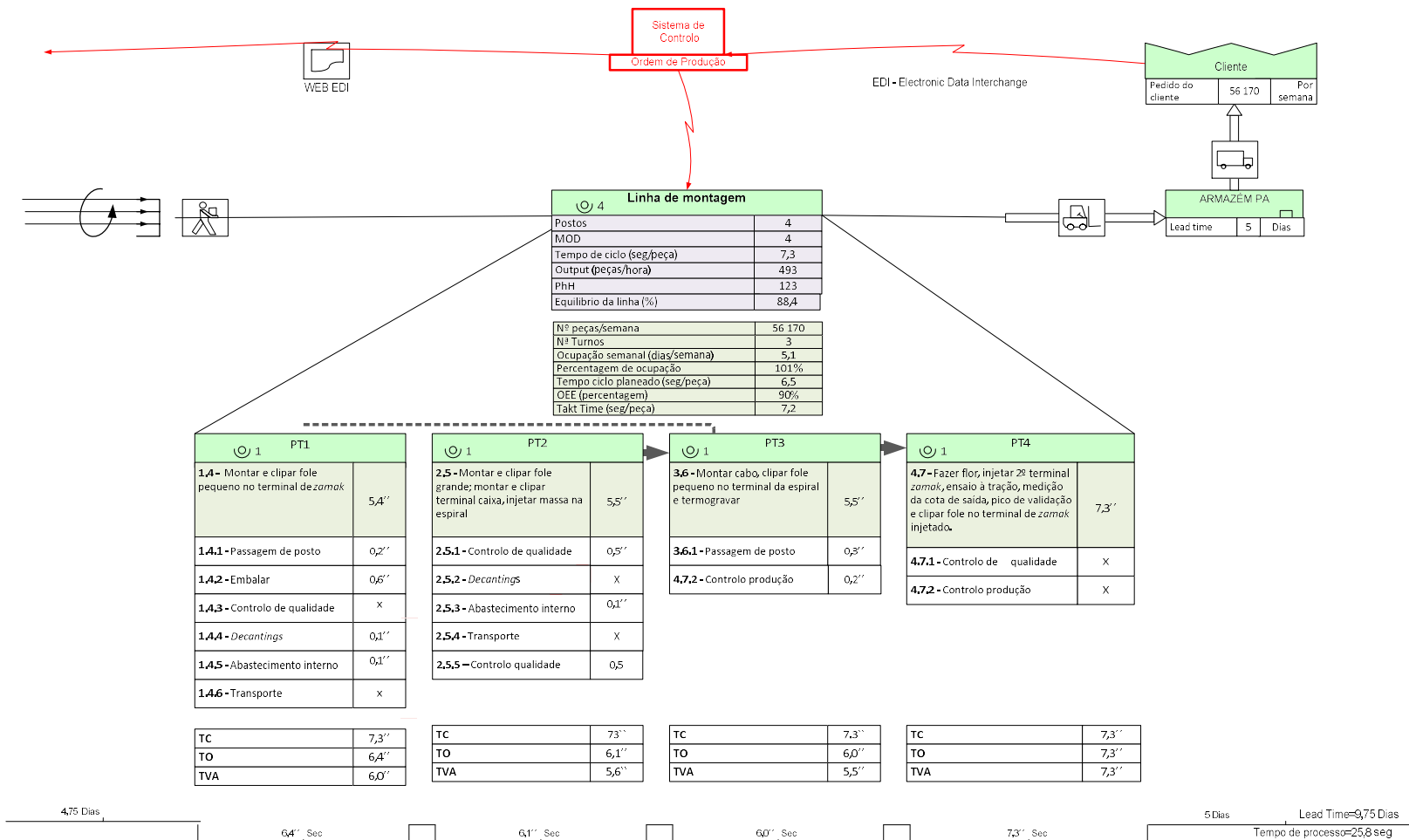


Figura 59 - VSM do estado futuro 2.

3.3.1.12 Implementação das melhorias na linha MQB1

Nesta fase, o foco de atuação foi eliminar ou fazer decrescer o tempo despendido com as operações de valor não acrescentado: *decantings*, abastecimentos, inspeções dos componentes abastecidos à linha e medições de controlo realizadas em cada hora de produção.

No posto da máquina de injeção de *zamak* foi melhorada a extração do cabo e ministrada formação aos operadores, no que se refere ao posicionamento do terminal de *zamak* no *gabarit*.

Decantings

Pontos críticos 2 e 9

No posto de trabalho um e dois, não existia local na linha para acondicionar a caixa dos foles conforme é fornecida, o que obrigava a efetuar *decanting* destes componentes para pequenos recipientes apenas à linha (Figura 60), obrigando a investir tempo em operações que não acrescentam valor ao produto.



Figura 60 - Recipientes utilizados na linha para dispensar os foles.

Para evitar os *decantings*, foram criadas condições na linha de forma a acondicionar as caixas dos componentes, conforme é visível na Figura 61.



Figura 61 - Acondicionamento da caixa dos foles no posto 1 e 2.

Pontos críticos 6 e 8

As caixas azuis utilizadas no fornecimento do terminal-caixa possuíam dimensão superior à permitida para acomodação direta na linha (595 mm x 395 mm x 315 mm), pelo que foi solicitado ao fornecedor a troca por caixas de dimensão 300 mm x 395 mm x 220 mm (cor creme).

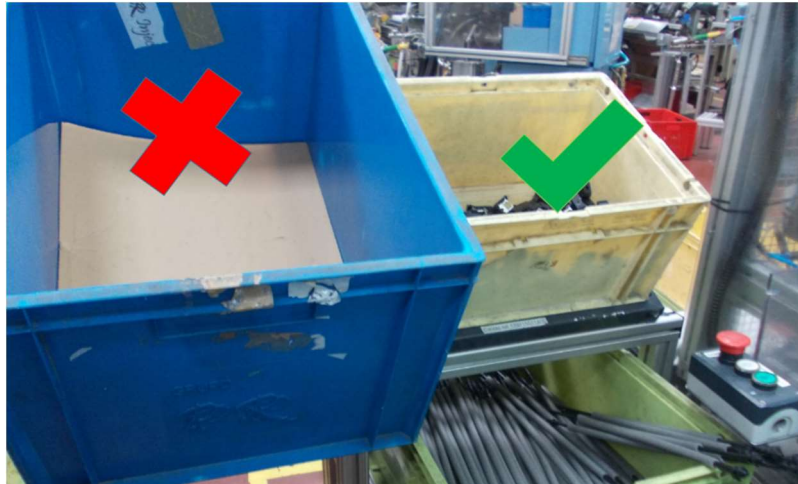


Figura 62 - Aspeto das caixas utilizadas para fornecimento do terminal-caixa.

A mesma consequência tinha a utilização das caixas com a dimensão da azul para abastecer o subconjunto de espiral, uma vez que a sua colocação no suporte não era possível. Assim, o operador era obrigado a transferir os subconjuntos de caixa, como ilustra a Figura 63.



Figura 63 - Caixa adequada para fornecimento do subconjunto de espiral.

Para evitar esta tarefa sem valor acrescentado, foi colocada junto da máquina de injeção ajuda visual, no sentido de forçar a utilização da caixa correta.

Ponto crítico 7

Cada embalagem do terminal-caixa continha apenas 300 unidades, quando mesmo a embalagem pretendida (com a dimensão de 300 mm x 395 mm x 220 mm) tem capacidade para 600 unidades sem desrespeitar o peso máximo permitido de onze quilogramas. Optar pelo dobro da quantidade do componente permite reduzir para metade as deslocações do operador ao *rack*, para levar a caixa vazia e colocar a caixa cheia na linha.

Abastecimentos

Pontos críticos 1 e 10

Dadas as condições existentes na fábrica, como tem sido referido, os componentes não são abastecidos diretamente em cada posto de trabalho como era desejável, mas sim depositados pelo abastecedor no *rack* existente na proximidade da linha. Cada operador era responsável por abastecer o seu posto a partir do *rack* e depositar a caixa vazia no local definido para o efeito. A Figura 64 ilustra o percurso realizado pelos operadores para depositar as caixas vazias dos subconjuntos e componentes consumidos na linha.

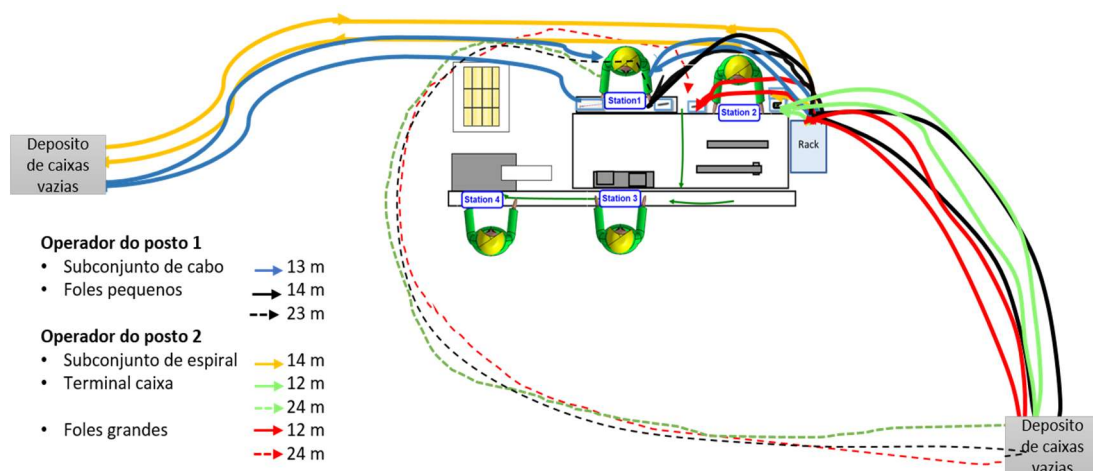


Figura 64 - Diagrama esparguete da troca de caixas.

No sentido de reduzir o desperdício de tempo devido a movimentos do operador sem acrescentar valor ao produto, o *rack* foi redimensionado de forma a suportar a quantidade de componentes que irá garantir o abastecimento à linha e a retoma das caixas vazias durante quatro horas.

Para sedimentar as condições definidas para a realização do abastecimento, foi criado e colocado na linha um manual de instruções de abastecimento dos postos de trabalho, em que

ficou definido que cada operador era responsável por abastecer o seu posto a partir do *rack* e colocar no *rack* a caixa vazia. Foi ministrada formação aos operadores por forma a garantir que as regras estabelecidas sejam cumpridas e colocada ajuda visual nos postos de trabalho para elucidar e relembrar as regras definidas, conforme documenta a Figura 65.



Figura 65 - Ajuda visual para abastecimento dos postos de trabalho.

Ponto crítico 3

O tubo que recebe o subconjunto do cabo com fole montado apresentava problemas de deslizamento do cabo no seu interior, devido a desgaste e ligeira perfuração na curva. Para resolver este problema o tubo em PVC foi substituído por um tubo em inox, conforme é visível na Figura 66. Ao efetuar a substituição optou-se por um bocal mais largo, uma vez que esta necessidade já se manifestava com o tubo anterior, onde se verificava que após a existência de alguns subconjuntos no seu interior, aumentava a dificuldade no acolhimento dos seguintes.



Figura 66 - Tubo de recolha do subconjunto do cabo.

Pontos críticos 4 e 5

O subconjunto do cabo e da espiral passou a ser fornecido à linha com os parâmetros de qualidade garantidos, dispensando a realização da verificação.

É objetivo da empresa assegurar que todos os subconjuntos e componentes fornecidos à linha cumpram os requisitos de qualidade. Tratando-se de um objetivo transversal, a sua implementação de uma forma ampla e consistente é relativamente demorada.

Ponto crítico 11

A extração do cabo, embora assegurada pela máquina de injeção *zamak*, não era eficaz ao ponto de encaminhar o cabo para o corta-gito sem ocorrerem falhas, o que nitidamente influenciava o tempo de ciclo, pois nestes casos o operador tinha que auxiliar na extração. Para resolver o problema, foi aumentado o curso do extrator localizado na cavidade de alojamento do terminal-caixa, conforme está patente na Figura 67.

Ponto crítico 12

O posicionamento do terminal-caixa e do terminal do cabo na retaguarda do *gabarit* da máquina de injeção *zamak*, são uma tarefa que requer do operador destreza e atenção. Conforme é visível na Figura 68, a forma do terminal de *zamak* obriga a que este seja orientado para proceder ao seu posicionamento. Se o operador, enquanto faz a flor, utilizar a mão direita que segura a retaguarda do subconjunto para orientar o terminal do cabo, a tarefa de posicionamento é facilitada. Caso a perspicácia do operador não lhe permita esta preparação prévia, inevitavelmente a tarefa de posicionamento não será executada dentro do tempo previsto.

Por forma a incutir nos operadores a prática do pormenor apresentado, foi discriminado na ficha de posto este detalhe da tarefa e ministrada formação aos operadores. A recetividade ao exposto foi facilitada pelo destaque conseguido pela produção obtida por um operador cuja perspicácia não lhe permitia falhar uma única vez, e pela satisfação com os resultados alcançados por quem apostou no método.

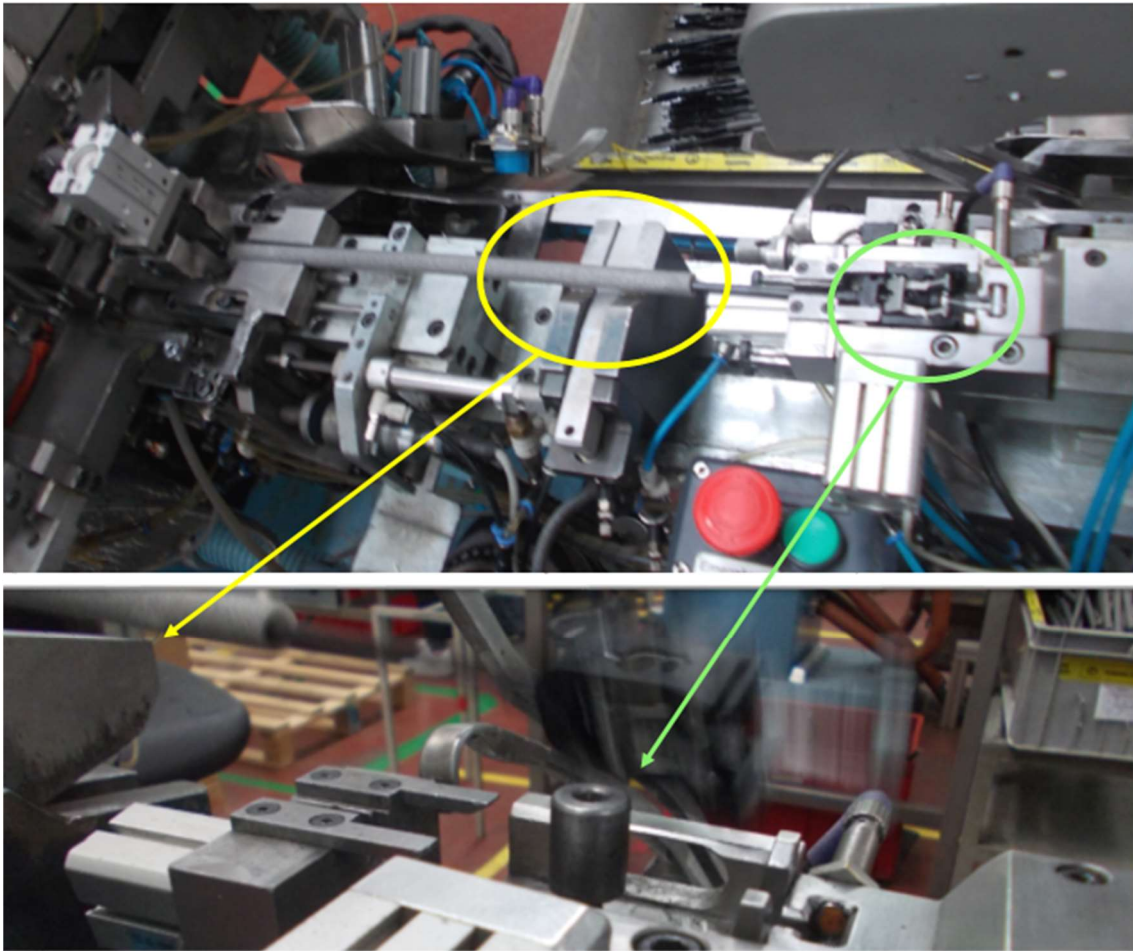


Figura 67 - Funcionamento da extração do cabo na máquina de injeção de zamak.

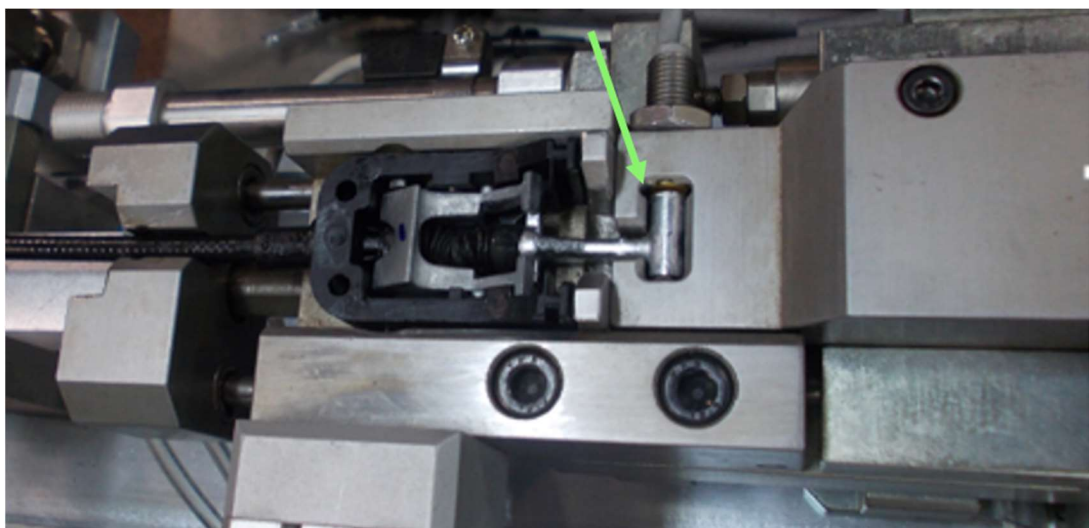


Figura 68 - Posicionamento dos terminais no *gabarit*.

Ponto crítico 13

Por forma a garantir a calibração do sistema de medição incorporado na máquina de *zamak*, é necessário efetuar a medição da cota de saída no *gabarit* existente para o efeito. Averiguou-se a hipótese de reduzir a frequência com que esta tarefa é realizada, e foi possível passar a ser realizada de duas em duas horas em vez de hora a hora, diminuindo para metade o tempo dependido nesta operação de valor não acrescentado.

Ponto crítico 14

Preencher o quadro de produção é uma tarefa necessária para tornar visível em tempo real o decurso da produção, pelo que, embora não acrescente valor ao produto, é considerado um desperdício necessário.

3.3.1.13 Quadro comparativo das tarefas antes e depois da introdução das melhorias na linha MQB1

Na Tabela 19 apresentam-se os tempos relativos a cada tarefa antes e após melhorias.

Tabela 19 - Comparação das tarefas antes e após melhorias.

	Tempo (segundos)							
	Antes melhorias				Após melhorias			
	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4
Processo	5,4	5,5	5,5	7,6	5,4	5,5	5,5	7,3
Abastecimento interno	0,1	0,1	...	...	0,1	0,1	...	...
Embalagem	0,6	...	...	...	0,6	...	...	...
Transporte	0,2	0,2	...	...	X	X	...	...
Passagem de posto	0,3	...	0,3	...	0,2	...	0,3	...
<i>Decantings</i>	0,3	0,5	...	...	0,1	X	...	...
Ctrl Qualidade	0,7	0,5	...	0,5	X	0,5	...	...
Ctrl Produção	...	...	...	0,2	...	...	0,2	...
Tempo Ocupação	7,6	6,8	5,8	8,3	6,4	6,1	6,0	7,3*
Tempo valor não acrescentado	1,6	1,3	0,3	0,7	0,4	0,5	0,5	0
Equilíbrio	85,8%				88,4%			

*Posto gargalo

A justificação para a redução dos tempos em cada posto de trabalho é a que a seguir se apresenta:

Posto 1

- TRANSPORTE: Com a decisão das caixas vazias passarem a ser colocadas no *rack* junto à linha, foi eliminado o transporte das mesmas aos depósitos existentes para o efeito.
- PASSAGEM DE POSTO: Com o tubo de bocal mais largo é possível efetuar a recolha de maior quantidade de subconjuntos de cabo com fole montado, logo o molho de subconjuntos passados através da calha para o posto 3 contém uma quantidade superior, o que reduz o tempo despendido a efetuar esta tarefa.
- *DECANTINGS*: Com a existência do suporte para a caixa dos foles pequenos, deixou de haver necessidade de efetuar o *decanting* dos mesmos, e o abastecimento interno desta caixa deixa de ter significado, dada a quantidade elevada (5000 unidades) de foles que a mesma contém. A necessidade de efetuar *decanting* do subconjunto do cabo mantém-se.
- CONTROLO DA QUALIDADE: O controlo da qualidade do subconjunto do cabo deixou de ser realizado na linha. O departamento de qualidade foi responsável por efetuar as diligências necessárias para garantir a entrega na linha de subconjuntos com qualidade garantida.

Posto 2

- TRANSPORTE: Com a decisão de colocar as caixas vazias no *rack* ao trocar pela cheia, foi eliminado o transporte das mesmas aos depósitos existentes para o efeito.
- *DECANTINGS*: Com a colocação na linha do suporte para a caixa dos foles grandes com a quantidade de 2500 unidades conforme é entregue pelo fornecedor, deixou de ser necessário efetuar *decantings* e o tempo despendido no abastecimento interno deste componente não tem significado, dado que uma caixa garante a produção de 2500 un.
- CONTROLO DA QUALIDADE: O controlo da qualidade do subconjunto da espiral deixou de ser realizado na linha. Este posto assumiu a medição da cota de saída, anteriormente da responsabilidade do posto 4.

Posto 3

- **CONTROLO DA PRODUÇÃO:** Assumiu a tarefa de preencher o quadro de produção, que anteriormente era da responsabilidade do posto 4.

Posto 4

- A formação ministrada e o treino adquirido no posicionamento do terminal de *zamak* no *gabarit*, paralelamente com a melhoria realizada no sistema de extração da máquina de injeção *zamak*, permitiram reduzir o tempo das tarefas cíclicas realizadas neste posto.
- Tratando-se do posto gargalo, as tarefas que podiam ser assumidas por outros postos foram-lhe retiradas, permitindo melhorar o balanceamento da linha. Assim, o controlo de produção que consiste em registar no quadro de produção as ocorrências da hora de trabalho ao nível da quantidade de peças produzidas, conformes e não conformes, paragens e outros acontecimentos relevantes, assim como o controlo de qualidade que consiste em medir a cota de saída no *gabarit* existente para o efeito, foram atribuídas aos operadores do posto 3 e posto 2, respetivamente.

Sugestão de melhoria futura

O gráfico homem-máquina apresentado na Figura 69 a) corresponde à situação atual. Com as melhorias na extração e no método de posicionamento do terminal de *zamak*, consegue-se agora efetuar as operações neste posto em 7,3 s. No entanto, este tempo de ciclo não é suficiente para satisfazer os pedidos no ano de pico.

A solução proposta consiste em passar a operação de clipar o fole para o dispositivo de cortar o gito, anulando assim a espera a que o operador está sujeito (Figura 69 b). Com isto, o tempo de ciclo de 7,3 segundos passaria a ser apenas de 6,4 segundos/peça e o problema de capacidade no pico do volume contratado estaria resolvido.

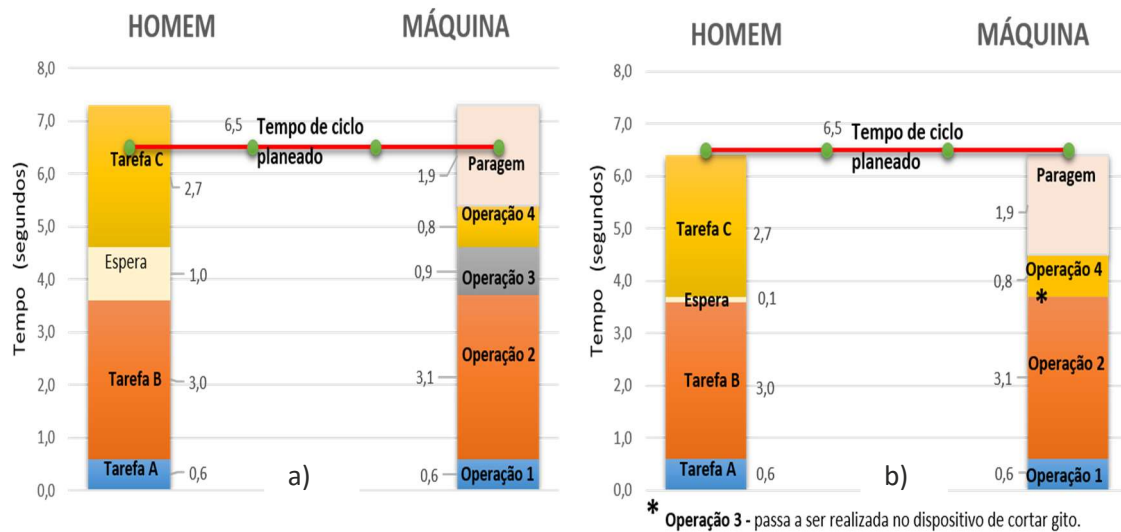


Figura 69 - Gráfico Homem-Máquina a) antes da sugestão melhoria b) após sugestão de melhoria futura.

LEGENDA:

Tarefa A_Premir botoneira

Tarefa B_Fazer flor

Tarefa C_Posicionar subconjunto

Operação 1_Fechar o molde

Operação 2_Injetar; Ensaiar;

Posicionar *transfer* para extrair cabo

Operação 3_Clipar fole

Operação 4_ Extrair cabo

3.3.1.14 Medição do OEE antes e depois das melhorias introduzidas na linha MQB1

Na Figura 70 apresentam-se valores de OEE e das suas componentes (velocidade, disponibilidade e qualidade) registadas nas diferentes fases de acompanhamento:

- Antes do início das intervenções, durante quatro semanas;
- Após a primeira fase (em que foram efetuadas melhorias nos equipamentos), durante quatro semanas;
- Durante a implementação da segunda fase, por um período de duas semanas;
- Após a implementação da segunda fase (em que foram eliminadas/reduzidas as operações que não acrescentam valor ao produto), durante 6 semanas.

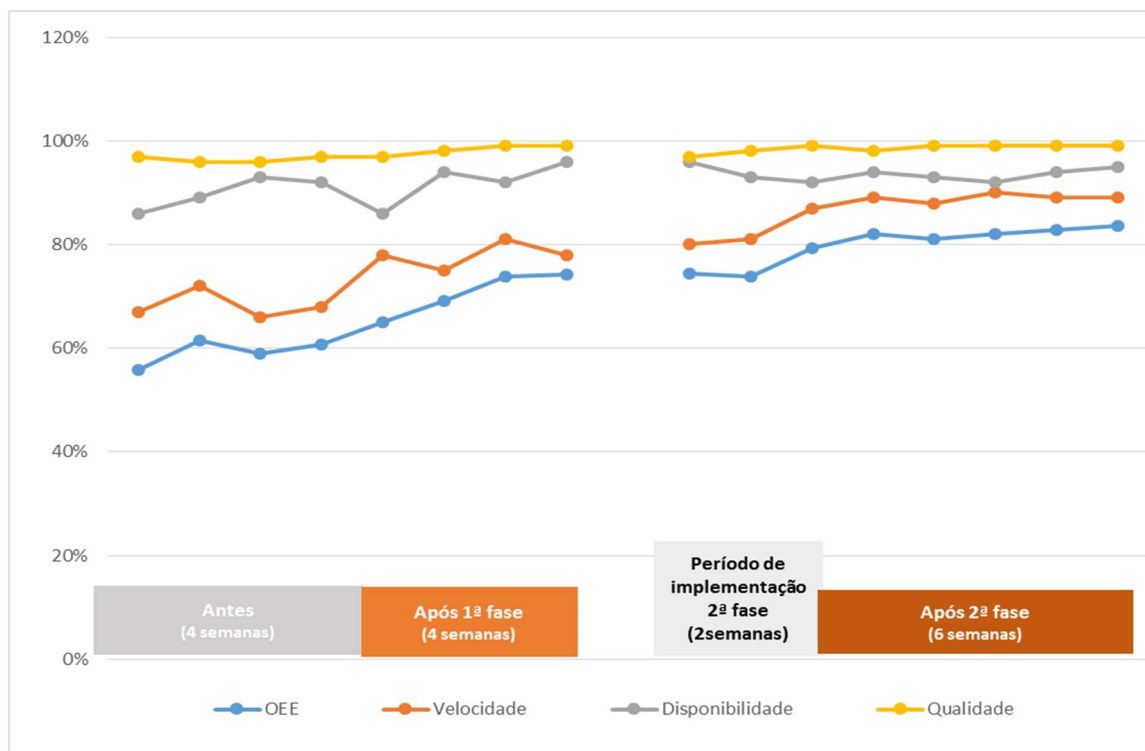


Figura 70 - Evolução do OEE.

Através da Figura 70 verifica-se que a curva do OEE acompanha a curva da velocidade, que é o único fator do domínio da presente dissertação. Após a implementação das alterações definidas para a primeira fase verificou-se um acréscimo significativo da velocidade, que na primeira semana foi acompanhado de um decréscimo da qualidade e disponibilidade. Esta situação é perfeitamente normal, atendendo a que se encontrava numa fase de arranque de equipamentos novos no primeiro e segundo posto.

A implementação da segunda fase ocorreu três meses após a primeira, tendo-se nesta fase verificado também um aumento significativo da velocidade, que se ficou a dever à eliminação/redução de operações que não acrescentam valor ao produto e em grande parte ao acompanhamento e formação ministrada aos operadores. A Figura 71 elucida explicitamente o ganho referente à velocidade inerente a cada fase de intervenção.

Os valores da velocidade apresentados, têm por base o objetivo de 554 peças por hora que constava no sistema como objetivo da linha e que na realidade é possível atingir, conforme demonstrado nos resultados apresentados na Tabela 20. Como se pretende evidenciar a evolução da velocidade e do OEE, o objetivo base foi mantido ao longo de todo o estudo.



Figura 71 - Evolução da velocidade.

3.3.1.15 Resultados efetivamente conseguidos na linha MQB1

Com a implementação das propostas apresentadas para a realização de melhorias nos equipamentos (1ª fase) e a eliminação/redução de desperdícios (2ª fase) obtiveram-se os resultados descritos na Tabela 20, onde se destaca o aumento *output* de 350 peças por hora para 493, alcançado no total da intervenção das duas fases.

Tabela 20 - Resultados da linha MQB1.

	Antes das melhorias	Após melhorias (1ª fase)	Variação (%) Antes <-> 1ª fase	Após melhorias (2ª fase)	Variação (%) 1ª fase <-> 2ª fase
Operadores	4	4	0	4	0
Superfície ocupada (m ²)	25	25	0	25	0
<i>Output</i> (peças/hora)	350	433	+24	493	+ 14
Tempo ciclo (s)	10,3	8.3	-19	7,3	- 12
PhH (peças/hora/homem)	87,5	108.5	+24	123,3	+ 13
Equilíbrio (%)	...	85.8	...	88,4	+3

Com as melhorias realizadas nos equipamentos (1ª fase) foi possível aumentar o *output* em 83 peças/hora, o que corresponde a um aumento de produtividade de quase 24%. Considerando o investimento realizado e o retorno, que contou com um aumento de produtividade e poupança

de cabo metálico, uma vez que este passou a ser cortado à medida no *robocop* sem necessidade de ser aparado na linha de montagem, o *payback* para este investimento foi inferior a 4 meses, conforme se demonstra na análise do tempo necessário para o retorno financeiro apresentado de seguida.

Na segunda fase, cuja intervenção incidiu sobre a eliminação/redução de desperdícios através da aplicação de técnicas e ferramentas *Lean*, cujos resultados estão evidentes na Figura 72, o aumento de produtividade conseguido foi de 14%, mais 60 cabos por hora, perfazendo no total das duas fases um aumento de 41%, relativamente ao valor inicial.

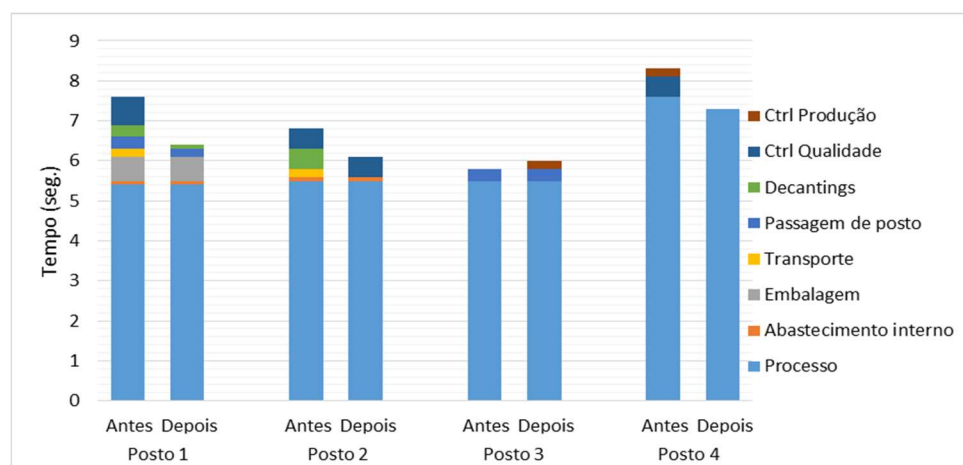


Figura 72 - Tempo despendido em cada tarefa antes e após as melhorias implementadas na 2ª fase.

Análise do tempo necessário para o retorno financeiro

Considerando o orçamento do equipamento necessário para as melhorias previstas e os ganhos associados à sua implementação, realizou-se o estudo do tempo necessário para amortizar os custos. Na Tabela 21 encontra-se a informação necessária para a realização do estudo.

Tabela 21 - Orçamento do equipamento.

Descrição da despesa	Custo
Dispositivo de introdução de cabo no fole em semiautomático com bancada	2 600 €
Posto de injetar massa e clipar caixa em automático	4 300 €
Retirar operação de corte elétrico	300 €
Sistema de tração de cabo para garantir a medida de corte no <i>robocop</i>	900 €
Dispositivo de cortar gito	600 €
TOTAL	8 700 €

Os ganhos que constam na Tabela 22, resultam da poupança de cabo, pelo facto deste deixar de ser aparado na linha, e à mão-de-obra resultante do aumento da produtividade de 350 para 433 peças/hora, referente à primeira fase de intervenção.

Tabela 22 - Dados para cálculo dos ganhos inerentes às melhorias propostas.

Ganhos obtidos	
Cabo metálico	0,004 €/peça
M.O.D (mão-de-obra direta)	0,015 €/peça
TOTAL	0,019 €/peça

Para amortizar o custo de 8 700 € com uma poupança de 0,019 € por cabo será necessário produzir 457 895 cabos, o que, considerando o ano 1 (Tabela 23) com uma média mensal de 145 800 cabos, em apenas 3,2 meses é possível amortizar os custos.

Tabela 23 - Taxa de ocupação da linha e tempo necessário à satisfação do cliente.

Ano		Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
Volume contratado (anual)		1 750 000	2 100 000	2 640 000	2 300 000
Tempo necessário à satisfação do pedido (horas semanais)	Antes Melhoria	106,5	127,8	160,7	140,0
	Após Melhorias	75,5	90,6	113,9	99,2
	Variação	- 29	- 29	- 29	- 29
Taxa de ocupação (considerados 3 turnos)	Antes Melhoria	94,7	113,5	142,8	124,4
	Após Melhorias	67,1	80,5	101,3	88,1
	Variação	- 29	- 29	-29	-29

Dos dados apresentados na Tabela 23, conclui-se que após as melhorias introduzidas, a linha apenas apresenta limitações na capacidade de resposta no ano 3, que correspondente ao pico das quantidades contratadas anualmente. No entanto, esta situação poderá ser facilmente ultrapassada optando por trabalhar com mais 2 turnos no final de semana, ou implementar as ações propostas anteriormente como melhorias futuras para a máquina de injeção *zamak*. Desta forma o fornecimento ao cliente, mesmo no ano de maior volume de pedidos deixa de estar comprometido.

3.3.2 Caso da linha V408

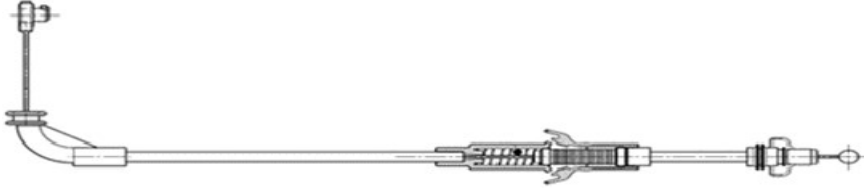


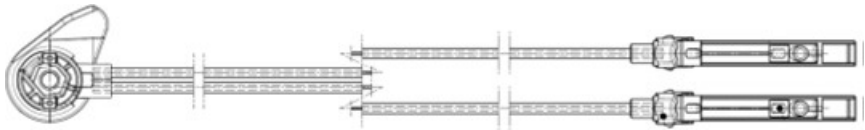
A produção de diversas referências na mesma linha com pedidos semanais de pequeno volume, requer flexibilidade e rapidez na realização dos *setups*. Neste contexto, a troca rápida de ferramentas é um requisito absoluto para que a interferência com a produção não tenha significado e se cumpra com o objetivo de produzir pequenos lotes de acordo com as ordens do cliente. A metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*) em complemento com outras metodologias *Lean* (5S, gestão visual e trabalho padrão), proporcionam *setups* mais rápidos e intuitivos. Com base nestes conceitos, a linha em estudo será objeto de várias intervenções com vista à redução de desperdício inerente à mudança de ferramentas.

A linha designada de V408 produz quinze referências com pedidos semanais, o que deixa adivinhar a quantidade de *setups* necessários. Para agilizar estas tarefas, pretende-se que os operadores assumam o *setup* do seu posto de trabalho. Embora alguns operadores já tenham essa iniciativa, verifica-se que têm dificuldades e grande necessidade de recorrer ao técnico afinador. Por forma a simplificar as tarefas aos operadores, a intervenção nesta linha visa atuar na organização das ferramentas de *setup*, agilizar a sua troca, documentar os procedimentos e ministrar formação.

A linha em estudo funcionará como projeto piloto. A diversidade de processos que engloba, torna-a representativa das diversas situações existentes na fábrica, sendo desta forma um excelente ponto de partida para a intervenção nas linhas atuais e criar *standards* para as novas.

No estudo da linha V408, com vista ao desenvolvimento de melhorias na realização dos *setups*, começou-se por agrupar as várias referências produzidas atendendo às características comuns que levam à dispensa de troca de ferramentas quando o *setup* é realizado entre elas. Na Tabela 24, apresentam-se as várias referências agrupadas em categorias, de acordo com as características que conduzem a processos e ferramentas comuns.

Tabela 24 - Categorias atribuídas às referências produzidas na linha V408.

Categorias	Descrição
<p>1</p> <p>Cabos com afinador e terminal curvo</p>	 <p>Os cabos com a referência 121912378/380/81 possuem em comum um afinador que une os dois tramos de espiral, sendo um dos terminais de espiral curvo.</p>
<p>2</p> <p>Cabos com afinador e terminal reto</p>	 <p>Os cabos com as referências 121912382/83/84/85 possuem em comum um afinador que une os dois tramos de espiral e ambos os terminais da espiral são retos.</p>
<p>3</p> <p>Cabos com mola</p>	 <p>Os cabos com as referências 121912386/387/732/733 têm em comum uma mola na extremidade e são constituídos por um único tramo de espiral.</p>
<p>4</p> <p>Cabos duplos</p>	 <p>Os cabos com as referências 121912311/312/868/869 são constituídos por duas espirais, unidas numa das extremidades por um terminal comum.</p>

3.3.2.1 Breve descrição do funcionamento da linha V408

A linha está localizada no módulo F2 e é constituída por oito postos de trabalho, conforme apresentado no *layout* da Figura 73.

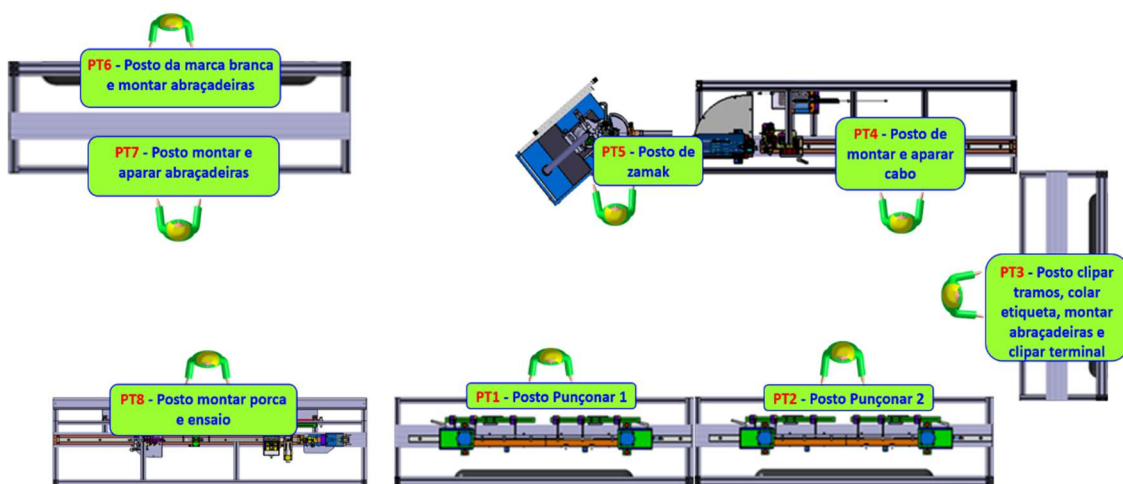


Figura 73 - *Layout* correspondente à linha V408.

Dos oito postos de trabalho, a maior parte é comum a todas as referências, outros são utilizados apenas por algumas, conforme evidência a Tabela 25.

Existem postos de trabalho que acumulam várias operações, sendo algumas específicas de determinadas referências. O exemplo mais completo é o posto 3. A operação de clipar tramos é efetuada apenas nas referências com afinador, colar etiqueta nas referências com afinador e nas referências com mola, montar abraçadeira nas referências com mola, e clipar corpo apenas nos cabos duplos. Apesar da diversidade, este posto não é o que contém maior número de ferramentas de *setup*, isto porque, operações como clipar tramos dos cabos com afinador utilizam um dispositivo dedicado com ferramentas comuns às várias referências. O mesmo se verifica na operação de clipar corpo nos cabos duplos.

Tabela 25 - Ocupação dos postos pelas diferentes referências.

Categoria	Referência	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8
1	Cabos com afinador e terminal curvo	121912378	X	X	X	X	X	X	X
		121912380	X	X	X	X	X	X	
		121912381	X	X	X	X	X	X	
2	Cabos com afinador e terminal reto	121912382	X	X	X	X	X	X	X
		121912383	X	X	X	X	X	X	X
		121912384	X	X	X	X	X	X	
		121912385	X	X	X	X	X	X	

3	Cabos com mola	121912386	X		X	X	X	X	
		121912387	X		X	X	X	X	
		121912732	X		X	X	X	X	
		121912733	X		X	X	X	X	
4	Cabos duplos	129215311	X	X	X	X	X		X
		129215312	X	X	X	X	X		X
		129215868	X	X	X	X	X		X
		129215869	X	X	X	X	X		X

Para estudar o *setup* e o entender, ajuda conhecer as operações que são realizadas e onde se localizam no equipamento as ferramentas a trocar em cada *setup*. Neste sentido, para cada posto de trabalho foi efetuado o levantamento das operações realizadas, equipamentos envolvidos e as ferramentas de *setup* associadas.

Será apresentado apenas o levantamento efetuado em dois postos de trabalho, uma vez que estes são representativos do trabalho desenvolvido nos restantes.

PT1 => Posto de punçonar 1

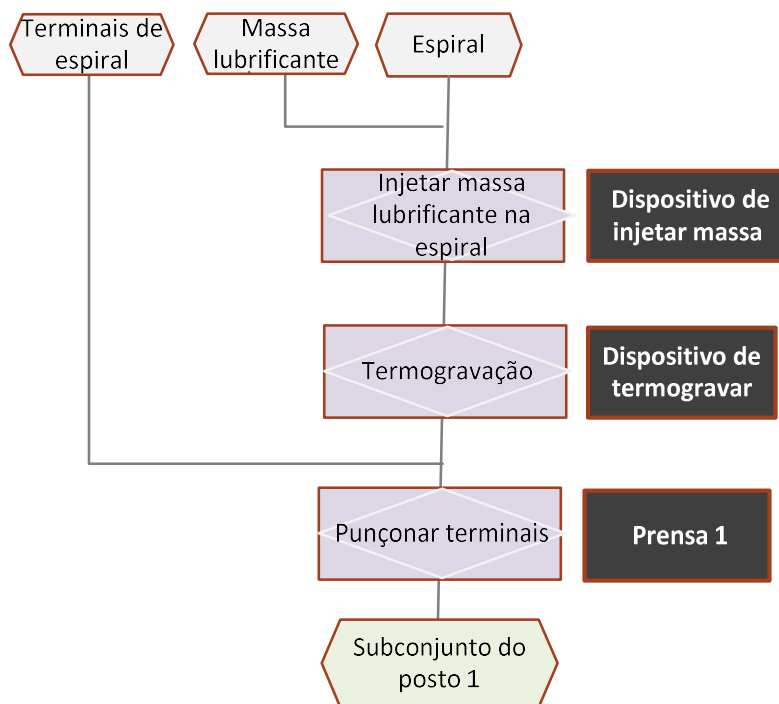


Figura 74 - Operações e equipamentos do posto de punçonar 1.

No posto de trabalho em análise, existem ferramentas de *setup* que são comuns a várias referências e, conseqüentemente, a mudança de referência em produção não implica a sua troca. Foi efetuado o levantamento e identificadas as ferramentas de acordo com o esquema da Tabela 26.

Tabela 26 - Identificação das ferramentas comuns às várias referências no posto 1.

	Categoria	Referência	Ferramenta esquerda	Gabarit	Ferramenta direita
1	Cabos com afinador e terminal curvo	121912378	I	I	I
		121912380	I	II	I
		121912381	I	II	I
2	Cabos com afinador e terminal reto	121912382	I	III	II
		121912383	I	IV	II
		121912384	I	V	II
		121912385	I	V	II
3	Cabos com mola	121912386	II	VI	III
		121912387	II	VII	III
		121912732	II	VIII	III
		121912733	II	IX	III
4	Cabos duplos	129215311	III	X	IV
		129215312	III	XI	IV
		129215868	III	XI	IV
		129215869	III	XII	IV

PT3 => Posto de clipar tramos, colar etiquetas, montar abraçadeiras e clipar corpo

Neste posto as operações não são comuns a todas as categorias de cabos, pelo que as operações e respetivos equipamentos serão apresentados para cada categoria.

No fluxograma da Figura 76, constam as operações realizadas no posto 3 e os equipamentos necessários à sua concretização, apenas para as referências com afinadores.

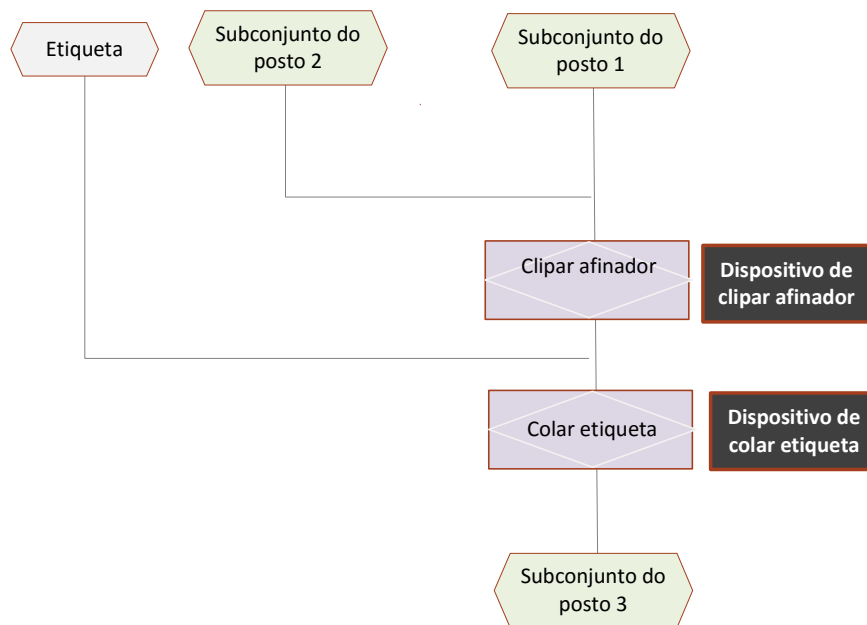


Figura 77 - Operações e equipamentos do posto 3 para as referências com afinador.

No fluxograma da Figura 78, constam as operações realizadas no posto 3 e os equipamentos necessários à sua concretização, apenas para as referências com mola.

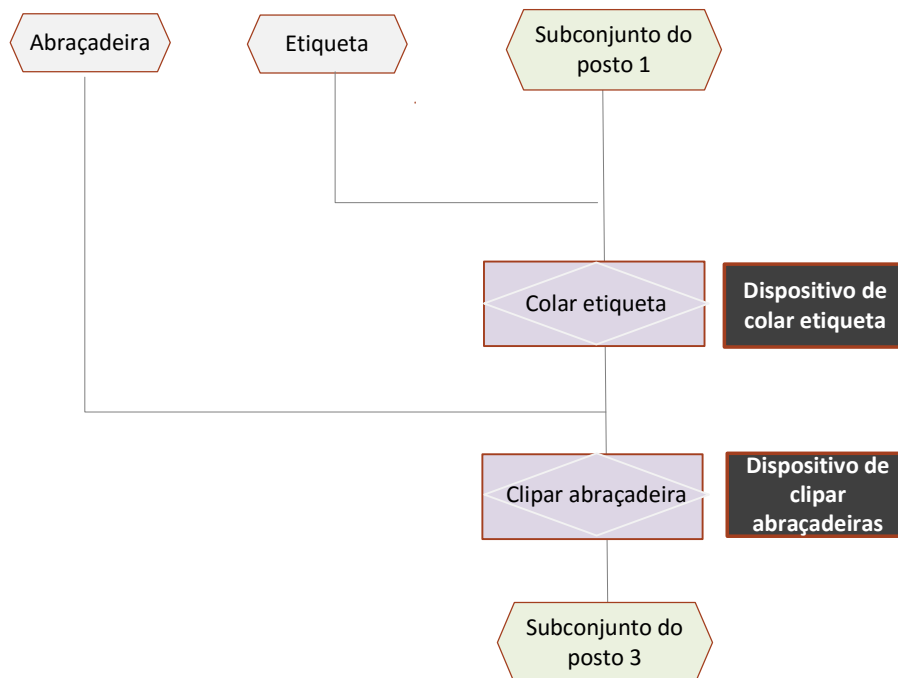


Figura 78 - Operações e equipamentos do posto 3 para as referências com mola.

No fluxograma da Figura 79, consta a operação realizada no posto 3 e o dispositivo utilizado na sua concretização, apenas nas referências de cabos duplos.

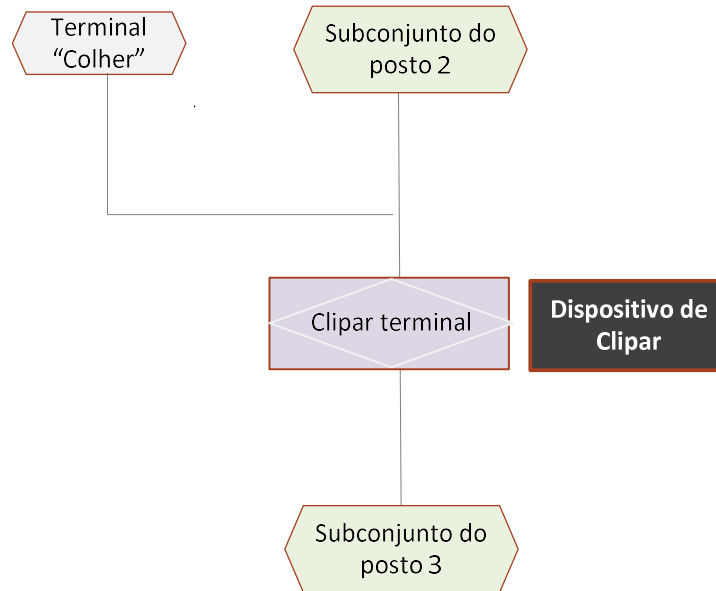


Figura 79 - Operações e equipamentos do posto 3 para a referência de cabos duplos.

O dispositivo de colar etiquetas é utilizado nos cabos com afinador e nos cabos com mola. O *setup* efetuado neste dispositivo consiste na troca do rolo das etiquetas de acordo com a referência em produção e da ferramenta de posicionamento dos terminais de acordo com o listado na Tabela 27.

O dispositivo de clipar os afinadores é exclusivo dos cabos com afinadores e não carece de *setup*.

O dispositivo de montar abraçadeiras é utilizado exclusivamente nos cabos com mola e realiza *setup* de acordo com a configuração do clip que a abraçadeira vai fixar ao cabo, respeitando o esquema da Tabela 27.

O dispositivo de clipar o terminal “colher” apenas é utilizado nos cabos duplos e não realiza *setup*.

Na Figura 80 apresentam-se as ferramentas de *setup* do posto 3.

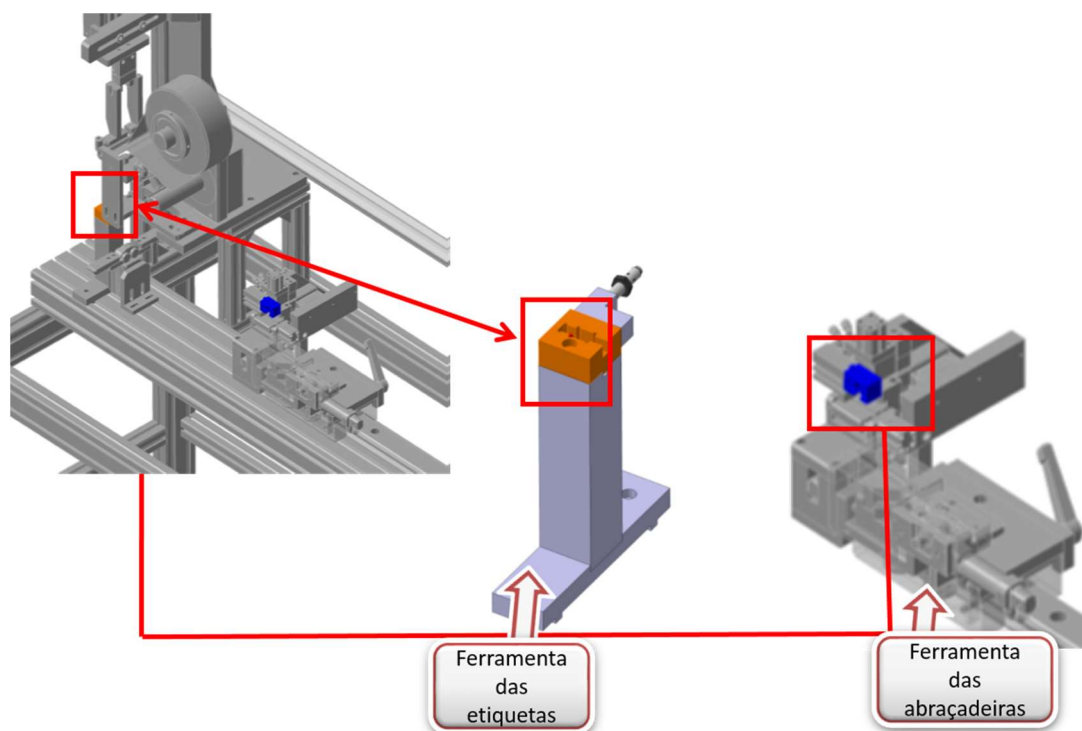
Figura 80 - Ferramentas de *setup* do posto 3.

Tabela 27 - Identificação das ferramentas comuns às várias referências no posto 3.

	Categoria	Referência	Ferramenta das etiquetas	Ferramenta das abraçadeiras
1	Cabos com afinador e terminal curvo	121912378	I	NA
		121912380	I	NA
		121912381	I	NA
2	Cabos com afinador e terminal reto	121912382	I	NA
		121912383	I	NA
		121912384	I	NA
		121912385	II	NA
3	Cabos com mola	121912386	III	I
		121912387	III	II
		121912732	III	I
		121912733	III	II
		129215311	NA	NA
4	Cabos duplos	129215312	NA	NA
		129215868	NA	NA
		129215869	NA	NA
		129215869	NA	NA

Conforme referido anteriormente, o levantamento dos restantes postos de trabalho não é apresentado, por se considerar que os exibidos elucidam todo o trabalho desenvolvido.

3.3.2.2 Medição de tempos por posto

Dependendo da sequência de referências a serem produzidas, o *setup* pode envolver mais ou menos trocas de ferramentas, uma vez que, conforme exibido na Tabela 26 e Tabela 27, existem ferramentas que são comuns a várias referências, principalmente dentro da mesma categoria. O planejamento de produção, sempre que possível respeita a sequência ótima.

Para cada posto de trabalho, com a finalidade de analisar a situação mais representativa no que se refere a tempo despendido com *setups*, foi selecionada a sequência de referências que envolve a troca de todas as ferramentas. Naturalmente, outras sequências que envolvam um menor número de ferramentas apresentam tempos inferiores. Na Tabela 28, constam os tempos medidos para o *setup* entre as referências designadas.

Tabela 28 - Tempo de realização de *setup* antes da introdução de melhorias.

PT	Sequência de referências	Tempo <i>setup</i> (min)
PT1	121912385 -> 121912386	20
PT2	121912385 -> 121912312	15
PT3	121912385 -> 121912386	18
PT4	121912385 -> 121912386	15
PT5	121912385 -> 121912386	30
PT6	121912385 -> 121912386	7
PT7	121912732 -> 121912733	5
PT8	121912311 -> 121912312	5

3.3.2.3 Melhorias identificadas e sua implementação

3.3.2.3.1 Tarefas de *setup* interno e externo

A dinâmica de abastecimento da linha aquando da troca de referência, era realizada pelos operadores, enquanto aguardavam que os técnicos afinadores estivessem disponíveis e/ou realizassem o *setup*. Uma vez que os operadores estarão ocupados com a realização do *setup* no seu posto, a preparação dos materiais para a próxima referência deixará de ser uma tarefa de *setup* interno e será assumida pela *team leader* como tarefa de *setup* externo.

Na categoria de preparação de ferramentas como *setup* externo, inclui-se a preparação dos *gabarits* para o posto de punçonar 1 e 2, uma vez que estes se encontram nas costas do posto

de trabalho. As restantes ferramentas, pela localização escolhida para o seu armazenamento, não justificam *setup* externo.

3.3.2.3.2 Identificação e organização das ferramentas de *setup*

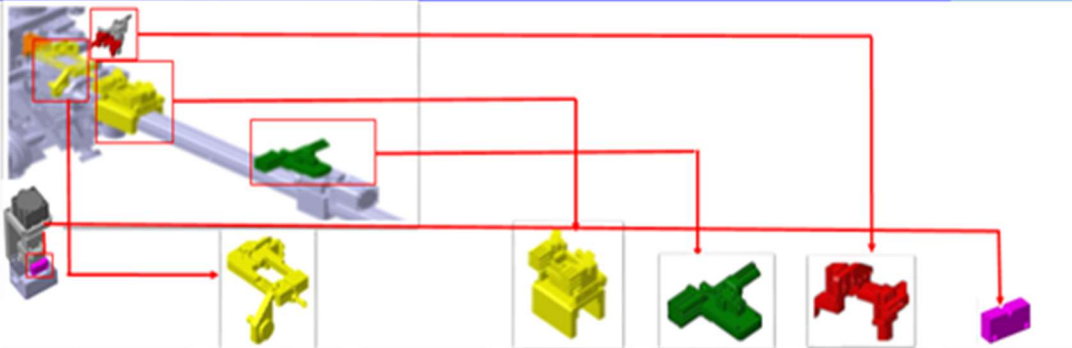
Almejando com a intervenção nesta linha proporcionar condições para que os operadores realizem o *setup* no seu próprio posto, apostou-se em facilitar a localização e identificação de todas as ferramentas de *setup*, tarefa que foi alicerçada nas metodologias 5 S's.

Para identificar as ferramentas, foi criado o código de cores apresentado na Tabela 29. A este código associou-se um número para salvaguardar o facto de, em condições adversas, a pintura efetuada na peça de *setups* desaparecer.

Tabela 29 - Código de cores.

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10		11
	12	13	14		15
		16	17		18
			19		20
					21

Foram consideradas seis cores base, de acordo com as cores disponíveis no mercado para tinta utilizada na marcação das peças. A partir destas, foram efetuadas as combinações de cores possíveis, que resultaram em 21 códigos. Na sequência do código de cores apresentado, para cada posto de trabalho foi elaborada uma tabela, onde se faz corresponder a cor e número atribuídos à peça de *setup* à respetiva referência, conforme apresentado na Figura 81 para o posto de trabalho da injeção de *zamak*.



Projecto	Referência	Kit Frontal	Suporte Kit Frontal	Kit Fixação/Apoio	Kit Traseiro	Transfer	Suporte Dispositivo Aporar
Cabos com afinador curvos	121912378	2	15	12	8	13	17
	121912380	2	15	12	8	13	17
	121912381	2	15	12	8	13	17
Cabos com afinador retos	121912382	2	15	12	9	13	17
	121912383	2	15	12	9	13	17
	121912384	2	15	12	9	13	17
	121912385	2	15	12	9	13	17
Cabos com mola	121912386	3	15		10	13	17
	121912387	3	15		10	13	17
	121912732	4	15		10	13	17
	121912733	5	15		10	13	17
Cabos duplos	129215311	6	16				17
	129215312	6	16				17
	129215868	6	16				17
	129215869	6	16				17

Figura 81 - Tabela de correspondências entre identificação da peça de *setup* e a referência.

A cor e o número foram inscritos em cada peça de *setup*. A localização de cada peça foi também identificada com a cor e o número correspondente, conforme é exemplificado nas Figura 82, Figura 83 e Figura 84 correspondentes aos postos de trabalho 1, 3 e 4 respetivamente, selecionados para ilustrar a implementação deste ponto de melhoria.

A gravação da referência nas peças de *setup* era a forma de identificação utilizada. A grande vantagem da identificação atual relativamente à anterior é a ajuda visual (código de cores), que facilita a localização da inscrição da identificação na peça e a sua localização quando está fora da máquina.

O molde da máquina de *zamak* não faz parte da listagem apresentada, uma vez que permanece no armazém de moldes entre utilizações e, quando solicitado, é disponibilizado a partir deste. As quinze referências em questão utilizam quatro moldes distintos na máquina de *zamak*.

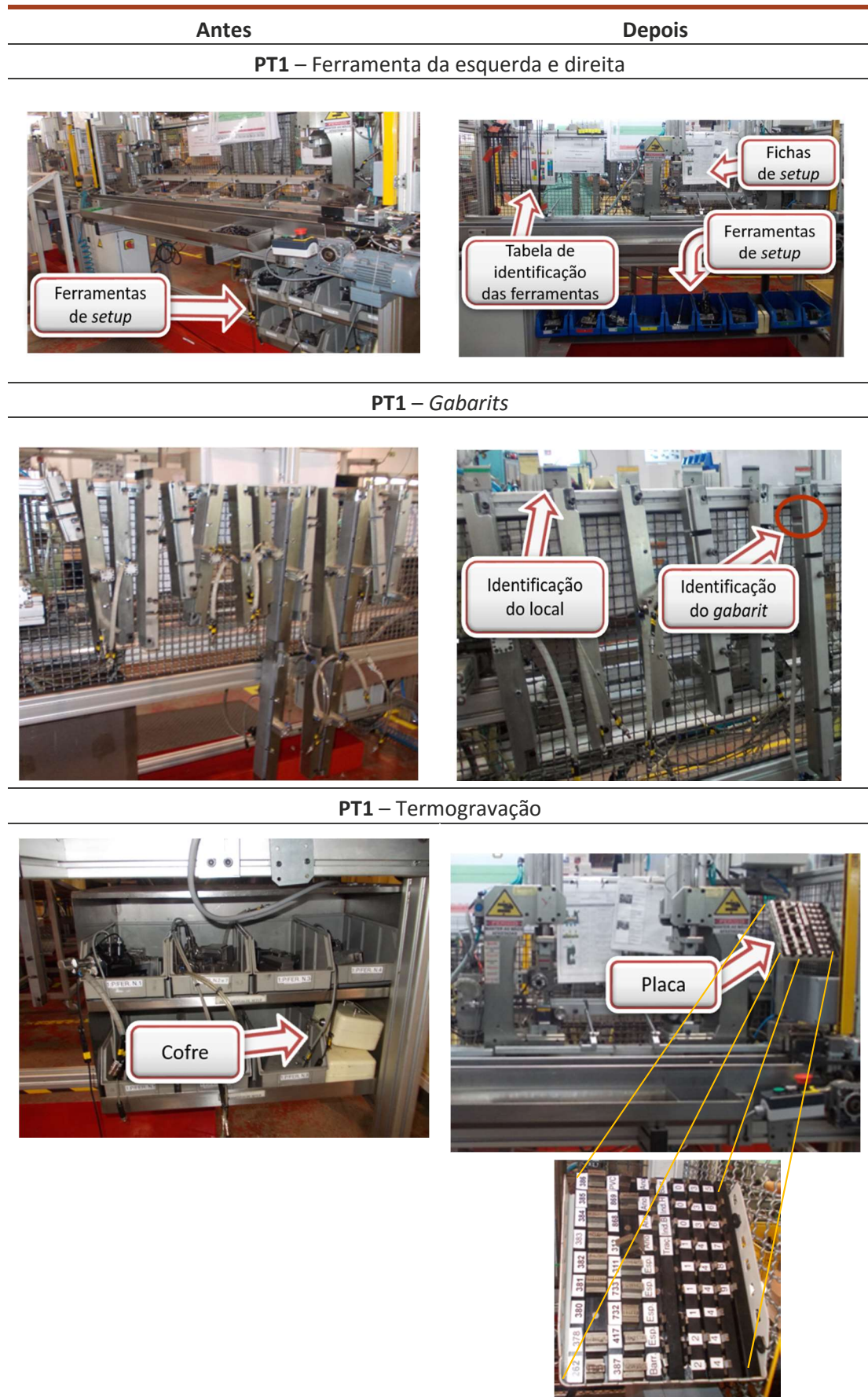


Figura 82 - Organização das ferramentas de *setup* no posto 1.

Observando a Figura 82 é possível visualizar as caixas onde foram colocadas as ferramentas de punçonar e a respetiva identificação. A disposição das caixas permite localizar à direita as ferramentas correspondentes ao lado direito da prensa e à esquerda manter o mesmo princípio.

Os *gabarits*, dada a sua dimensão, mantiveram a localização inicial, na parte detrás do posto de trabalho. A localização de cada *gabarit* está agora definida pelas chapas que contêm a cor e o número que os identifica, e na parte da frente do posto encontra-se a tabela que faz a correspondência da cor e número à referência.

O transporte do *gabarit* do local de armazenagem para a linha de montagem é uma tarefa de *setup* externo, que deve ser assegurada pela *team leader*, conforme definido na ficha de *setup* existente no posto de trabalho.

Os blocos necessários à composição do código da termogravação encontravam-se guardados dentro de um pequeno cofre. Cada vez que era necessário efetuar *setup*, encontrar todas as partes necessárias, não era tarefa fácil e muitas vezes significativamente demorada. Para solucionar o problema, optou-se por colocar na linha uma pequena placa com vários rasgos e *ímans*, de forma a fixar cada elemento utilizado na termogravação no local designado e identificado, como ilustra a Figura 82

No posto das etiquetas, Figura 83, os rolos permaneciam dentro das sacas para desta forma conservar a etiqueta que continha o código que expeditamente os associava à referência à qual pertenciam. Como não existiam lugares definidos para colocar o rolo e visualmente também não estavam identificados, encontrar o rolo desejado era uma tarefa complicada. Para resolver o problema, procedeu-se à aplicação de uma calha, onde os rolos passaram a ser posicionados todos alinhados. A identificação contém uma etiqueta do rolo e a referência correspondente. Assim, é possível de uma forma expedita relacionar o rolo com a referência em questão, conforme elucida a Figura 83.

PT3 – Rolos das etiquetas

Antes

**Depois**

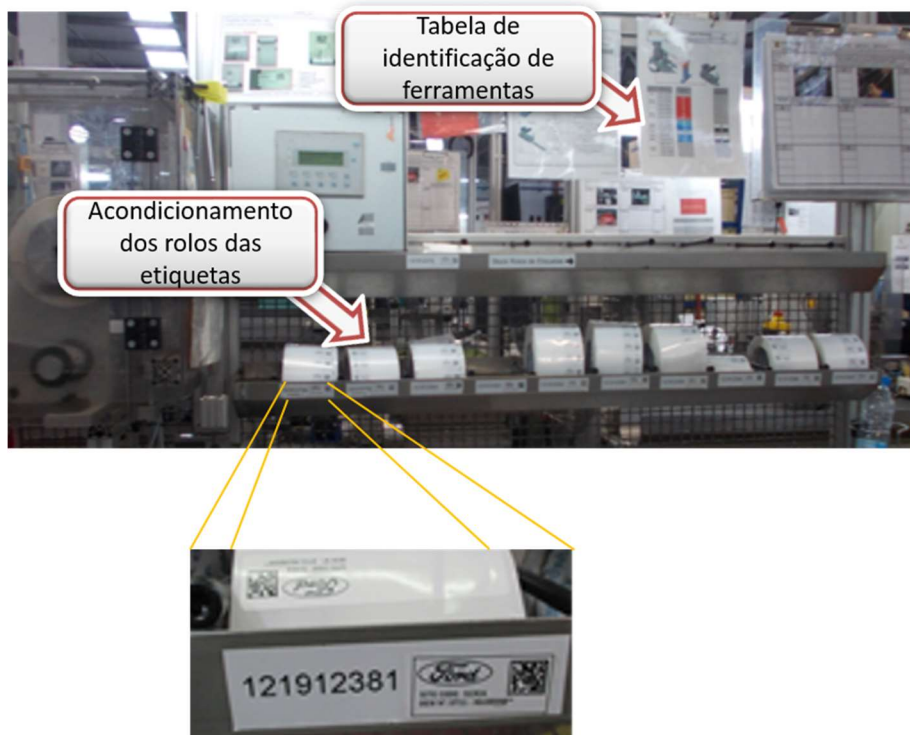


Figura 83 - Melhorias introduzidas no posto 3.

No posto de montar e aparar cabo, conforme ilustra a Figura 84, as ferramentas de *setup* foram colocadas individualmente nas caixas azuis com a respetiva identificação. À esquerda encontram-se as ferramentas de aparar cabo pela ordem que aparecem na tabela de correspondências e à direita as ferramentas de introdução do cabo, também pela ordem que aparecem na tabela de correspondências. A ferramenta de apoio é apenas uma, e a caixa que lhe corresponde é a caixa central.

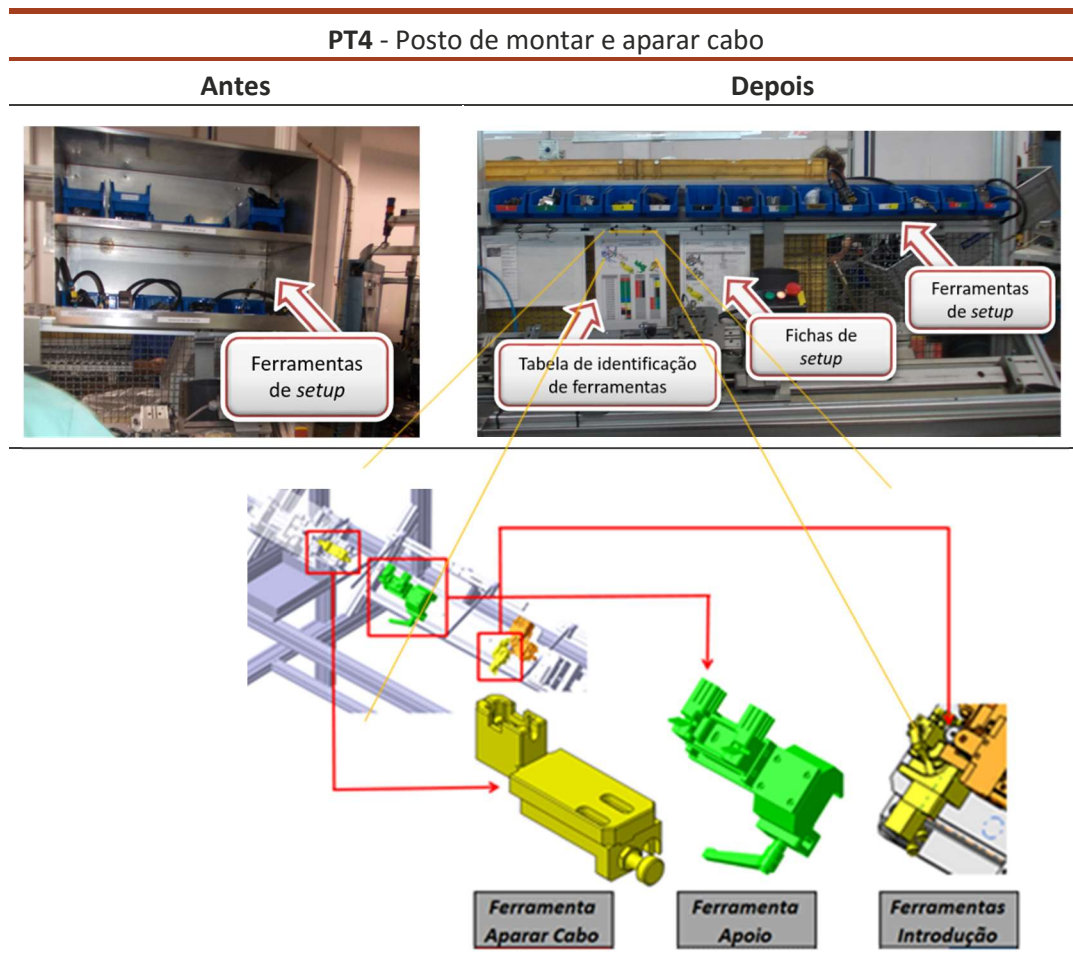
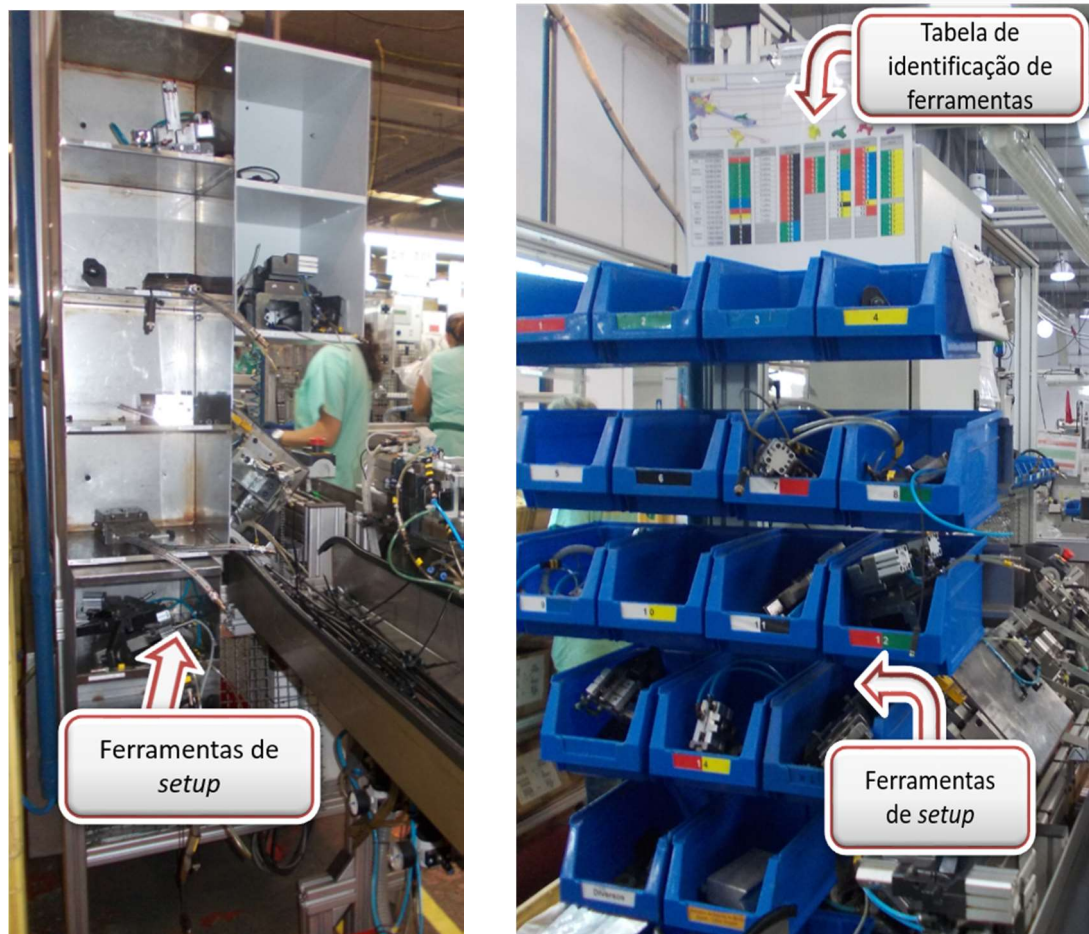


Figura 84 - Organização das ferramentas do *setup* no posto 4.

O posto 5, onde se efetua a injeção do terminal de *zamak*, contém uma grande diversidade de ferramentas de *setup*, conforme ilustra a Figura 85. O armário existente foi substituído por pequenas caixas que apresentam a grande vantagem da sua capacidade não ir além da peça que lhe corresponde, e assim evitar o caos gerado com a tendência de acumular várias ferramentas no mesmo compartimento.

Na Figura 85 está bem patente a facilidade com que a partir da tabela de correspondências se consegue localizar as ferramentas de *setup* da referência pretendida.

PT5 - Posto de injeção de zamak no terminal de cabo**Antes****Depois**Figura 85 - Organização das ferramentas de *setup* do posto 5.**3.3.2.3 Ferramenta de aperto rápido**

Os parafusos *umbrako* dos extratores foram substituídos por ferramentas de aperto rápido (Figura 86). Assim, é possível fixar os extratores com um menor número de voltas e sem recorrer ao auxílio de chaves. Com esta melhoria o *setup* torna-se mais rápido, principalmente nas referências maiores, cujos gabarits podem ter até seis extratores. Como as ferramentas de aperto rápido dispensam chaves, evitam-se os custos de aquisição das mesmas e o risco destas não estarem disponíveis no momento em que são necessárias.

PT1 - Posto punçonar 1 e 2

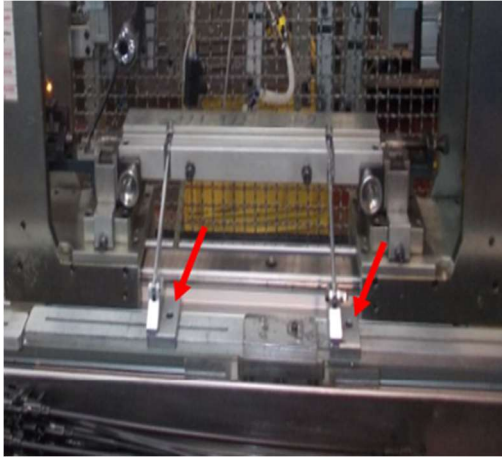
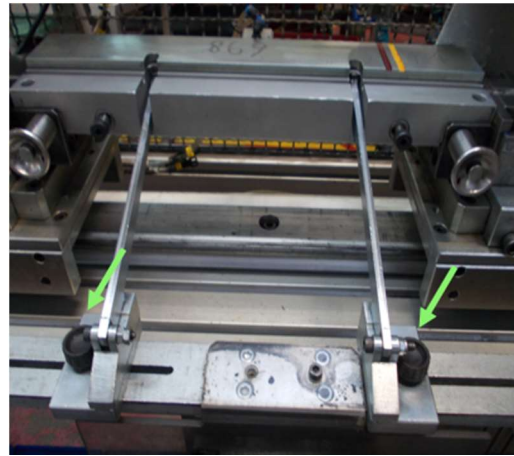
Antes**Depois**

Figura 86 - Substituição dos parafusos por ferramentas de aperto rápido no posto 1 e 2.

No posto 4, o aperto da ferramenta de *setup* de posicionamento do subconjunto para aparar o cabo era efetuado com parafuso *umbrako* M6, o que, dada a localização, se tornava uma operação com dificuldade acrescida. A sua substituição pelo manípulo de aperto rápido, conforme é visível na Figura 87, facilita o aperto da ferramenta.

PT4 - Posto de montar e aparar cabo

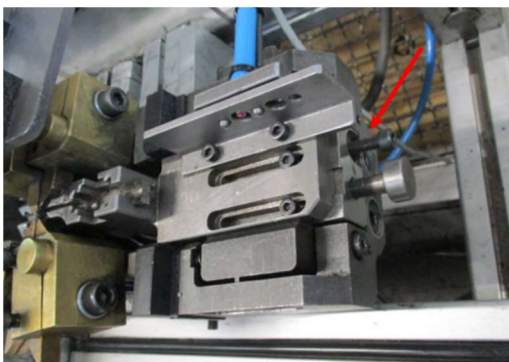
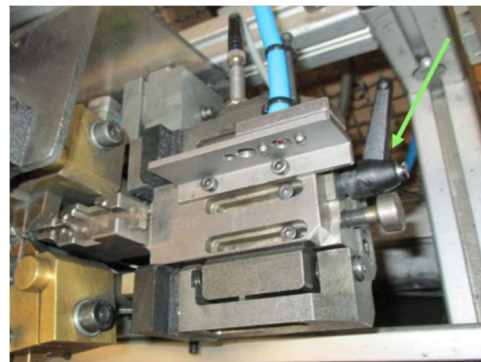
Antes**Depois**

Figura 87 - Substituição do parafuso *umbrako* por manípulo de aperto rápido no posto 4.

3.3.2.3.4 Ferramenta de engate rápido

As ligações de roscar existentes nos tubos de ar comprimido foram substituídas por ligações de engate rápido. Estas ligações foram fixas a uma placa metálica, conforme ilustra a Figura 88, o que permite organizar as tubagens e fixar os pontos de ligação. Com esta melhoria reduziu-se o tempo necessário para efetuar as ligações em aproximadamente 50% e a probabilidade destas se danificarem, uma vez que não tinham pontos de fixação.

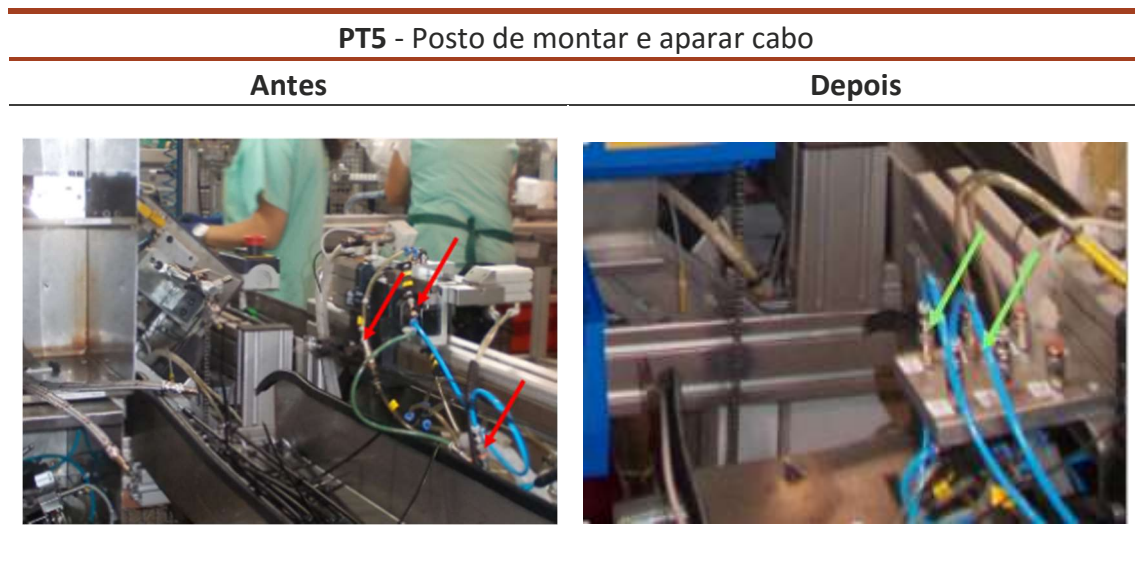


Figura 88 - Ligações de engate rápido no posto 5.

3.3.2.3.5 Disponibilidade das ferramentas de apoio ao *setup*.

As chaves necessárias em cada posto de trabalho para a realização do *setup* foram colocadas ao dispor do operador, conforme comprova a Figura 89.

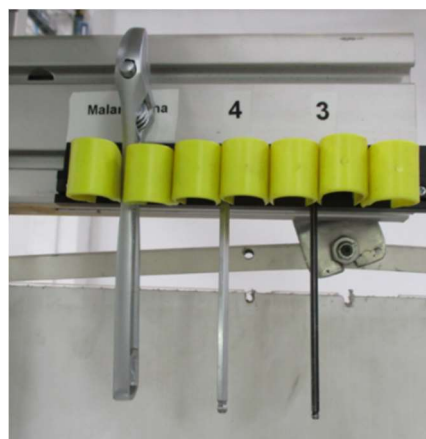


Figura 89 - Suporte e chaves colocadas no posto de trabalho para realizar *setup*.

Antes de implementar esta medida, existia apenas um *kit* com ferramentas de apoio, o que gerava dificuldades e dependência, uma vez que a mesma chave era necessária em mais que um posto em simultâneo. Com esta medida, evita-se a dependência das ferramentas de apoio e a necessidade dos operadores se deslocarem em busca das mesmas.

3.3.2.3.6 Carro de apoio ao *setup*

Foi disponibilizado um carrinho de apoio ao *setup* (Figura 90) equipado com peças de desgaste rápido e ferramentas de apoio, evitando assim algumas deslocações ao armazém. Este carrinho tem também a finalidade de auxiliar na preparação do *setup* externo, servindo como suporte para as ferramentas de *setup* que serão necessárias.



Figura 90 - Carrinho de apoio ao *setup*.

3.3.2.4 Medição do tempo de *setup* após melhorias introduzidas na linha V408.

Na Tabela 30 apresentam-se os tempos de realização de *setup* para cada posto de trabalho considerando a sequência de referências que envolvem maior quantidade de troca de ferramentas.

Tabela 30 - Tempo de realização de *setup* após melhorias.

PT	Sequência de referências	Tempo <i>setup</i> antes das melhorias (min)	Tempo <i>setup</i> após melhorias (min)	Variação (%)
PT1	121912385 -> 121912386	20	10	-50,0
PT2	121912385 -> 121912312	15	8	- 46,6
PT3	121912385 -> 121912386	18	10	- 44,4
PT4	121912385 -> 121912386	15	8	- 46,6
PT5	121912385 -> 121912386	30	10+(10*)	-66,6
PT6	121912385 -> 121912386	7	7	0
PT7	121912732 -> 121912733	5	5	0
PT8	121912311 -> 121912312	5	5	0

*10 min da responsabilidade do técnico afinador para troca do molde na máquina de *zamak* no posto 5.

O *setup* passou a ser realizado em todos os postos pelos respectivos operadores, à exceção da troca do molde na máquina de *zamak* no posto 5, que continua a ser efetuada pelo técnico afinador. No entanto, neste posto de trabalho o operador efetua a troca das restantes ferramentas em paralelo com o técnico afinador, o que permite a realização do *setup* também em 10 min.

3.3.2.5 Resultados efetivamente conseguidos na linha V408.

Os *setups*, como pretendido, passaram a ser realizados pelos operadores da linha de montagem (Figura 91), necessitando apenas da ajuda do técnico nas referências em que se efetua troca do molde na máquina de *zamak*. As ajudas visuais e as fichas de *setup* detalhadas contribuíram em larga escala para este sucesso e para o aumento da motivação dos operadores, dada a independência conquistada na realização destas tarefas.



Figura 91 - Operadores a efetuar o *setup*.

Nos casos em que não é necessária a troca de molde, o *setup* é garantido no máximo em 10 minutos pelos operadores da linha, e na troca de produção entre referências da mesma categoria, conseguem-se *setups* com tempos inferiores a 10 minutos, uma vez que nestes casos a quantidade de ferramentas envolvida é menor.

Tomando como exemplo o *setup* da referência 121912385 para a referência 121912386, que envolve a troca de molde na máquina de *zamak*, os tempos de *setup* em cada posto de trabalho são os apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Tempos de *setup* da referência 121912385 para 121912386.

Station	Tempo de <i>setup</i> Antes das melhorias (min)	Tempo de <i>setup</i> Após melhorias (min)	Variação (%)
1	20	10	-50,0
2	---	---	---
3	18	10	-44,4
4	15	8	-46,6
5	30	10+ (10*)	-66,6
6	7	7	0
7	---	---	---
8	---	---	---
Total	90	45	-50.0

*10 min da responsabilidade do técnico afinador para troca do molde na máquina de *zamak* no posto 5.

Antes das melhorias, para realizar o *setup* entre a referência 121912385 e 121912386, a linha poderia estar indisponível entre 30 a 90 minutos, de acordo com o número de técnicos afinadores que interviessem na realização do *setup*. Com apenas um técnico afinador, a duração do *setup* seria de 90 minutos, uma vez que este teria de assumir o *setup* em todos os postos de

trabalho. Caso o *setup* fosse executado por três técnicos afinadores, demoraria 30 min, já que um técnico assegurava o *setup* no posto de trabalho 5 e os outros dois nos restantes postos. Após melhorias, uma vez que cada operador garante o *setup* no seu próprio posto de trabalho, este tem uma duração de 10 min. A mudança de molde de *zamak* no posto de trabalho 5 é garantida por um técnico que atua em paralelo com o operador.

Partindo do pressuposto que numa semana eram produzidas todas as referências, havia disponibilidade do número de técnicos afinadores para realizar o *setup* no tempo imposto pelo posto de trabalho gargalo, posto de trabalho 5, cujo tempo de *setup* é de 20 minutos nos casos em que não há necessidade de efetuar a troca de molde na máquina de *zamak* e 30 minutos quando troca o molde, e que após melhorias o *setup* é realizado no máximo em dez minutos, conforme apresentado na Tabela 32, conclui-se que o tempo que a linha está indisponível devido a *setups* reduziu no mínimo 58,3%. Assim, no mínimo a linha passou a ter mais 210 minutos de disponibilidade, que na realidade corresponde a um tempo superior, dado que dificilmente intervinham em simultâneo o número de técnicos suficientes para garantir o *setup* no tempo do posto gargalo.

Tabela 32 - Tempo de *setup* por semana.

Grupo	Referência	Tempo de <i>setup</i> antes melhorias (min)	Tempo de <i>setup</i> após melhorias (min)	Varição (%)
Cabos com afinador e terminal curvo	121912378 => 121912380	20	10	-50,0
	121912380 => 121912381	20	10	-50,0
	121912381 => 121912382	30	10	-66,6
Cabos com afinador e terminal reto	121912382 => 121912383	20	10	-50,0
	121912383 => 121912384	20	10	-50,0
	121912384 => 121912385	20	10	-50,0
	121912385 => 121912386	30	10	-66,6
Cabos com mola	121912386 => 121912387	20	10	-50,0
	121912387 => 121912732	30	10	-66,6
	121912732 => 121912733	30	10	-66,6
Cabos duplos	121912733 => 121912311	30	10	-66,6
	129215311 => 121912312	20	10	-50,0
	129215312 => 121912868	20	10	-50,0
	129215868 => 121912869	20	10	-50,0
	129215869 => 121912378	30	10	-66,6
	Total	360	150	-58,3

Antes de efetuar as melhorias, para realizar o *setup* no tempo apresentado na Tabela 32, em média, eram necessários três técnicos afinadores para garantir o *setup* em todos os postos de trabalho da linha. Após melhorias, é necessária a intervenção de apenas um técnico afinador quando se efetua a troca do molde de *zamak*, uma vez que os restantes postos são garantidos pelos operadores. Semanalmente, a intervenção dos técnicos afinadores passou de 18 horas (360 min*3 técnicos/60 min/hora) para 1 hora (6 *setups* com mudança de molde com 1 técnico*10 min/60 min/hora), o que representa uma redução semanal de 94.4% no tempo de intervenção dos técnicos afinadores.

Face aos resultados obtidos, neste que se pretendia ser um projeto piloto, as metodologias adotadas foram difundidas para outras linhas existentes na fábrica, conforme documentado na Figura 92 para a linha MVS2.

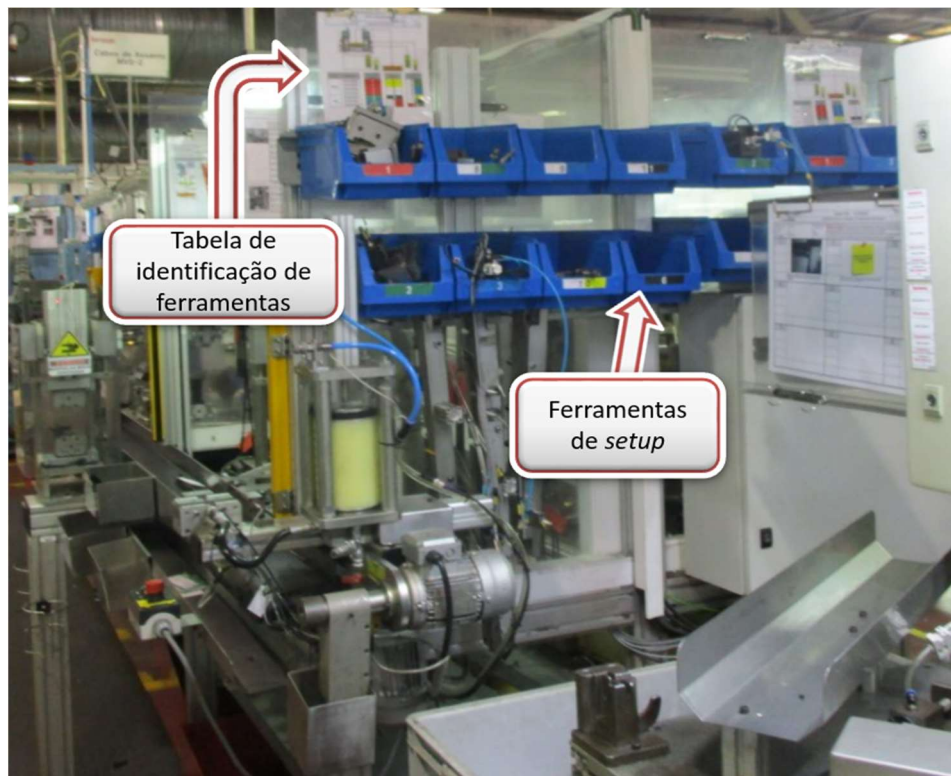


Figura 92 - Metodologia de melhoria de *setup* aplicada na linha MVS2.

De grande relevância, foi a adesão por parte da equipa de Engenharia de Processos aos conceitos validados na linha V408. A fazer prova do exposto, encontram-se patentes na linha multi-referências em fase de montagem, registos das melhorias implementadas na linha V408.

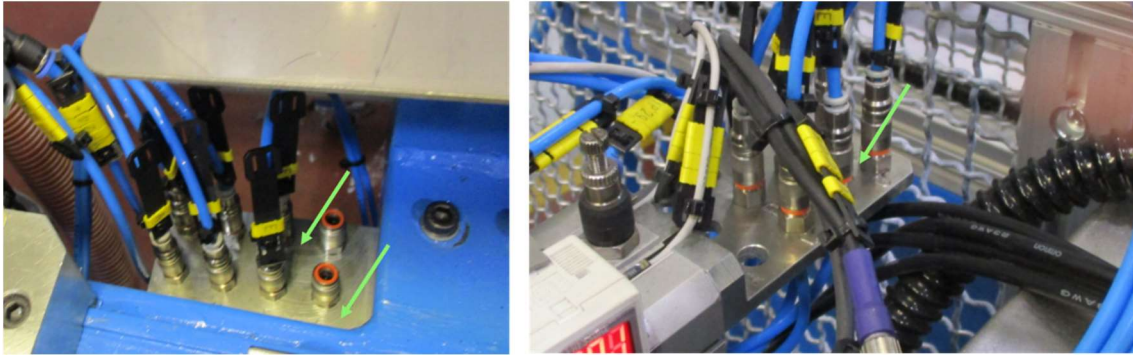


Figura 93 - Uso de ferramentas de aperto rápido.

É de salientar a preferência por ferramentas de aperto rápido (Figura 93), o uso de ferramentas de engate rápido com placa de fixação para os mesmos (Figura 94), numeração e rebaixo para identificação das ferramentas de *setup* através do código de cores, como parte integrante da peça (Figura 95).



Figura 94 - Uso de ferramentas de engate rápido.

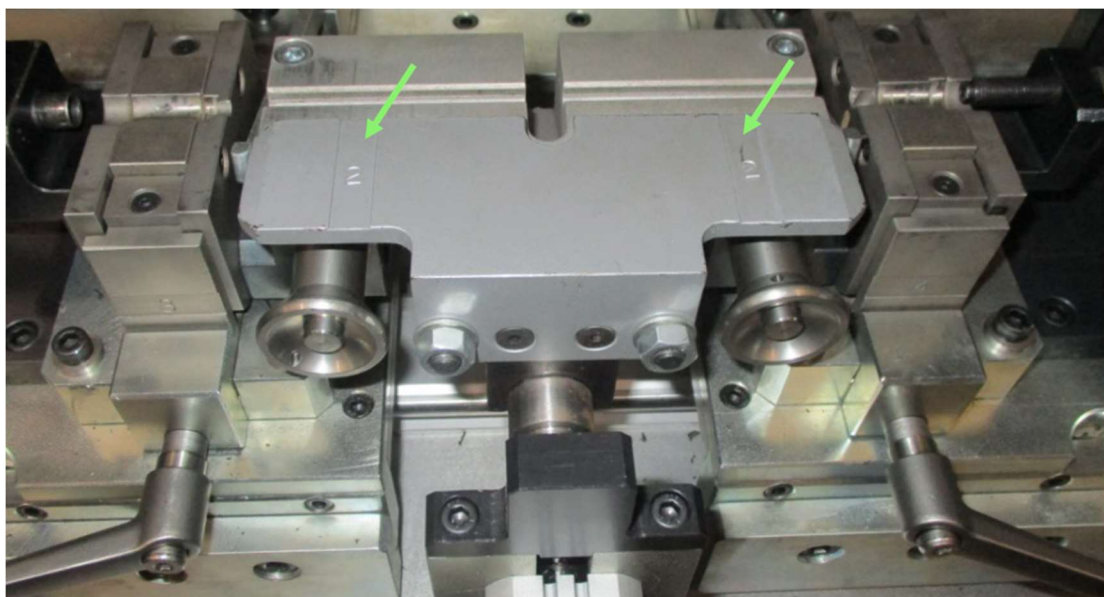


Figura 95 - Inscrição e abertura de rasgos para o código de cores.

Como demonstrado, os objetivos iniciais do trabalho desenvolvido na linha V408 foram atingidos. O *setup* na linha é agora realizado pelos operadores, e dentro do tempo regulamentado para as operações previstas. É de grande relevância a proliferação dos conceitos utilizados para as linhas existentes e novos projetos. Por forma a regulamentar os conceitos utilizados nesta linha foi elaborado um manual que se encontra no anexo III.

CONCLUSÕES

4 CONCLUSÕES

A indústria automóvel é um dos sectores mais exigentes do mercado global, pelo que se impõe que a sua produtividade e flexibilidade aumente de forma sistemática. Atendendo ao panorama económico que vivemos, o grande desafio é, sem investimento, reduzir custos e aumentar a competitividade. Neste contexto, é determinante que as empresas tenham bases sólidas em *Lean* e sejam entusiastas da melhoria contínua dos processos e das pessoas.

Neste trabalho foram utilizadas ferramentas e técnicas *Lean* como: *Value Stream Mapping*, gestão visual, 5S, *standard work*, *Kaizen*, ciclo PDCA e SMED para, perante oportunidades de redução de desperdícios, atuar com o objetivo de melhorar a eficiência dos processos de produção.

O VSM é neste âmbito uma ferramenta potente, que proporciona uma visão global da cadeia de valor e dos processos produtivos envolvidos. Fontes de desperdício e pontos críticos são facilmente identificados por este meio. A partir da análise do estado atual e tendo por base os conceitos *Lean*, são identificadas melhorias passíveis de ser implementadas, com o intuito de conduzir ao estado futuro que abrange o almejado aumento de produtividade.

Para alcançar em pleno o estado futuro é necessário recorrer a um plano de ações, onde para cada ponto crítico está identificada a ação a implementar, o seu responsável, e a data de conclusão. A associação da metodologia PDCA ao plano de ações permite um acompanhamento sistematizado da evolução da resolução dos problemas, que requer um acompanhamento muito próximo no chão de fábrica até todo o processo estabilizar. Só desta forma é possível garantir que as alterações implementadas foram entendidos pelos operadores e os problemas foram todos equacionados e solucionados.

Esta abordagem reflete-se nos dois casos de estudo apresentados neste trabalho. No caso da linha MQB1 que tinha como objetivo aumentar a produtividade de forma a satisfazer os pedidos do cliente, foram realizadas ações de melhoria nos equipamentos e eliminados/reduzidos os desperdícios associados a problemas de abastecimento, movimentos do operador, fiabilidade dos equipamentos, balanceamento de tarefas, definição e padronização de métodos de trabalho, entre outros, alcançando desta forma um aumento de produtividade de 41% correspondente a 143 peças por hora, com apenas um investimento cujo retorno se prevê num período de aproximadamente 4 meses. Com isto, os problemas em satisfazer os pedidos do cliente foram resolvidos, evitando a aquisição de uma linha nova, o que significou uma enorme

poupança para a empresa. Paralelamente, minimizou-se o prejuízo que esta linha representava, uma vez que com o aumento da produtividade as quantidades produzidas são agora mais próximas das orçamentadas.

No caso da linha V408, que tinha como objetivo reduzir o tempo de *setup* através da aplicação da metodologia SMED juntamente com outras ferramentas *Lean* (5S, gestão visual e *standard work*), foram implementadas várias ações de melhoria no que concerne à organização e identificação das ferramentas, à utilização de ferramentas de aperto e engate rápido, reorganização das tarefas internas e externas, fichas de *setups* detalhadas, ajudas visuais e formação aos operadores, alcançando desta forma uma redução do tempo de *setup* semanal mínima de 58.3%, correspondente a 210 min. Este ganho é superior na prática, dado que o número de técnicos disponíveis dificilmente eram os três que em média seriam necessários para realizar o *setup*, no tempo correspondente ao posto gargalo. Ao ganho de disponibilidade da linha acresce o facto de os *setups* passarem a ser assegurados nos vários postos de trabalho pelos próprios operadores, dispensando a intervenção dos técnicos afinadores, exceto na mudança de referências que necessitam da troca de molde de *zamak*, em que o técnico afinador manteve a sua intervenção, atuando em paralelo com o operador do posto de trabalho 5.

Graças aos resultados obtidos nestes projetos, a empresa está a implementar este tipo de abordagem noutras linhas existentes na fábrica e a novos projetos. Reconhecidamente as ferramentas *Lean* tiveram um papel preponderante nos resultados obtidos, pela forma como conduziram a uma abordagem sistemática aos processos e ao envolvimento das pessoas.

Recomenda-se vivamente a continuidade desta análise nas restantes linhas, uma vez que permite o levantamento dos problemas ou ineficiências existentes e, através de um estudo cuidadoso, encontrar soluções viáveis e de baixo custo que conduzirão a um aumento significativo da fiabilidade e eficiência dos processos.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] M. Graham and M. LeBaron, 1994. *The Horizontal Revolution*. Jossey-Bass, San Francisco, pp. 37-49.
- [2] L. M. B. Scartezini, 2009. *Análise e Melhoria de Processos*. Goiânia, pp.6-19.
- [3] Instituto Português da Qualidade, 2008. *Norma Portuguesa 9001:2008*.
- [4] J. Harrington, 1993. *Aperfeiçoando Processos Empresariais*. Makron Books, São Paulo, pp. 56-72.
- [5] M. L. Cortes and T. C. S. Chiossi, 2001. *Introdução à Engenharia de Software*.
- [6] R. Santos, *Gestão por Processos*, [Online]. Available: <http://pt.slideshare.net/Ridlo/gesto-por-processo>. [Accessed: 01-Maio-2016].
- [7] J. E. L. Gonçalves, 2000. *As Empresas são Grandes Coleções de Processos*. RAE - Revista de administração de empresas, São Paulo, pp. 6–9.
- [8] J. P. Campos, 2005. Mapeamento de Processos : Uma estratégia vencedora, *Ábaco Engenharia*, pp. 7-12.
- [9] J. M. Juran and A. B. Godfrey, 1998. *Juran's Quality Handbook*. 5ª edição. McGraw-Hill, pp. 150-183 .ISBN: 007034003X.
- [10] D. A. Elkins, N. Huang, and J. M. Alden, 2004. *Agile manufacturing systems in the automotive industry*. vol. 91, pp. 201–214.
- [11] J. M. Jacka and P. J. Keller, 2009. *Business Process Mapping*. John Wiley & Sons, INC., New Jersey, pp. 12-21; pp. 54-62. ISBN: 978-0-470-44458-0.
- [12] P. Ghinato, 1996. Sistema Toyota de Produção : *Mais do que simplesmente Just-In-Time*. EDUSC, Caxias do Sul, pp. 169–189.
- [13] M. Rother and J. Shook, 1999. *Learning to see*. Brookline, Massachusetts, USA, pp. 149-155.
- [14] J. P. Pinto, 2008. *Lean Thinking- Introdução ao Pensamento Magro*. Comunidade Lean Thinking, pp 1-28.
- [15] J. P. Womack, D. T. Jones, and D. Roos. *A máquina que mudou o mundo*, 5ª Edição, Editora Campus, Rio de Janeiro, pp 48-72.
- [16] M. C. Kocakülâh, J. F. Brown, and J. W. Thomson, 2008. *LEAN Manufacturing Principles and their Application. Cost Manag.*, pp. 16–27.
- [17] A. C. Alves, J. Dinis-Carvalho, R. M. Sousa, F. Moreira, and R. M. Lima, 1990. *Benefits of LEAN Management: Results from some industrial cases in Portugal*. Edições INEGI, pp. 1-8.
- [18] J. Liker, 2004. *The Toyota Way-14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill, New York, pp. 49-70. ISBN: 0071392319.
- [19] CTCP - Centro tecnológico do calçado de Portugal, 2012. *Produção Lean*. Guia do Empresário, pp 1-47.
- [20] S. Moreira, 2011. *Aplicação de Ferramentas Lean. Caso de Estudo*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - Departamento de Engenharia Mecânica, Lisboa, pp 32-48.

- [21] J. D. T. Womack, J.P.,1996. *Lean Thinking*. Schuster & Simon New York, pp 159-174.
- [22] M. Nguyen and N. Do, 2016. *Re-engineering Assembly Line with Lean Techniques*, vol. 40, pp. 591–596.
- [23] G. Chryssolouris, N. Papakostas, and D. Mavrikios, 2008. *A perspective on manufacturing strategy: Produce more with less*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, vol. 1, pp. 45–52.
- [24] J. P. Pinto, 2009. *Pensamento Lean-A filosofia das Organizações Vencedoras*. Lidel - Edições técnicas, 4ª ed., Lisboa, pp 79-102.
- [25] E. S. M. da Costa, R. M. Sousa, S. Bragança, and A. C. Alves, 2013. *An industrial application of the SMED methodology and other lean production tools*. 4th Int. Conf. Integrity, Reliab. Fail. Mech. Syst., vol. 1, no. i, pp. 1–8.
- [26] J. Choomlucksana, M. Ongsaranakorn, and P. S. F, 2015. *Improving the productivity of sheet metal stamping subassembly area using the application of lean manufacturing principles*. *Procedia Manuf.*, vol. 2, pp. 102–107.
- [27] B. Vodde and C. Larman, “Ean rimer,” no. c, pp. 1–46.
- [28] J. Liker and Meier, 2006. *The Toyota Way Fieldbook, a practical guide for implementation Toyota’s 4P’s*. pp 15-35.
- [29] A. C. Moreira and G. C. S. Pais, 2011. *Single minute exchange of die. A case study implementation*. *J. Technol. Manag. Innov.*, vol. 6, no. 1, pp. 129–146.
- [30] R. Sundar, A. N. Balaji, and R. M. Satheesh Kumar, 2014. *A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques*. *Procedia Eng.*, vol. 97, pp. 1875–1885.
- [31] Yash Dave and Nagendra Sohani, 2012. *Single Minute Exchange of Dies: Literature Review*. *Int. J. Lean Think.*, vol. 3, no. 2, pp. 27–37.
- [32] S. Spear, 2004. *Learning to Lead at Toyota*. Harvard Business Review, pp. 54–63.
- [33] J. Liker, 2005. *The Toyota Way*. pp 1-24.
- [34] E. Coimbra,2003. *Kaizen in Logistics & Suplly Chains*. Mc Graw Hill Education, New York, pp 115-137. ISBN: 9780071811057.
- [35] G. Halevi, 2001. *Handbook of Production Management Methods*, 1ª. Butterworth Heinemann, pp 24-30. ISBN: 0 7506 5088 5.
- [36] Toyota, *Sistema de produção Toyota*. [Online]. Available: <http://www.toyota-forklifts.com.pt/pt/company/toyota-production-system/pages/default.aspx>. [Accessed: 01-Agosto-2016].
- [37] Toyota Industrial Equipment, 2010. *Toyota Production System*. FSC, pp 1-11.
- [38] J. M. Alves, 1996. *O Sistema just in time reduz os custos do processo produtivo*. Centro Técnico Aeroespacial-CTA, S. José dos Campos, pp 3-15.
- [39] B. M. M. Azevedo, 2011. *Modelo de Implementação de Sistema de Produção Lean no INESC Porto*,” FEUP, pp 13-39.
- [40] O. Taiichi, 1997. *Toyota Production System: beyond large-scale production*. Productivity Press,New York, pp 17-45. ISBN 0-915299-14-3.
- [41] M. Cakmakci, 2009. *Process improvement: Performance analysis of the setup time*

- reduction-SMED in the automobile industry. Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 41, no. 1–2, pp. 168–179.
- [42] TPS Handbook. *Toyota production system basic handbook*. Art of Lean, Inc., pp 2-23.
- [43] B. M. Deros, D. Mohamad, M. H. M. Idris, M. N. a Rahman, and J. a Ghani, 2011. *Setup Time Reduction in an Automotive Battery Assembly Line. Int. J. Syst. Appl. Eng. Dev.*, vol. 5, no. 5, pp. 618–625.
- [44] P. L. King, 2009. *SMED in the Process Industries. Ind. Eng.*, vol. 41, no. 9, pp. 30–35.
- [45] B. S. Kumar and S. S. Abuthakeer, 2013. *Implementation of Lean Tools and Techniques in an Automotive Industry. J. Appl. Sci.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699.
- [46] R. D. Calado, F. A. Calarge. *Metodologia de Estudo de Tempos para Balanceamento de Linha de Montagem: Utilizando a Técnica de Filmagem*. FEMP/UNIMEP, pp 1-8.
- [47] T. F. Quintas, 2011. *Optimização do Processo de Gestão de Moldes e Ferramentas*. Faculdade de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica, Porto, pp 9-13.
- [48] M. Sugai, R. Mcintosh, and N. Olívio, 2007. *Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso*. Gest. Prod., São Carlos, v. 14, n. 2, p. 323-335, pp. 323–335.
- [49] B. Ulutas, 2011. *An application of SMED Methodology. World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 7, pp. 100–103.
- [50] V. Kumar and A. Bajaj, 2015. *The Implementation of Single Minute Exchange of Die with 5 ' S in Machining Processes for reduction of Setup Time. Int. J. Recent Technol. Mech. Electr. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 32–39.
- [51] M. M. Esa, N. A. A. Rahman, and M. Jamaludin, 2015. *Reducing High Setup Time in Assembly Line: A Case Study of Automotive Manufacturing Company in Malaysia. Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 211, pp. 215–220.
- [52] D. Ribeiro, F. Braga, R. Sousa, and S. Carmo-Silva, 2011. *An application of the smed methodology in an electric power controls company. Rom. Rev. Precis. Mech. Opt. Mechatronics*, vol. 3, no. 40, pp. 115–122.
- [53] R. Lopes, C. Neto, and Pinto J, 2006. *Quick Changeover: Aplicação prática do método SMED*. Lean Thinking Community, pp 2-8.
- [54] A. Simões and A. Tenera, 2010. *Improving setup time in a press line - Application of the SMED methodology*. vol. 43, no. 17. IFAC. pp 25-37.
- [55] H. S. Gitlow, 2009. *A guide to Lean Six Sigma Management Skills*. CRC Press, USA , pp 1-13. ISBN: 978-1-4200-8416-0
- [56] Citeve, 2012 “Ferramenta de Desenvolvimento e aplicação do Lean Thinking no STV, Porto, pp 3-24.
- [57] W. C. Schimidt, M. Lippert, and D. A. J. Pacheco, 2013. *Análise da implantação do sistema Kanban no processo de injeção de plásticos*. A Revista Eletrônica da Faculdade de Ciências Exatas e da Terra Produção/construção e tecnologia, v. 4, n. 6, pp. 51–61.
- [58] Akita On Rails. *Desmistificando o Método Kanban*. [Online]. Available: <http://www.akitaonrails.com/2013/05/31/desmistificando-o-metodo-kanban>, [Accessed: 01-Maio-2016]

- [59] S. Shingo, 1986. *Zero quality control: Source inspection and the poka-yoke system*. Productivity Press, Cambridge.
- [60] A. Serotnik, *Poka Yoke*," www.ebah.pt/content/ABAAAenHUA/poka-yoke. .
- [61] P. Dennis, *Lean Production Simplified: A plain-language guide to the world's most powerful production system*. Productivity Press, 2007.
- [62] Kaizen Institute, SDCA before you do PDCA. [Online]. Available: <https://in.kaizen.com/blog/post/2015/05/05/sdca-before-you-do-pdca.html>, [Accessed: 01-Fevereiro-2017]
- [63] Slack N., Chambers S., and R. Johnston, 2001. *Operations Management*. 3rd Ed. Ha. Person Education Limited.
- [64] J. H. M. Jorgenca, Melhorias de Processos segundo o PDCA - Parte I, [Online]. Available: <http://jorgenca.blogspot.pt/2012/04/melhorias-de-processos-segundo-o->, [Accessed: 01-Fevereiro-2017]
- [65] R. Bauer, Kontinuierliche Verbesserung als Managementtechnik, [Online]. Available: http://www.robert-bauer.eu/kvp_text.php?sid=kvp-5.1.4, [Accessed: 15-Fevereiro-2017]
- [66] A. Azizi and T. a/p Manoharan, 2015. *Designing a Future Value Stream Mapping to Reduce Lead Time Using SMED-A Case Stud. Procedia Manuf.*, vol. 2, no. February, pp. 153–158.
- [67] J. M. Rohani and S. M. Zahraee, 2015. *Production Line Analysis via Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process of Color Industry. Procedia Manuf.*, vol. 2, no. February, pp. 6–10.
- [68] P. M. F. Bettencourt, 2015. *Otimização de Processos em Linha de Montagem*. FEUP, pp 25-48.
- [69] M. Rother and R. Harris, 2011. *Creating a continuous flow*. Lean Interprise Institute.
- [70] G. Carvalho, Continuous Flow, Lean Basics, Lean Implementation, [Online]. Available: <https://leansharecafe.wordpress.com/2010/10/25/35/>, [Accessed: 15-Fevereiro-2017]
- [71] Ljungberg, 1998. *Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities*," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*
- [72] R. Moore, 2007. *Selecting the Right Manufacturing Improvement Tools*. Butterworth-Heinemann.
- [73] Vorne Industries Inc., Six Big Losses, [Online]. Available: <http://www.oeo.com/oeo-six-big-losses.html>, Accessed: 15-Agosto-2016]
- [74] R. K. Sharma, D. Kumar, and P. Kumar, 2006. *Manufacturing excellence through TPM Implementation*. Industrial Management & data systems.
- [75] I. Ahuja and J. Khamba, 2008. *Total productive maintenance: literature review and directions*," *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*
- [76] Malmec, Overall Equipment Effectiveness (OEE) [Online]. Available: <http://www.malmec.co.uk/home/operational-excellence/overall-equipment-effectivenessw/> [Accessed: 10-Set-2016].
- [77] K. Park and S. Han, 2001. *TPM-Impact on Competitiveness and a Framework for Successful Implementatio. Hum. Factors Ergon. Manuf.*

- [78] S. Nakajima, 1988. *Introduction to TPM - Total Productive Maintenance*. CambridgeProductivity Press. Inc..
- [79] Pinto, 2002. *Organização e Gestão da Manutenção*. Monitor.
- [80] Costa % Arezes, 2003. *Introdução ao Estudo do Trabalho*. Guimarães.
- [81] P. A. S. Ávila, 2010. *Metodologia de Análise e Melhoria do Processo*. pp 2-35.
- [82] S. S. Rodrigo, 2002. *Estudo de um Caso com Utilização de Técnicas de Estudo do Métodos e Tempo - Cronometragem e Sistemas de Tempos pré-determinados*.
- [83] C. C. Gomes, 2003. *Estudo de trabalho na confeção utilizando técnicas de cronometragem e tempos pré-determinado*.Guimarães.
- [84] M. C. Machado, 2012. *Gestão de Operações IV*. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária Departamento de Administração.
- [85] L. Exertus, 2003. *Manual Pedagógico PRONACI - Métodos e Tempos*. Eurisko - Estudos, Projectos e Consultoria, S.A, Leça da Palmeira, pp 5-50. ISBN: 9728702159.
- [86] L. G. Kelency, R. W. L. Cordeiro, and A. C. Blati, 2010. *Balanceamento de operações*. São Paulo, pp 7-48.
- [87] R. M. Barnes, 2004. *Estudo de movimentos e tempos*. Editora Edgard Blucher LDA, São Paulo.
- [88] J. Einstein and N. Gomes, 2008. *Montagem na Indústria Automotiva -um estudo de caso. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de produção*, Rio de Janeiro.
- [89] C. Hi-Lex, Hi-LEX Push-Pull Cables,” [Online]. Available: <http://www.hi-lex.co.jp/e/cable/automobile/automobile02.html> [Accessed: 28-Maio-2016].
- [90] E. M. G. Braga, 2015. *Otimização do processo de injeção de zamak*. Instituto Superior de Engenharia do Porto, pp 96-109.
- [91] C. Hi-Lex, Automobiles and Industrial Equipment -Control Cable System. [Online]. Available: <http://www.hi-lex.co.jp/e/cable/report/index.html>[Accessed: 29-Maio-2016].
- [92] J. Szmigielska,2007. *Desigh hand book – Sistema de transmissão de movimento* FEUP-Faculdade de Engenharia do Porto, Porto, pp 18-21.
- [93] CarlStahl, *TechnoCables*. Carl Stahl GmbH, Germany.
- [94] FicoCables, 2010. *Manual global_Ficocables*.
- [95] Ficosa [Online]. Available: <https://www.ficosa.com> [Accessed: 27-Abril-2017].
- [96] R. A. Kalid, 2015. *Otimização de Processos*. Escola Politécnica da UFBA.
- [97] Ficocables, 2004. *Dossier técnico de fabrico de espiral*. Maia.
- [98] Ficocables, 2004. *Dossier Técnico de Extrusão*. Maia.
- [99] FicoCables, 2005. *Manual de Corte Cabo*. Maia.
- [100] M. Castro, 2015. *Processo de injeção*. Maia.

ANEXOS

ANEXO I PROCESSOS USADOS NO FABRICO DOS CABOS DE
COMANDO PARA AUTOMÁVEIS: PROCESSOS ASSOCIADOS AOS
FABRICOS

ANEXO II PDCA DA LINHA MQB1

ANEXO III INSTRUÇÕES PARA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA
SMED NAS LINHAS DE MONTAGEM

ANEXO IV ARTIGO I

ANEXO V ARTIGO II

6 ANEXOS

ANEXO I Processos usados no fabrico dos cabos de comando para automóveis: Processos associados aos fabricos.

Neste anexo encontra-se uma breve descrição dos processos de fabrico associados à produção de espiral, revestimento de cabo metálico, corte de cabo e espiral, primeira injeção *de zamak* nos terminais do cabo e sobreinjeção de plástico nos terminais da espiral e terminais de cabo.

Fabrico de espiral

Na Figura 96, estão representados os três tipos de espiral fabricados: a espiral laminada, armada e tipo *braided*.

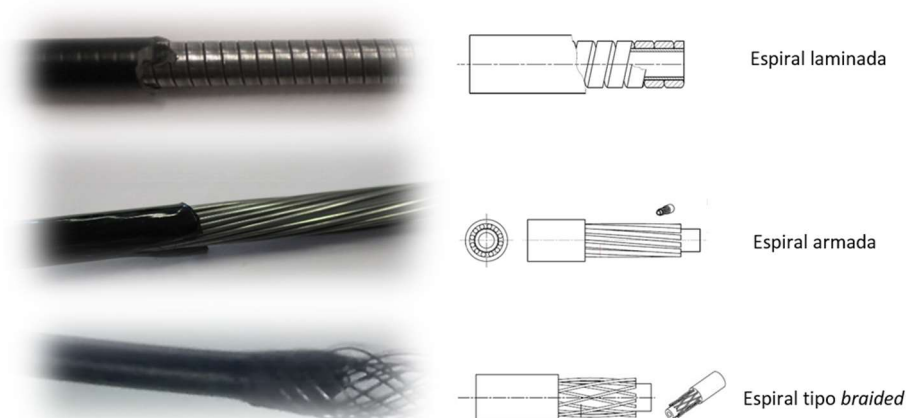


Figura 96 - Tipos de espiral fabricadas pela Ficocables.

Espiral Laminada

De uma forma global, o equipamento de fabrico de espiral laminada é constituído pelos grupos legendados) na Figura 97 [97].

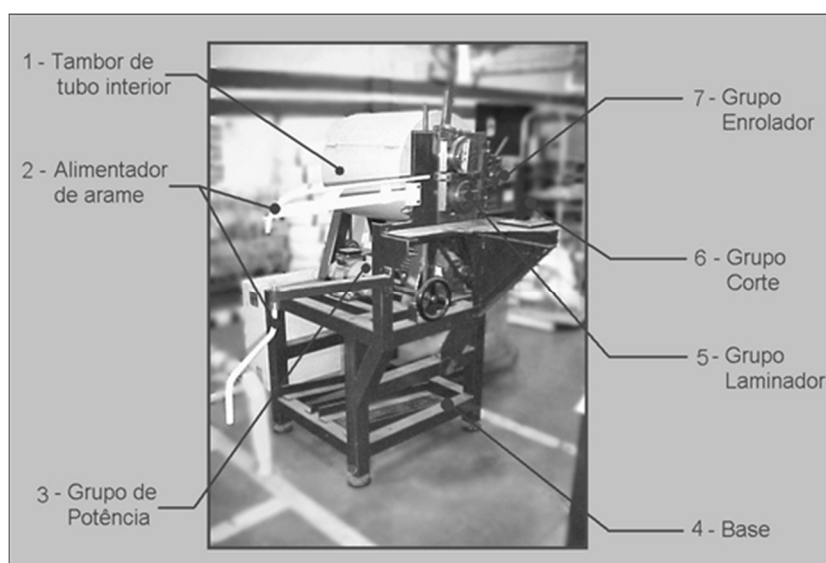


Figura 97 - Equipamento de fabrico de espiral laminada com tubo interior [97].

Este equipamento é responsável pelos dois subprocessos que ocorrem no fabrico da espiral, a laminagem a frio do arame e o seu enrolamento em espiral, que se pode processar sobre tubo interior ou não, conforme o produto final pretendido.

Conforme é visível na Figura 98 o arame dispensado pelo grupo alimentador, passa entre dois rolos laminadores que o laminam e empurram para o grupo enrolador.

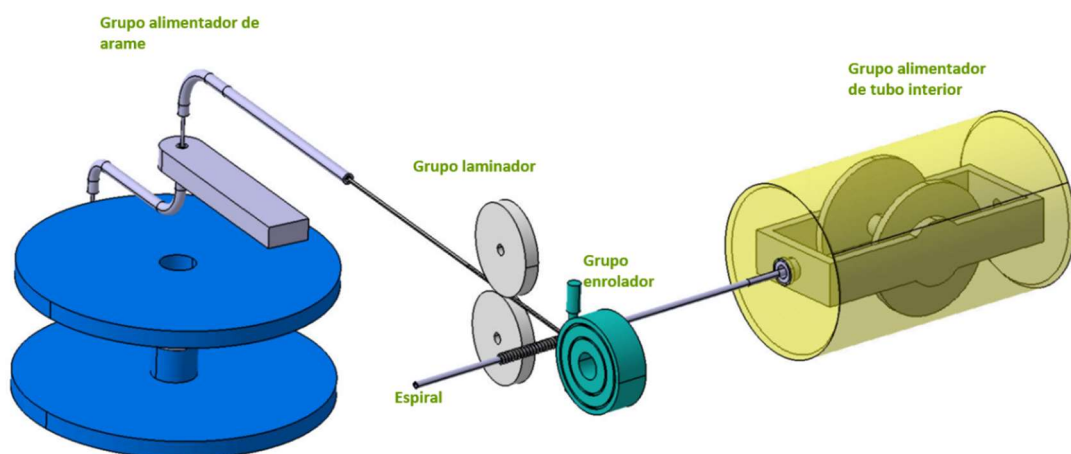


Figura 98 - Processo de fabrico de espiral laminada com tubo interior [97].

No subprocesso de laminagem a frio, o arame de secção circular é esmagado entre dois rolos de modo a obter uma nova forma, como ilustra a Figura 99.

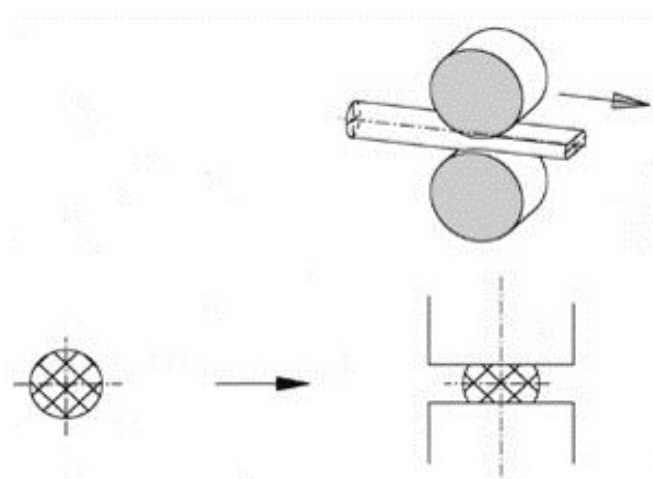


Figura 99 - Subprocesso de laminagem interior [97].

O enrolamento do arame em espiral, consiste em fazer passar o arame laminado por entre dois apoios (vídeas), contra um pequeno rolo (rolamento). As vídeas impedem o movimento do

arame para um dos lados, para cima e para baixo e o rolamento não deixa que o arame siga em frente. O movimento rotativo do rolo garante o enrolamento constante, como evidencia a Figura 100.

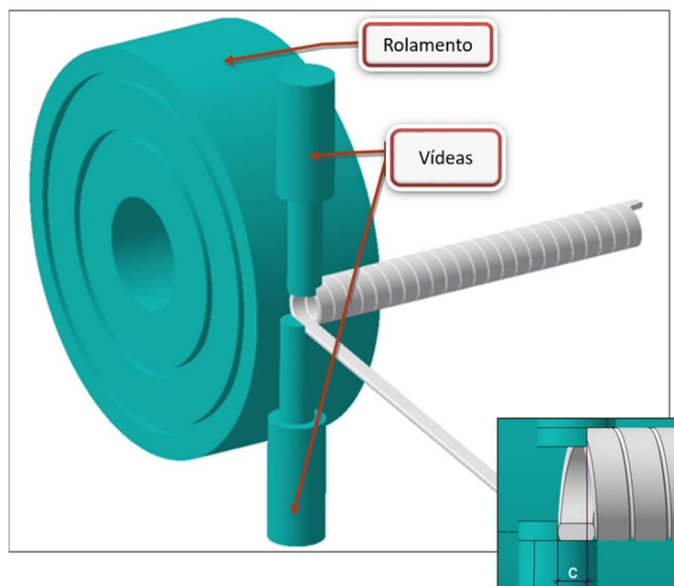


Figura 100 - Enrolamento do arame em espiral interior [97].

Existem dois tipos de máquinas para o fabrico de espiral armada, as de origem chinesa (Figura 101a) e as máquinas mais antigas para fabrico de espiral com tubo interior (Figura 101b) e sem tubo interior (Figura 101c). No caso das máquinas de origem chinesa, é necessário que haja uma pré-laminagem inicial executada pelos laminadores e, posteriormente, quando as bobinas são colocadas dentro destas máquinas, o arame é novamente laminado pela fieira. No caso das máquinas antigas de fabrico de espiral, o arame é introduzido diretamente na mesma e só existe uma única fase de laminagem do arame.



Figura 101 - Máquina de fabrico de espiral. a) máquina de origem chinesa b) máquina mais antiga para fabrico de espiral com tubo interior c) máquina mais antiga para fabrico de espiral sem tubo interior.

A espiral é posteriormente revestida e cortada de acordo com o comprimento exigido nos cabos de comando onde se vai integrar.

Espiral Armada

No fabrico da espiral armada é utilizado o equipamento apresentado na Figura 102. Este é constituído por uma planetária de discos, uma extrusora com tina de arrefecimento e um tapete de arrasto.



Figura 102 - Equipamento utilizado no fabrico de espiral armada.

Este equipamento permite fabricar espiral armada com um máximo de 20 arames enrolados sobre tubo interior com um passo previamente definido.

O abastecimento do tubo interior é feito a partir da bobine existente na retaguarda da máquina e o abastecimento dos arames é realizado a partir das bobines colocadas nos desenroladores existentes nos discos, como mostra a Figura 103.

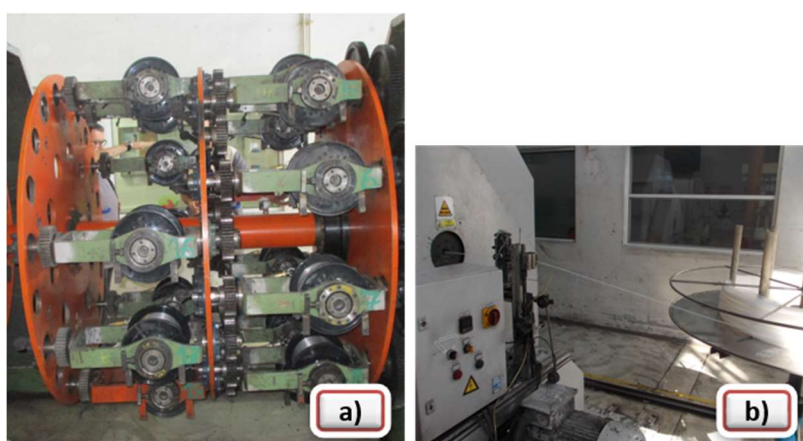


Figura 103 - Abastecimento da planetária. a) arame b) tubo interior.

Os arames provenientes das bobines são encaminhados por guias e roldanas de forma a convergir para a fieira, onde culmina o processo de enrolamento dos arames sobre o tubo

interior, conforme elucidada a Figura 104. Também se pode visualizar nesta imagem a existência de três *Poka Yokes*, que garantem a paragem da máquina na eventualidade de um arame rebentar.

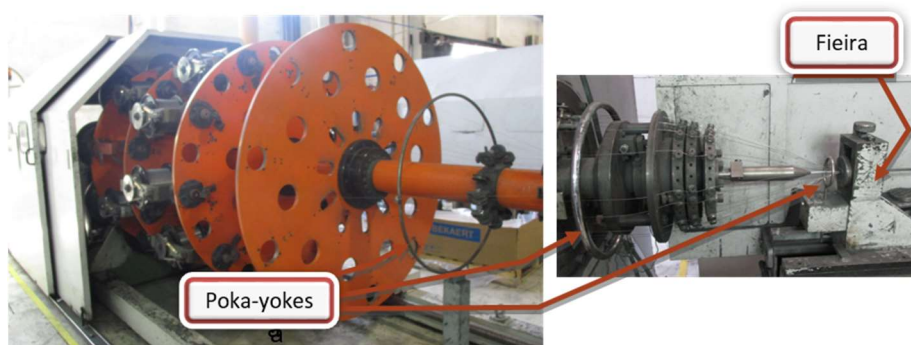


Figura 104 - Planetária - guiamento dos arames para a feira.

O tracionamento dos arames é garantido pelo tapete de arrasto existente no final da linha. A velocidade com que o tapete traciona os arames, juntamente com a velocidade a que rodam os pratos da planetária, determinam o passo da espiral. Estes parâmetros são previamente definidos e introduzidos na consola da máquina.

O processo de revestimento da espiral por extrusão será abordado no item dedicado ao tema.

Espiral tipo *braided*

No fabrico da espiral tipo *braided* é utilizado o equipamento apresentado na Figura 105. Este é constituído por uma planetária de tambores, uma extrusora com tina de arrefecimento e um tapete de arrasto.

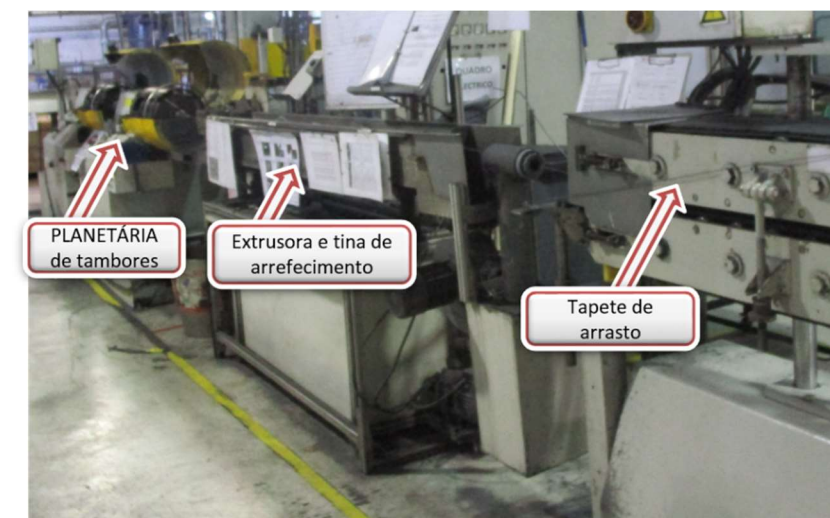


Figura 105 - Equipamento utilizado no fabrico de espiral tipo *braided*.

O abastecimento do tubo interior é feito a partir da bobine existente na retaguarda da máquina e o abastecimento dos arames é realizado a partir das bobines colocadas no interior dos tambores, como mostra a Figura 106.



Figura 106 - Abastecimento de arames e tubo interior.

Conforme elucidado na Figura 107, a máquina utilizada no fabrico da espiral tipo *braided* conta com dois tambores que se movimentam em sentido contrário, fazendo com que os arames provenientes das bobines, enrolem sobre o tubo interior com oito arames para a direita e outra camada de oito arames para a esquerda, de acordo com a proveniência do primeiro ou do segundo tambor. Também se pode visualizar nesta imagem a existência de dois *Poka Yokes*, que garantem a paragem da máquina na eventualidade de um arame rebentar.

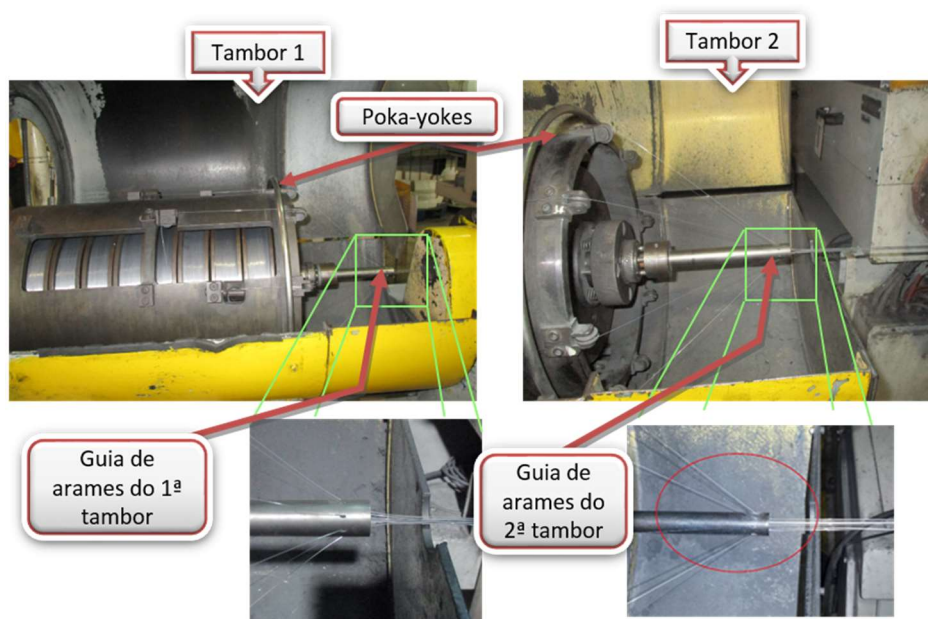


Figura 107 - Fabrico de espiral tipo *braided*.

O tapete de arrasto é o responsável por tracionar o arame. O passo definido para a espiral fabricada (atualmente apenas um tipo) é garantido pela velocidade do tapete de arrasto e pela velocidade de rotação dos tambores.

A espiral obtida pelo processo descrito é revestida por extrusão, processo que será abordado no item seguinte.

Extrusão

O processo de extrusão é utilizado no fabricado de tubo estrela e de tubo interior, no revestimento da espiral, de cabo metálico e de arames. Atualmente na empresa, apenas é efetuado revestimento de espiral, cabo metálico e arames.

A máquina utilizada para extrudir um material é designada de extrusora (Figura 108). Quando um material é extrudido, é forçado a passar através de uma abertura à qual chamamos fieira. Esta abertura confere-lhe a forma final [98].

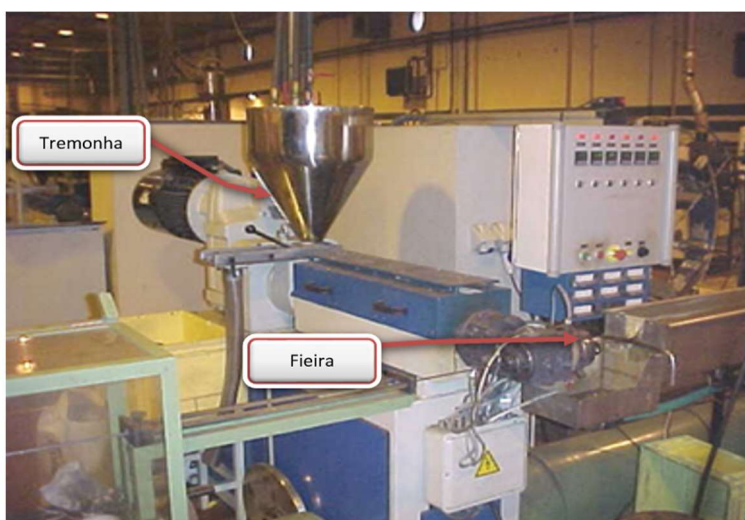


Figura 108 - Extrusora (Adaptado de Ficocables, 2004a).

O material em granulado é alimentado à extrusora através da tremonha. No interior da extrusora existe um parafuso sem-fim que faz avançar o material até à fieira. Ao longo do percurso ocorre a fusão do material por ação dos dispositivos de aquecimento, que são auxiliados pelo aumento do atrito entre os grânulos.

A fieira, abertura pela qual o material é obrigado a passar, devido à pressão desenvolvida pela extrusora, pode ter várias formas de acordo com o perfil final pretendido, como exemplifica a Figura 109 para o caso do tubo estrela e revestimento de espiral.

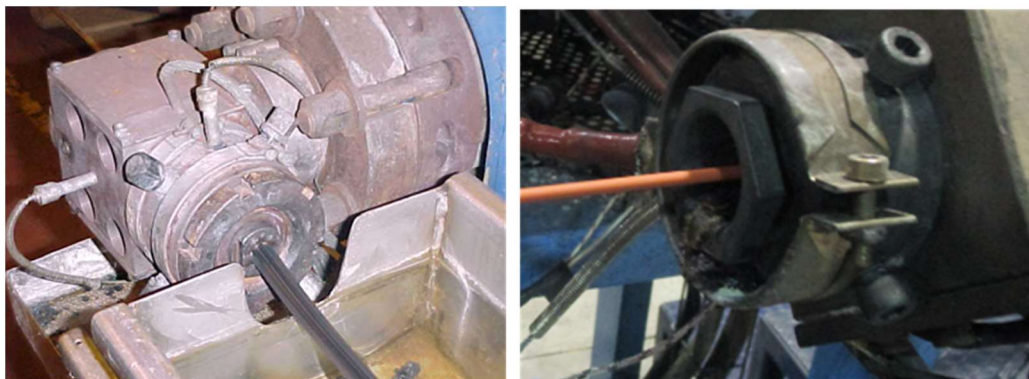


Figura 109 - Fabrico de tubo estrela a) e revestimento de espiral b).

Após a saída da feira, o material é mergulhado numa tina para arrefecer, e a secagem é garantida pelo sopro existente no final.

Cortes

O cabo, a espiral, o tubo interior e o tubo estrela são fornecidos em bobines e contentores cujo conteúdo apresenta comprimentos significativos. O seu consumo no fabrico dos cabos de comando obriga a obedecer a dimensões previamente definidas, deixando apenas possibilidade para pequenas tolerâncias. Dependendo do material, recorre-se a diferentes técnicas de corte com o objetivo de minimizar ineficiências.

Corte de cabo metálico

Na produção dos cabos de comando utilizam-se cabos metálicos de diferentes dimensões e materiais, podendo ser em aço inoxidável ou galvanizado com ou sem acabamento martelado, e com ou sem revestimento exterior, que quando existe é normalmente em PVC, PA ou PP.

De acordo com o material que o constitui, o seu corte no comprimento desejado é efetuado por um processo mecânico ou elétrico. Independentemente do processo de corte, são vários os equipamentos envolvidos (Figura 110), de entre os quais se salientam [99]:

- Desbobinador de cabo;
- Compensadores;
- Rolos de tracionamento;
- Cilindros de puxar cabo;
- O equipamento de corte: elétrico ou mecânico;
- Tapetes de arrasto.

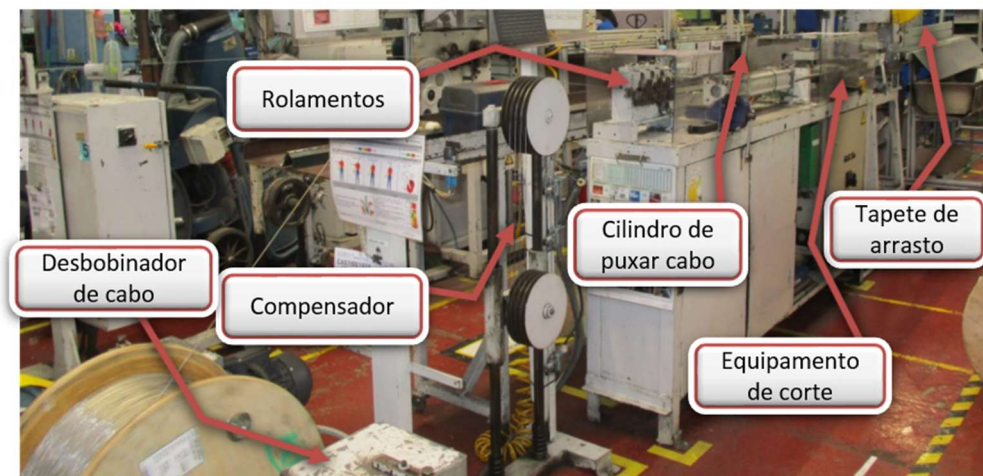


Figura 110 - Equipamento de corte de cabo.

Quando o compensador sobe, o desbobinador é acionado por meio de um sensor, libertando uma porção de cabo. O compensador, mantendo sempre a mesma tensão dispensa o cabo que é puxado pelos cilindros para o dispositivo de corte. Para evitar deformações, o cabo é guiado no seu percurso pelos rolos de tração. Após sofrer o corte, o cabo cai sobre o tapete que o transporta até ao recipiente que o recolhe.

O cabo metálico pode ser cortado recorrendo a um equipamento de corte elétrico ou mecânico, conforme ilustra a Figura 111.

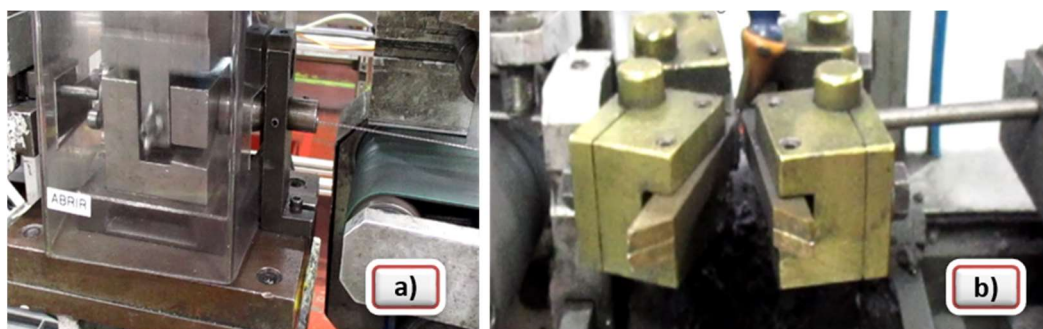


Figura 111 - Corte mecânico a) e corte elétrico b).

Com o corte mecânico o topo do cabo cortado tende a desentrançar. Com o corte elétrico, o topo do cabo fica soldado devido à deformação provocada pelo calor que funde os vários filamentos do cabo. Pelo motivo exposto, a maioria dos cabos são cortados recorrendo ao sistema elétrico.

O cabo martelado pode ser cortado pelo sistema mecânico com reduzida possibilidade de desentrançar. O cabo revestido é cortado recorrendo ao sistema mecânico, uma vez que o

revestimento dificulta a utilização do sistema de corte elétrico, devido ao revestimento limitar a passagem de corrente.

Corte de espiral

Em função do tipo de espiral e do seu revestimento, o corte pode ser efetuado por cisalha ou com disco abrasivo a seco ou húmido.

O corte por cisalha é executado colocando o material entre duas facas de aço especial. A faca inferior é fixa e a superior é dotada de movimento ascendente/descendente, conforme elucida a Figura 112. A qualidade do corte depende em larga escala da qualidade das facas e das folgas que possam existir entre elas.

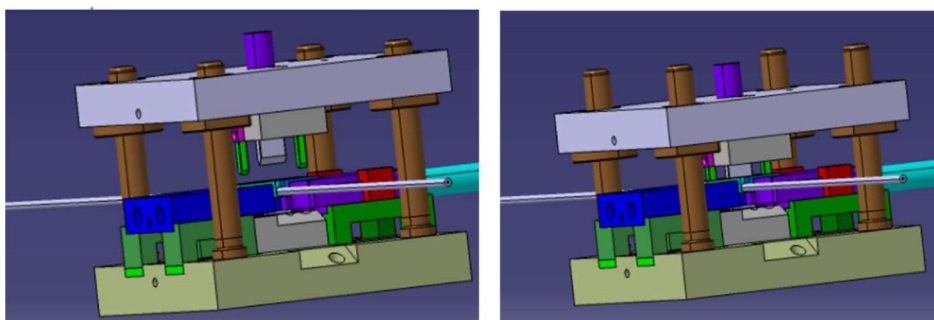


Figura 112 - Corte por cisalha.

Este processo de corte é utilizado na espiral armada e espiral tipo *braided*. Não é possível cortar espiral laminada por este processo, uma vez que o corte não cumpre com os requisitos, conforme elucida a Figura 113.



Figura 113 - Corte por cisalha de a) espiral armada e b) e c) espiral laminada.

O corte por disco abrasivo (Figura 114), resulta da fricção do disco na espiral. Neste processo, na zona de corte ocorre destacamento de partículas e aumento da temperatura. Quando há necessidade de evitar o aquecimento do material, é utilizado fluido de corte. A perfeição do corte depende da qualidade do disco e tende a piorar com o desgaste do mesmo.

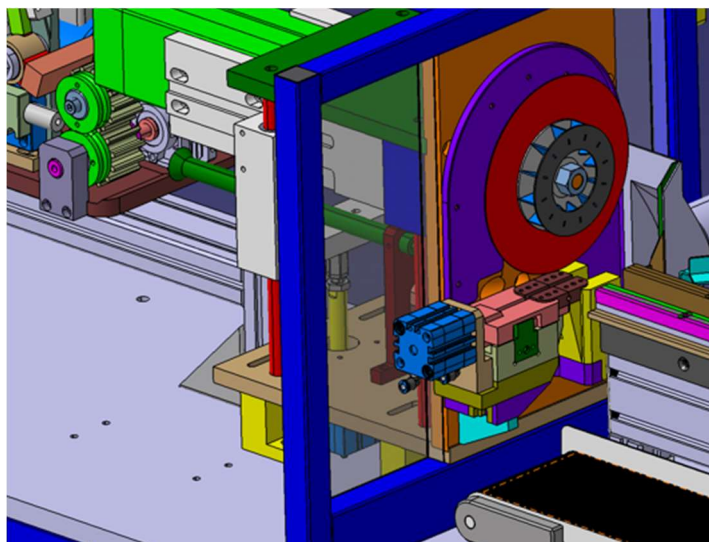


Figura 114 - Corte por disco abrasivo.

A utilização de fluidos de refrigeração permite obter maior perfeição no corte, no entanto conta com algumas desvantagens, nomeadamente: a oxidação do arame da espiral, a probabilidade de existir fluido no interior da espiral após o corte, problemas ambientais e de segurança e custos superiores ao corte a seco. Para reduzir o impacto do aquecimento, as máquinas de corte abrasivo estão munidas de um dispositivo denominado de *push* que no acto do corte traciona ligeiramente a espiral para que a sua fricção no disco seja mimizada.

A espiral laminada, com e sem tubo interior, é sempre cortada por disco abrasivo. A espiral armada e tipo *braided*, para além de ser cortada por cisalha também pode ser cortada por este processo, que embora mais dispendioso e com o inconveniente de gerar rebarbas, proporciona um corte mais perfeito, conforme evidencia a Figura 115.

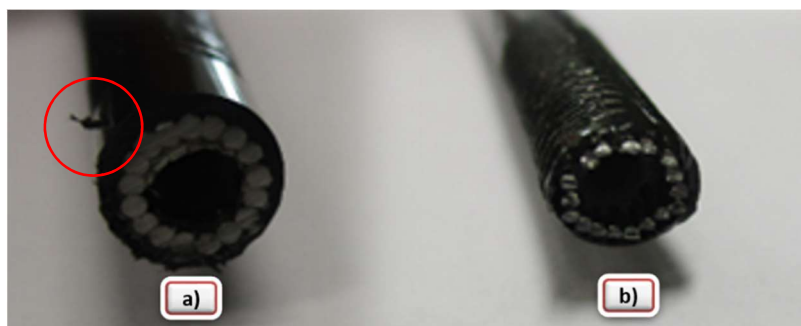


Figura 115 - Corte da espiral armada por disco abrasivo a) e cisalha b).

A perfeição do corte toma maior importância nos casos em que não está prevista a incorporação de terminais. São exemplo, os cabos de comando de elevadores de janela e a maioria dos cabos de *capôt*, que apenas possui terminais numa das extremidades.

A formação de rebarbas, quer interiores quer exteriores, é um inconveniente na utilização deste processo. Esta ineficiência obriga a esmerilar/escarear a espiral, o que inevitavelmente é uma operação sem valor acrescentado, mas que presentemente tem que ser assumida.

A utilização de espiral com rebarbas pode ter consequências a nível da montagem dos terminais da espiral, impedindo o correto encaixe dos mesmos e originando peças fora de medida a nível do deslizamento do cabo metálico, obstruindo a sua passagem, e na sobreinjeção dos terminais, originando chochos e pintas pretas, principalmente nos terminais injetados com cores claras, conforme evidência a Figura 116.



Figura 116 - Terminais com pintas pretas resultantes da existência de rebarbas.

A espiral cortada por cisalha é a mais adequada para sobreinjetar terminais, uma vez que as rebarbas resultantes deste processo são mínimas e não origina defeitos de coloração na sobreinjeção. A espiral cortada por disco abrasivo tem que passar por um processo de limpeza, necessita de ser esmerilada para remover rebarbas existentes no exterior e escareada para garantir a limpeza interior, evitando assim problemas de qualidade.

O processo de esmerilar escarear, que consta em criar um pequeno chafro no exterior e interior da espiral com a finalidade de remover as rebarbas inerentes aos processo de corte por disco abrasivo, pode ser efetuado em automático. Neste caso, o operador apenas alimenta a máquina e recolhe as espirais prontas, ou por um processo semiautomático, em que o operador introduz as espirais uma a uma no dispositivo, conforme mostra a Figura 117.



Figura 117 - Processos de esmerilar e escarear.

Nas máquinas de corte de espiral existe um dispositivo munido de um conjunto de maxilas aquecidas por uma resistência, que para além de fixar a espiral para efetuar o corte, tem a função de criar rugosidade na extremidade da espiral, com o resultado visível na Figura 118.



Figura 118 - Rugosidade criada na extremidade da espiral.

Este dispositivo encontra-se ativo no corte das espirais, cujos terminais vão ser sobreinjetados, com a finalidade de garantir que estes cumprem com os requisitos de resistência à tração impostos pelo cliente.

Corte de tubo estrela

O tubo exterior é fornecido em contentores para posteriormente ser cortado nas várias medidas consumidas. Na máquina de corte, o tubo é tracionado por rolos e passa por um compensador para lhe retirar tensões (Figura 119). O corte é efetuado por lâmina e o comprimento é garantido por um *encoder*. A máquina pode cortar em simultâneo duas medidas diferentes, sendo cada uma das medidas encaminhada para as respetivas caixas que se encontram uma de cada lado do tapete.

O tubo estrela é montado na espiral através de um sistema de sopro. Este processo de montagem é suscetível de imprimir variações de comprimento no tubo montado, dependendo do seu diâmetro interior e espessura da parede. Todas as dimensões estão especificadas com uma medida nominal e respetiva tolerância. No entanto, dadas as variáveis que poderão interferir no comprimento do tubo montado, opta-se sempre que possível por efetuar o corte diretamente para a montagem. Desta forma, é possível reduzir a quantidade sucitada devido a desvios na medida do tubo após montagem.



Figura 119 - Máquina de corte de tubo estrela.

Injeção de *zamak*

A injeção do primeiro terminal de cabo com *zamak* é efetuada antes de iniciar o processo de montagem nas linhas. Para o efeito, são utilizadas máquinas de injeção semiautomáticas ou automáticas, designadas de *robocop's*. O subconjunto resultante (designado subconjunto de cabo) segue posteriormente para a linha, onde após montagem de todos os componentes é realizada a injeção do segundo terminal em *zamak*, “fechando” o cabo.

Nas máquinas automáticas designadas de *robocop's* (Figura 120), a alimentação é efetuada a partir do rolo de cabo. Os *robocop's* estão munidos de um desenrolador de cabo, um sistema de tração e sistema de corte. As mesmas pinças que seguram a ponta do cabo para efetuar o corte, deslocam-se e posicionam o cabo cortado na máquina de injeção, sendo o processo a partir deste ponto, em tudo semelhante ao da máquina semiautomática.



Figura 120 - Máquina de injeção de *zamak* automática – *Robocop*.

Nas máquinas semiautomáticas, o operador alimenta manualmente a zona de trabalho com o cabo previamente cortado na mediada correspondente à referência a produzir. O transporte do cabo desde o início do processo até à zona de extração é garantido automaticamente pelo *transfer*.

Antes de efetuar a injeção de *zamak* no cabo, é necessário realizar uma prévia preparação do mesmo, que consiste em aparar o cabo por corte mecânico e fazer a flor. No sentido de abarcar todas as operações necessárias da forma mais automática possível, a área de trabalho da máquina de injeção de *zamak* é constituída, por: um dispositivo de aparar cabo, mecanismo da flor, um *transfer* e um dispositivo de cortar gito, conforme é visível na Figura 121.

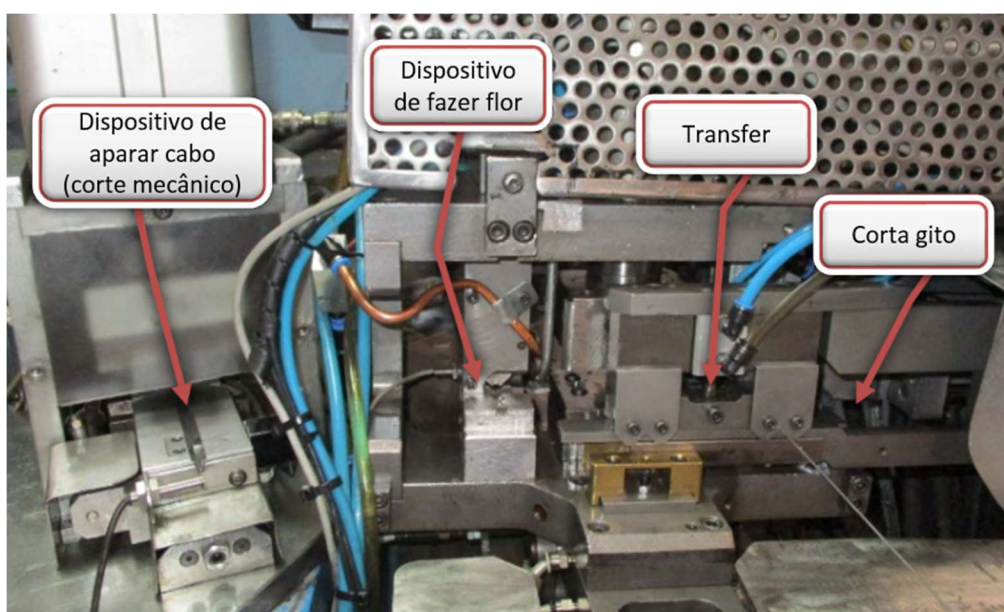


Figura 121 - Área de trabalho da máquina de injeção de *zamak*.

Aparar cabo por corte mecânico

Como foi referido anteriormente, o corte elétrico funde os filamentos do cabo por ação do calor, o que é benéfico porque evita que o cabo desentrançe enquanto não é consumido. Mas, devido às temperaturas que atinge, ocorre um aumento de dureza nessa zona e a formação de uma película de óxidos. A elevada dureza dificulta a operação de fazer flor, pelo que se impõem que se apare o cabo por corte mecânico antes de proceder à sua execução.

Sistema de fazer flor

A realização de flor no terminal do cabo (Figura 122) tem a finalidade de aumentar a área de contacto entre o cabo e o terminal em *zamak* que vai ser injetado, com o intuito de aumentar a resistência à tração.

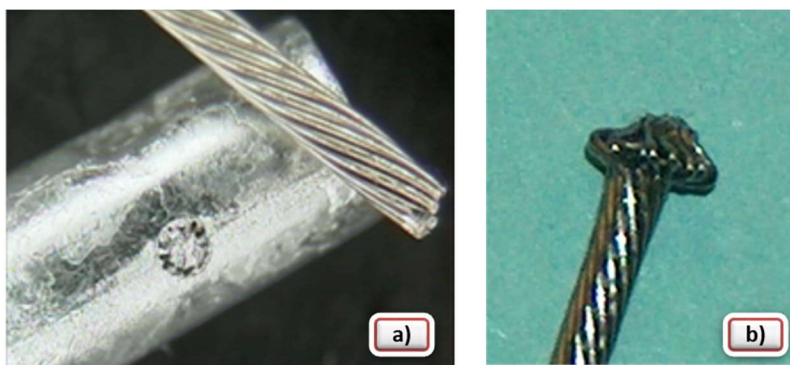
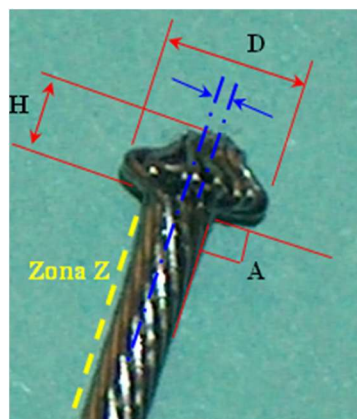


Figura 122 - cabo a) sem flor, b) cabo com flor.

A geometria da flor, a sua dimensão e o posicionamento no molde são a chave do sucesso para a obtenção de um terminal em *zamak* com as características desejadas. A flor corretamente conformada não pode apresentar variação no diâmetro do cabo, arames levantados e/ou traçados na zona "Z" (linha tracejada a amarelo). As dimensões devem ser as referidas na legenda da Figura 123.



Legenda:

Tipo de cabo – Ø1,5 19F Inox

Diâmetro "D" – 3,3 +/- 0,3

Altura "H" – 2,0 +/- 0,3

Ângulo "A" – 90º +/- 10º

Figura 123 - Flor corretamente conformada.

A linha tracejada azul pretende representar o possível desvio entre as linhas de eixo do cabo de aço e da flor. Quanto menor for esse desvio (ótimo = 0) melhor será o aspeto final da respetiva flor, no entanto é permitido um desvio máximo de 0,2 mm.

O posicionamento da flor na cavidade do molde para proceder à injeção de *zamak* deve ser o mais centrada possível, em todas as direções, conforme mostra a Figura 124.

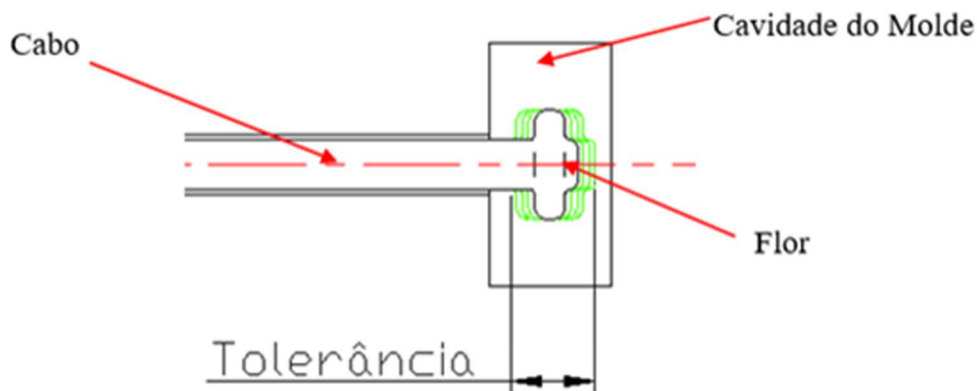


Figura 124 - Posicionamento da flor no interior do molde.

Embora o posicionamento tenha sempre associada uma determinada tolerância, que será tanto maior quanto maior for a dimensão do terminal em relação à flor, deve-se manter a boa prática de respeitar o posicionamento da flor na posição centrada, por forma a obter terminais com maior resistência à tração.

Transfer

O *transfer*, é o mecanismo que faz o transporte do cabo desde o dispositivo de fazer flor até à zona de extração. No processo semiautomático, a operadora apenas tem a seu cargo a tarefa de introduzir o cabo no mecanismo de fazer a flor. A passagem do cabo para o molde e de seguida para o corta-gito e para a zona de extração é garantida pelo *transfer*. No *robocop*, a alimentação do dispositivo de fazer flor é garantida pelas pinças que tracionam o cabo aquando do corte, e de seguida se deslocam para introduzir o cabo no interior do mecanismo de fazer flor. O transporte desde o dispositivo de fazer flor até à zona de extração é também garantido pelo *transfer*.

Após injeção do primeiro terminal, os subconjuntos de cabo, designação corrente para cabo com o primeiro terminal *zamak* injetado, seguem para a linha de montagem.

No caso de se tratar de uma segunda injeção, o *transfer* só atua a partir da extração do molde, uma vez que já existe um subconjunto que obriga ao posicionamento manual no molde de injeção (Figura 125).

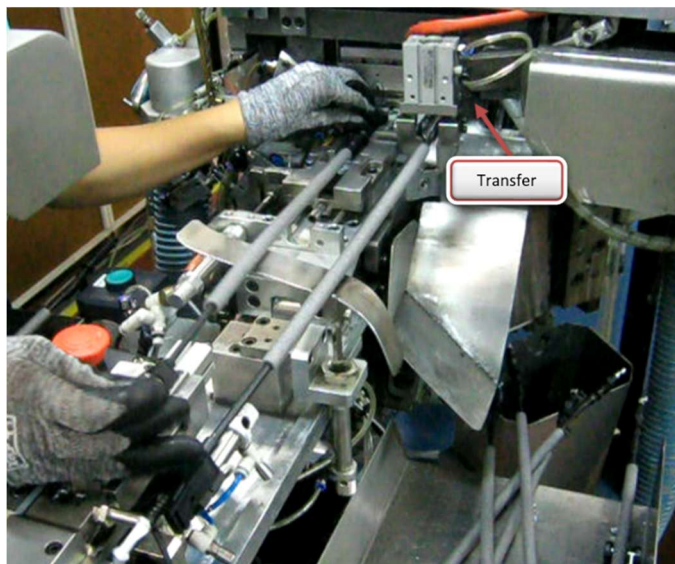


Figura 125 - Posicionamento manual do cabo para injeção do segundo terminal com *zamak*.

Injeção

O sinal para iniciar a injeção é dado pelo sensor que existe no mecanismo de fazer flor. O fecho do molde ocorre quando o *transfer* posiciona o cabo com flor no molde e recebe sinal que nova operação de fazer flor está em curso. Nesse momento, o molde fecha e a estrutura da máquina aproxima-se do bico de injeção, permitindo o contacto da base do molde com o bico, seguindo-se a injeção do *zamak*. Após finalizar, o bico desencosta do molde, o molde abre e o *transfer* recolhe o cabo com flor (lado esquerdo do *transfer*) e o subconjunto de cabo injetado (lado direito do *transfer*) deslocando-se para a direita. De seguida abre, deixa o cabo com flor no molde e o subconjunto no corta gito. Inicia-se novo ciclo com a introdução de novo cabo no dispositivo de fazer flor.

Moldes

O molde existente na máquina de *zamak* é composto por uma parte superior e uma parte inferior, com mostra a Figura 126.

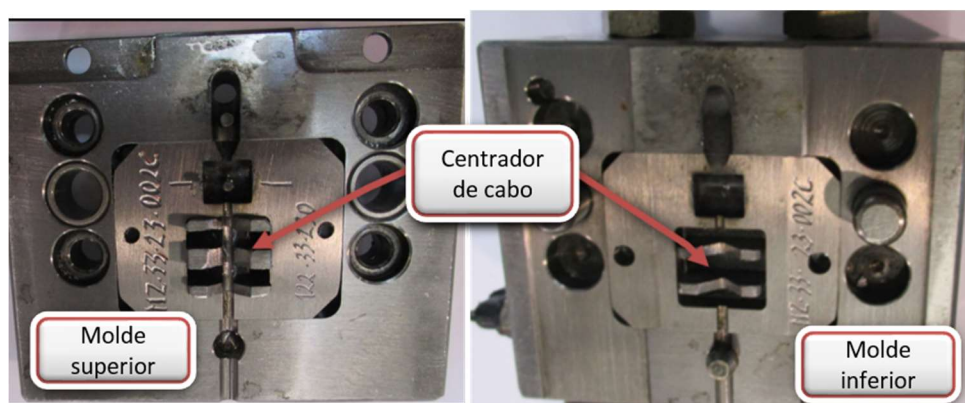


Figura 126 - Molde inferior e molde superior.

A sua aplicação na máquina de *zamak* requer uma estrutura de suporte, onde se encontram os canais de refrigeração e alimentação. A estrutura de suporte também é constituída por uma parte superior e outra inferior, como mostra a Figura 127.

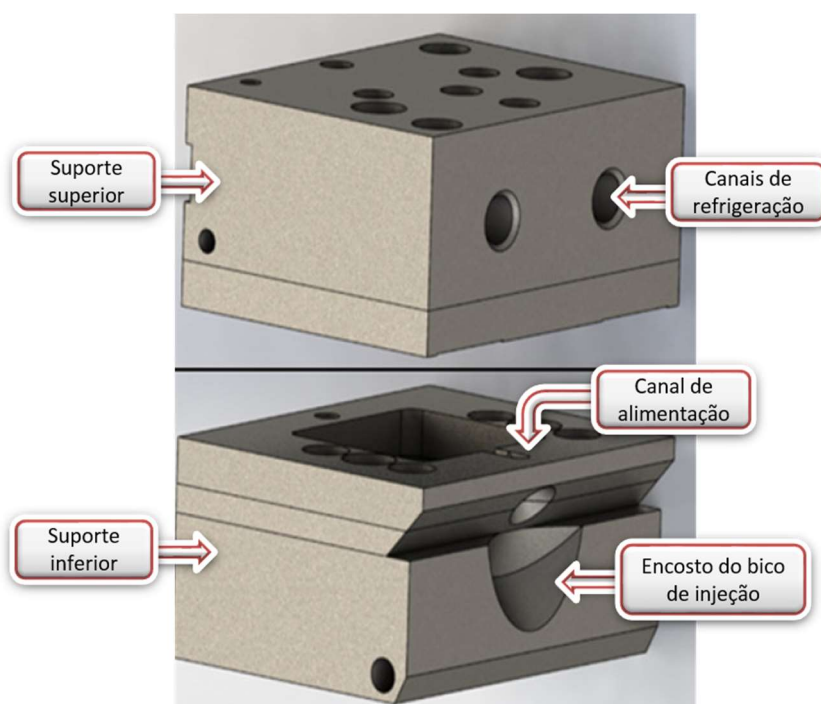


Figura 127 - Suporte inferior e superior do molde.

No processo de injeção, a cavidade do molde com o formato do terminal é preenchida com a liga de *zamak*. Mas, além do preenchimento da cavidade do molde, também o canal de alimentação fica preenchido com liga de *zamak*, dando origem ao gito que posteriormente é removido no cortante existente para o efeito. Devido a este fenómeno, os pontos de injeção de *zamak* não podem ocorrer em zonas funcionais (zonas onde o terminal irá ter contato com outro componente), dada a maior fragilidade dos terminais na zona onde o gito é quebrado.

A extração do terminal injetado é efetuada com o auxílio dos extratores em forma de cilindro que existem no interior do molde. Um sistema tipo alavanca é acionado através de ar que entra numa câmara faz subir a placa porta extratores, que posteriormente é forçado a descer por ação de uma mola.

Injeção de plástico.

O processo de injeção realizado na FicoCables é designado de sobreinjeção, dado que é efetuado sobre espirais (Figura 128 a)) ou terminais de cabo injetados com *zamak* (Figura 128 b)).

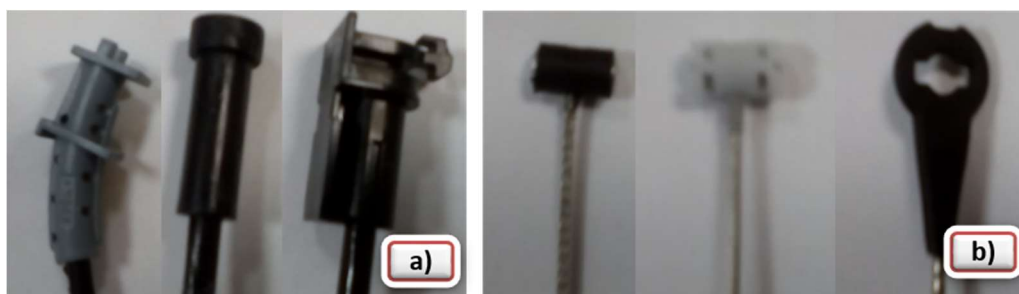


Figura 128 - Sobreinjeção de terminais: a) espiral b) cabo.

No mercado existem vários tipos de máquinas de injeção, sendo que as existentes na empresa são da marca Fiser, Multiplás ou Arburg. Apesar do aspeto diferente e algumas particularidades no funcionamento, o princípio fundamental da injeção é igual nas diferentes marcas.

Polímero granulado + Temperatura + Pressão + Molde = Sobreinjeção

Na Figura 129 estão representadas as partes principais da máquina de injeção.

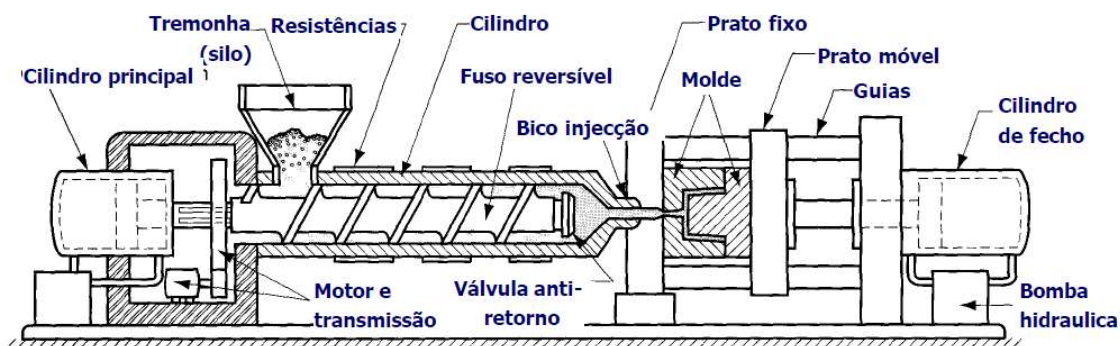


Figura 129 - Constituição da máquina de Injeção [100].

O polímero é abastecido através da tremonha, sendo de seguida movimentado pelo fuso ao longo do cilindro até ao bico de injeção. Neste percurso, por ação das resistências que envolvem

o cilindro, o polímero é aquecido até adquirir a viscosidade adequada para a sua injeção no molde. A temperatura do bico de injeção também é muito importante no controlo da viscosidade. Com o molde fechado, o bico de injeção e o fuso avançam, obrigando o polímero a percorrer os canais do molde, preenchendo todas as cavidades, o que é conseguido através da pressão exercida sobre o material injetado. Concluída a injeção e pressurização, a peça sobreinjetada permanece durante alguns segundos no interior do molde para arrefecer. A extração só deve ocorrer após completa solidificação da peça, caso contrário, a peça pode sofrer empeno e/ou contração [100].

Os moldes utilizados são de oito mais oito cavidades, contêm uma parte fixa (cavidade) e duas partes móveis (duas buchas). Para proceder à sobreinjeção da espiral, esta é previamente introduzida nas agulhas para posteriormente proceder à sobreinjeção dos terminais (Figura 130).

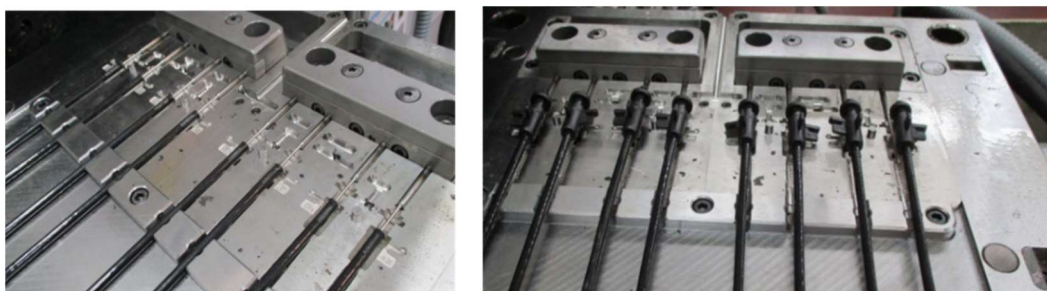


Figura 130 - Sobreinjeção de espiral.

No caso da sobreinjeção de cabo, os terminais em *zamak* são posicionados no molde e efetuada a sobreinjeção com plástico (Figura 131).

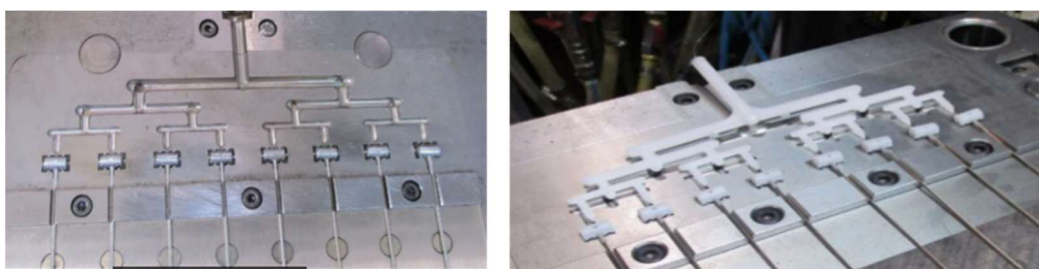


















Figura 131 - Sobreinjeção de cabo.

Os subconjuntos de espiral e cabo sobreinjetados seguem para as linhas de montagem onde posteriormente serão incorporados nos cabos de acionamento de mecanismos produzidos na Ficocables.

ANEXO II PDCA da linha MQB1

Plano de Ação														
PLANEAR							EXECUTAR		VERIFICAR			AGIR		
Posto	Ponto crítico	Problema	Causa	Ação	Resp.	Data	Resp.	Data	Resp.	Data	Estado	AC=Ação Corretiva / P=Padronização	Resp.	Data
PT1		Distância que o operador percorre para depositar as caixas vazias do subconjunto de cabo e fole pequeno	Localização do depósito das caixas vazias	Dimensionar o <i>rack</i> para comportar as caixas vazias e as caixas cheias entre passagens do abastecedor							OK	P		
		Necessidade de realizar <i>decantigs</i> do fole pequeno	Não é possível colocar na linha a caixa do fornecedor	Criar suporte na linha para a caixa							OK	P		
		Cabo com dificuldade de deslizar no tubo de recolha	Desgaste do material do tubo e perfuração	Substituição do tubo existente							OK	P		
		Necessidade de verificar subconjunto de cabo	Eventuais rebarbas da 1ª injeção de zamak, cabo trilhado ou danificado	Retirar operação da linha							OK	P		


PT2		Necessidade de verificar subconjunto de espiral	Eventuais defeitos nos terminais sobre injetados	Retirar operação da linha			Não executada							
		Necessidade transferir os terminais caixa para uma caixa de menor dimensão	A dimensão da caixa do fornecedor (595x395x315) não permite a sua utilização no suporte existente na da linha.	Solicitar o fornecimento em caixas de dimensão: 300x395x220						OK	P			
		Frequentes abastecimentos do terminal caixa	Quantidade fornecida por caixa permite autonomia reduzida	Solicitar fornecimento de maior quantidade por caixa						OK	P			
		Necessidade de transferir subconjunto de espiral para uma caixa de menor dimensão	Utilização de caixas com altura superior à permitida pelo suporte	Utilizar apenas caixas de dimensão: 595x395x215						OK	P			
		Necessidade de realizar <i>decantings</i> do fole pequeno	Não é possível colocar na linha a caixa do fornecedor	Criar suporte na linha para a caixa						OK	P			
		Distância que o operador percorre para depositar as caixas vazias do subconjunto de cabo e fole pequeno	Localização do depósito das caixas vazias	Dimensionar o <i>rack</i> para comportar as caixas vazias e as caixas cheias entre passagens do abastecedor						OK	P			

PT2		Necessidade de verificar subconjunto de espiral	Eventuais defeitos nos terminais sobre injetados	Retirar operação da linha			Não executada							
		Necessidade transferir os terminais caixa para uma caixa de menor dimensão	A dimensão da caixa do fornecedor (595x395x315) não permite a sua utilização no suporte existente na da linha.	Solicitar o fornecimento em caixas de dimensão: 300x395x220						OK	P			
		Frequentes abastecimentos do terminal caixa	Quantidade fornecida por caixa permite autonomia reduzida	Solicitar fornecimento de maior quantidade por caixa							OK	P		
		Necessidade de transferir subconjunto de espiral para uma caixa de menor dimensão	Utilização de caixas com altura superior à permitida pelo suporte	Utilizar apenas caixas de dimensão: 595x395x215							OK	P		
		Necessidade de realizar <i>decantings</i> do fole pequeno	Não é possível colocar na linha a caixa do fornecedor	Criar suporte na linha para a caixa							OK	P		
		Distância que o operador percorre para depositar as caixas vazias do subconjunto de cabo e fole pequeno	Localização do depósito das caixas vazias	Dimensionar o <i>rack</i> para comportar as caixas vazias e as caixas cheias entre passagens do abastecedor							OK	P		

ANEXO III Instruções para aplicação da metodologia SMED nas linhas de montagem

REGISTO DE REVISÕES

Edição	Data	Descrição da Alteração	Iniciais
1	11-03-2016	1ª Edição	Conceição Rosa
2			
3			
4			
5			
6			


	INSTRUÇÃO INTERNA	Código : I_OP_CA/MA_
		Edição : 1
		Data : 11-03-2016
		Página: 2 de 11
Instruções para aplicação da metodologia SMED nas linhas de montagem		

ÍNDICE

I	ÂMBITO	3
II	DOCUMENTOS RELACIONADOS	3
III	INSTRUÇÃO	3
	1. Definições	3
	2. Responsabilidades	3
	3. Método	4
	3.1. Identificação das ferramentas.....	4
	3.2. Ligações dos tubos de ar	9
	3.3. Ferramentas de aperto rápido.....	9
	3.4. Ferramentas de apoio ao <i>setup</i>	10
	3.5. Tarefas de <i>setup</i> externo.	11
IV	ANEXOS	11
V	FORMATOS RELACIONADOS	11

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Código de cores.....	4
Figura 2 - Preparação das ferramentas de <i>setup</i> novas para receber código de identificação.	5
Figura 3 - Preparação das ferramentas de <i>setup</i> existentes para receber código de identificação.....	5
Figura 4 - Tabela de correspondências entre a identificação da ferramenta de <i>setup</i> e a respetiva referência.	6
Figura 5 - Acondicionamento das ferramentas de <i>setup</i> em pequenas caixas.....	7
Figura 6 – Acondicionamento dos <i>gabarits</i>	7
Figura 7- Identificação do rolo de etiquetas	8
Figura 8 - Placa para acondicionamento dos blocos de termogravação.....	8
Figura 9 - Ligações de engate rápido.	9
Figura 10 - Fixações de aperto rápido.	9
Figura 11 - Chaves de apoio ao <i>setup</i>	10
Figura 12 - Carro de apoio	10

	INSTRUÇÃO INTERNA	Código : I_OP_CA/MA_ Edição : 1 Data : 11-03-2016 Página: 3 de 11
Instruções para aplicação da metodologia SMED nas linhas de montagem		

INTRODUÇÃO

Este documento pretende definir os critérios a adoptar nas linhas de montagem para proporcionar *setups* mais rápidos e intuitivos, tendo por base a metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*) em complemento com outras metodologias LEAN (5S, gestão visual e trabalho padrão).

I ÂMBITO

Esta instrução aplica-se às linhas existentes e linhas novas com produção de várias referências.

II DOCUMENTOS RELACIONADOS

Ficha de *Setup*

III INSTRUÇÃO

1. Definições

PT- Posto de trabalho

SMED - *Single Minute Exchange of Die*


Código de cores – Combinação de cores e números definidos para identificar as ferramentas de *setup*.

Tabela de identificação de ferramentas - Tabela a afixar no posto de trabalho com a finalidade de fazer a correspondência do código de cor à respetiva referência de de produção.

2. Responsabilidades

Engenharia dos Processos: Aplicação dos conceitos nas linhas de montagem novas.

Melhoria Continua: Aplicação dos conceitos nas linhas de montagem existentes

	INSTRUÇÃO INTERNA	Código : I_OP_CA/MA_
		Edição : 1
		Data : 11-03-2016
		Página: 4 de 11
Instruções para aplicação da metodologia SMED nas linhas de montagem		

3. Método

3.1. Identificação das ferramentas

3.1.1. Código de cores

A partir da combinação das seis cores base (vermelho, verde, azul, amarelo, branco e preto) resultam 21 códigos de cores a utilizar na marcação das peças (Figura 1). Além da pintura será gravado o número atribuído a cada código para salvaguardar o facto de em condições adversas, a pintura, efetuada na peça de *setup* desaparecer.

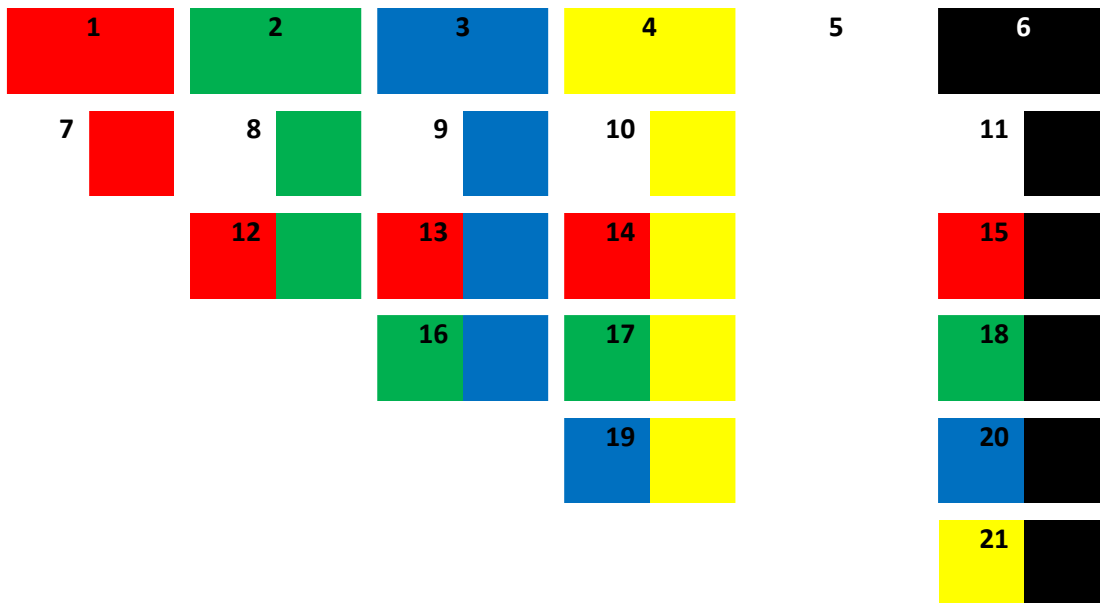



Figura 1 - Código de cores

	INSTRUÇÃO INTERNA	Código : I_OP_CA/MA_
		Edição : 1
		Data : 11-03-2016
		Página: 5 de 11
Instruções para aplicação da metodologia SMED nas linhas de montagem		

3.1.2. Pintura e gravação do número de identificação na ferramenta

Ferramentas Novas

Na concepção de ferramentas novas, efetuar um rebaixe e a gravação do número correspondente ao código (Figura 2). Posteriormente, pintar o código de cores no respetivo local.

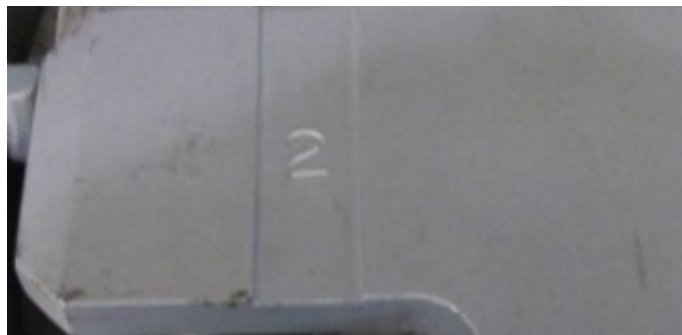


Figura 2 - Preparação das ferramentas de *setup* novas para receber código de identificação.

Ferramentas existentes

Nas ferramentas existentes, efetuar um rebaixe na zona onde vai ser pintado o código de cores.

Gravar na peça o número correspondente ao código (Figura 3)

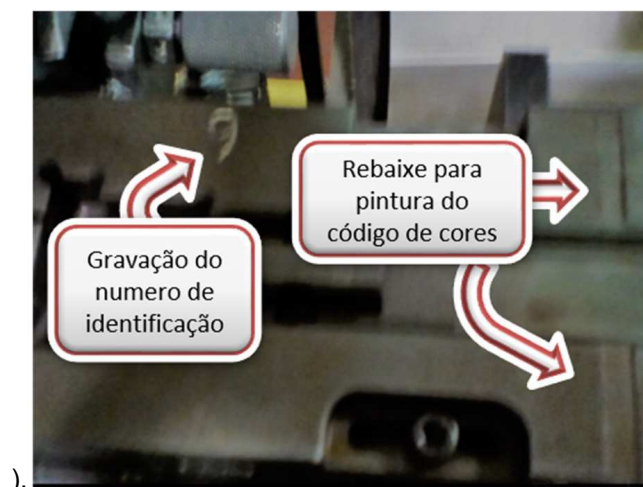
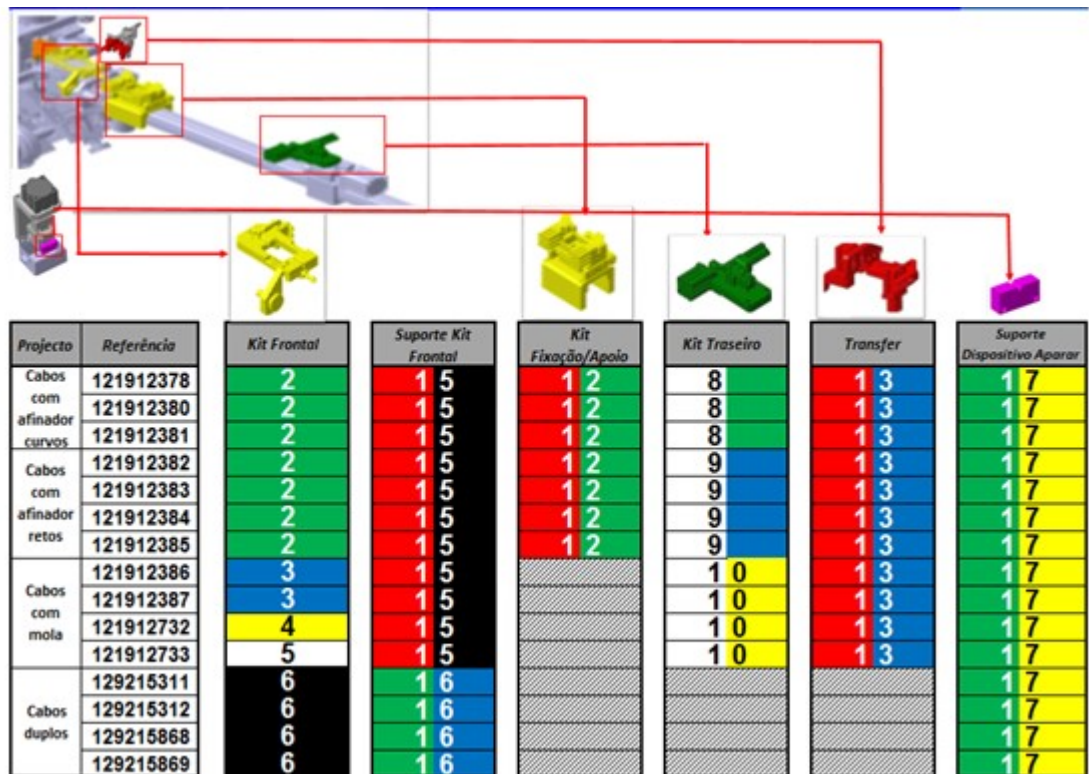


Figura 3 - Preparação das ferramentas de *setup* existentes para receber código de identificação

3.1.3. Tabela de identificação das ferramentas


1. Agrupar as várias referências produzidas na linha atendendo às características comuns que levam à dispensa de troca de ferramentas quando o *setup* é realizado entre elas.
2. Identificar, em cada posto de trabalho as operações realizadas e os dispositivos associados. Para cada dispositivo identificar as ferramentas de *setup*.
3. Construir uma tabela onde se faz corresponder o código de cor e o respetivo número às referências, conforme o exemplo da Figura 4.
4. A tabela de correspondência entre a identificação da ferramenta e a referência é para afixar em local visível em cada posto de trabalho.



Projecto	Referência	Kit Frontal	Suporte Kit Frontal	Kit Fixação/Apoio	Kit Traseiro	Transfer	Suporte Dispositivo Aparar
Cabos com afinador curvos	121912378	2	1 5	1 2	8	1 3	1 7
	121912380	2	1 5	1 2	8	1 3	1 7
	121912381	2	1 5	1 2	8	1 3	1 7
Cabos com afinador retos	121912382	2	1 5	1 2	9	1 3	1 7
	121912383	2	1 5	1 2	9	1 3	1 7
	121912384	2	1 5	1 2	9	1 3	1 7
Cabos com mola	121912385	2	1 5	1 2	9	1 3	1 7
	121912386	3	1 5		1 0	1 3	1 7
	121912387	3	1 5		1 0	1 3	1 7
	121912732	4	1 5		1 0	1 3	1 7
	121912733	5	1 5		1 0	1 3	1 7
Cabos duplos	129215311	6	1 6				1 7
	129215312	6	1 6				1 7
	129215868	6	1 6				1 7
	129215869	6	1 6				1 7

F

Figura 4 - Tabela de correspondências entre a identificação da ferramenta de *setup* e a respetiva referência.

	INSTRUÇÃO INTERNA	Código : I_OP_CA/MA_ Edição : 1 Data : 11-03-2016 Página: 7 de 11
Instruções para aplicação da metodologia SMED nas linhas de montagem		

3.1.4. Local para acondicionamento das ferramentas e sua identificação

Ferramentas diversas

Efetuar o acondicionamento das diversas ferramentas de *setup* em caixas azuis etiquetadas com o código de identificação (**Figura 5**).



Figura 5 - Acondicionamento das ferramentas de *setup* em pequenas caixas.

Gabarits

Os *gabarits* que pela sua dimensão não seja possível acondicionar nas caixas azuis, serão suspensos em local designado para o efeito. O local terá de estar identificado com uma pequena chapa onde conste o código de cor e o número que lhe corresponde (Figura 6).

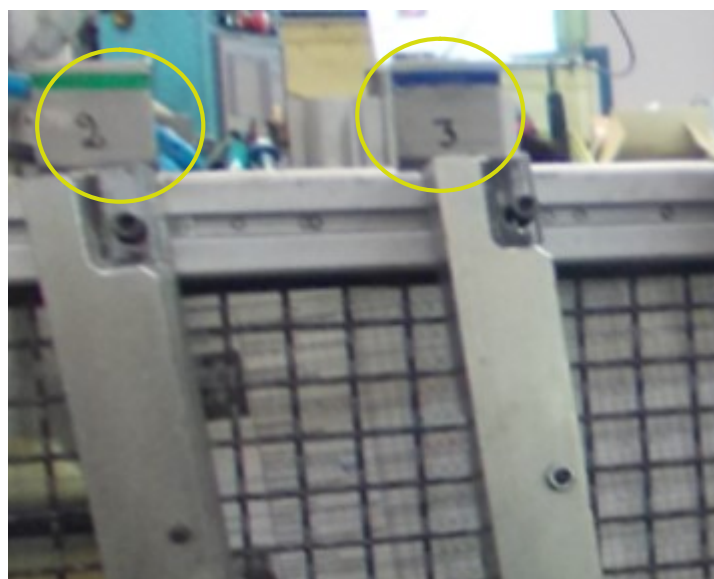



Figura 6 – Acondicionamento dos *gabarits*.

	INSTRUÇÃO INTERNA	Código : I_OP_CA/MA_ Edição : 1 Data : 11-03-2016 Página: 9 de 11
Instruções para aplicação da metodologia SMED nas linhas de montagem		

3.2. Ligações dos tubos de ar

Utilizar ligações de engate rápido fixas numa placa metálica (Figura 9).



Figura 9 - Ligações de engate rápido.

3.3. Ferramentas de aperto rápido

Utilizar fixação de aperto rápido.

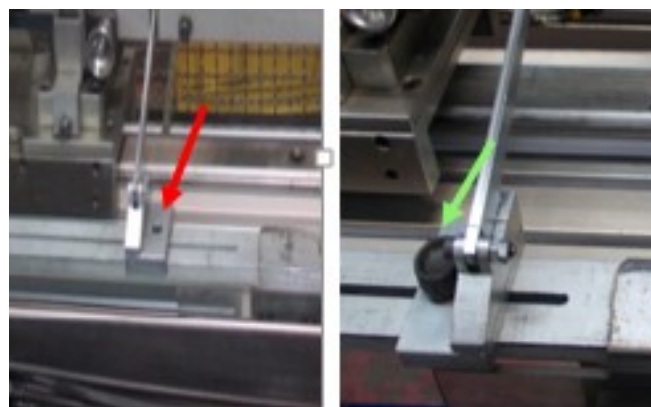



Figura 10 - Fixações de aperto rápido.

	INSTRUÇÃO INTERNA	Código : I_OP_CA/MA_ Edição : 1 Data : 11-03-2016 Página: 10 de 11
Instruções para aplicação da metodologia SMED nas linhas de montagem		

3.4. Ferramentas de apoio ao *setup*

Colocar um suporte com as chaves necessárias à realização do *setup* em cada posto de trabalho (Figura 11). As chaves necessárias estão identificadas nas fichas de *setup*.

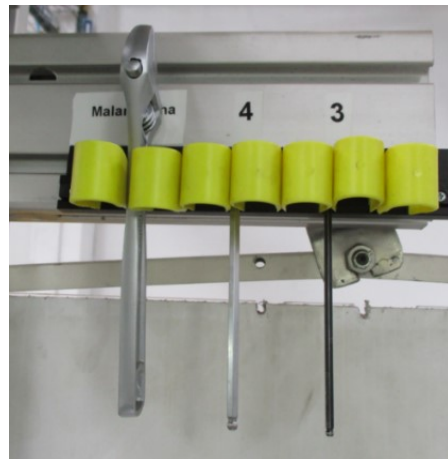



Figura 11 - Chaves de apoio ao *setup*.

Disponibilizar um carrinho de apoio ao *setup* equipado com peças de desgaste rápido e ferramentas de apoio genéricas, que também será utilizado na preparação de *setups* externos (Figura 12).



Figura 12 - Carro de apoio

	INSTRUÇÃO INTERNA	Código : I_OP_CA/MA_ Edição : 1 Data : 11-03-2016 Página: 11 de 11
Instruções para aplicação da metodologia SMED nas linhas de montagem		

3.5. Tarefas de *setup* externo.

Tarefas de setup externo a considerar:

- Preparação dos materiais para a produção seguinte, a ser assegurada pela *Team Leader*;
- Preparação dos *gabarits* que estão acondicionados fora do posto de trabalho;
- Preparação dos moldes para as máquinas de injeção de *zamak*;

IV ANEXOS

Não Aplicável

V FORMATOS RELACIONADOS

Não Aplicável

ANEXO IV Artigo I



27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017,
27-30 June 2017, Modena, Italy

Improving the quality and productivity of steel wire-rope assembly lines for the automotive industry

Conceição Rosa^a, F. J. G. Silva^{a,*}, Luís Pinto Ferreira^a

^aISEP – School of Engineering, Polytechnic of Porto, Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 PORTO, PORTUGAL

Abstract

The automotive industry is one of the most demanding sectors in the global market, since it requires a systematic increase in productivity. In the current economic scenario, the challenges at hand are great, demanding a reduction in costs and an increase in competitiveness, without investment. In order to address this situation, the only solution lies in the optimization of the product and/or processes. This study was developed in order to improve the assembly lines of the steel wire-ropes used to control some of the basic functions in cars, such as the elevation of car-door windows and so on. By applying Lean and PDCA methodologies based on an action plan, it was possible to ensure the implementation of some of the developed solutions, as well as the subsequent processes, and the registration of these as a record for the future. The performance of efficiency was dramatically increased by this study.

© 2017 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Peer-review under responsibility of the scientific committee of the 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing

Keywords: Lean manufacturing, Value Stream Mapping, PDCA, Automotive component industry, Productivity improvement.

1. Introduction

Companies in the automotive industry require constant development and reveal an enormous capacity to adapt to market demands. The level of competition in this sector has generated a need for productivity, efficiency and quality in order to meet customers' demands [1,2]. The emphasis placed on innovation in the production process is crucial

* Corresponding author. Tel.: +351 228 340 500; fax: +351 228 321 159.
E-mail address: fgs@isep.ipp.pt

to this sector; its purpose is to provide production systems that are more flexible and more productive. The innovation of processes is related to new components, equipment and methods of production [3]. The Toyota Production System (TPS) constitutes one of the examples of process innovation: its main goal is to increase productivity by resorting to various techniques [4,5]. The TPS was devised and based on tools and solutions which lead to the continuous improvement of processes and people [6]. This constitutes the basis of Lean Manufacturing or Lean Production [7], a designation which emerged in the 90s with the publication of reference studies by Womack and Jones, and generally known as the philosophy of Lean Thinking [8]. The implementation of Lean Manufacturing techniques has resulted in the reduction of costs and lead time, and has led to greater customer satisfaction [9,10]. Tools and techniques such as VSM (value stream mapping), visual management, 5Ss, standard work, Kaizen and the PDCA cycle are used in companies to provide support in the identification of the possibilities to reduce waste and improve the efficiency of production processes [11].

The work described in this article was developed at the Ficocables, a Ficosa Group company. Its main goal was to optimize the production process of an assembly line which produces cables for the door-release mechanisms. The ultimate aim was focused on reaching the capacity required to meet customer demand. The article is divided into five sections: section 1 constitutes the introduction; section 2 presents a review of literature related to Lean Manufacturing; section 3 deals with the methodology used to carry out this study; section 4 describes all the practical work developed at the Ficocables company and presents proposals for the improvement of the analyzed process. Also includes all the results obtained through the development of this study and, finally, section 5 presents the final conclusions.

2. Literature review

The automotive industry began at the end of the 19th century, more specifically in 1880. The type of production then in use was artisanal, which made it possible to provide the customers with exactly what they wished for. The drawback was that the waiting time and costs involved were extremely high. This type of production was soon confronted with problems difficult to overcome, thus paving the way to the era of mass production [12]. The mass production technique was subsequently implemented by Ford in 1913, when he considered a standard for production flow and work in his assembly line design. By resorting to this technique, Ford drastically reduced costs and, consequently, car prices. However, the drawback resided in the fact that the customer was restricted to very little choice; he could only select from the type of car that the production line produced in a standardized manner and in great numbers [13]. The aim of Lean production is to combine the advantages of artisanal production, which produces exactly what the customer requests, with those of mass production and the production of great quantities. To this end, one should opt for multifunctional workers at all organization levels, as well as resort to highly flexible and increasingly automated machinery in order to produce both a greater volume and a wider range of products [14].

The Toyota Production System (TPS) was designed and based on tools and solutions aimed at generating a continuous improvement of processes and people. The techniques used essentially focused on JIT (just-in-time) production and the elimination of waste [6]. Lean Manufacturing, a concept introduced by Womack and Jones in 1990, explores the various concepts used in the TPS and places great emphasis on: the elimination of the various types of waste which occur in the value chain, worker motivation and involvement, the equipment optimization, the reduction of costs and an increase of the end-customer satisfaction [8,11]. In terms of manufacturing, we can define waste as activities not able to generate added value to the product and which customer does not want to pay for [2,15]. Namely, companies should provide the processes, materials, people and technology needed to ensure the timely production of the correct quantities, products and/or services requested by the customer. Taiichi Ohno and Shigeo Shingo identified seven sources of waste: surplus production, waiting times, materials transportation, excesses in processing and in the inventory, as well as in unnecessary movements [16]. The Lean philosophy falls back on various support tools which aim to eliminate waste and thus optimize production. The most noteworthy of these are: VSM (value stream mapping), PDCA, Kaizen, Kanban; SMED (single-minute exchange of die), visual management, 5S and standard work, amongst others [17,18]. VSM mirrors the path of a product. Based on the visual representation of all the flow processes relating to materials and information, this technique makes it easier to identify waste and allows one to devise the value stream from the supplier to the customer [19]. This tool enables one to deal with process improvement in a systematic manner [20] with the purpose of detecting the different types of waste and eliminating these by means of Lean techniques and methods [21].

Although the beginning of Lean management is associated to the automotive industry, the validity of Lean solutions has been demonstrated by the successes experienced by many companies from a wide spectrum of

industrial sectors; Toyota Motors Corporation (TMC), Dell and Zara have reported significant profits through the implementation of Lean principles [8]. Nevertheless, a successful Lean company cannot rely totally on the tools inherent to the Lean production system; it must nurture its own principles. Lean thinking implies a change in the management of operations, and all changes begin in the mind. It is therefore essential for everyone to participate in this transformation process, and this must be prompted by the management of the upper levels of the company's hierarchy. Ultimately, one is dealing with a culture of training and practice, which resorts to methods and tools to eliminate waste, motivate staff, optimize equipment and increase productivity [22].

3. Methodology

The methodology adopted to undertake this study consisted of various stages. The first stage comprised a review of literature, supported by scientific articles dealing with the field of lean manufacturing, with the purpose of coherently sustaining the empirical investigation presented. For the second stage, one initially proceeded with the processes mapping, the survey of problems and difficulties, as well as the recording of tasks and their timing. By using value stream mapping (VSM) for the actual state, one was then able to analyze the process under way at the time, and proceeded with the identification of critical points and areas regarding potential improvement. The analysis, which purpose was to increase efficiency through the application of Lean techniques, resulted in various proposals of improvement to the process. The implementation of these was carried out in two phases: the first consisted of various upgrading procedures on the equipment; the subsequent second phase focused on the reduction/elimination of waste by implementing lean tools. The follow-up of the proposed actions was undertaken with the support of PDCA methodology.

4. Analysis and optimization of an assembly line for door-release cables

The assembly line subjected to study comprises four workstations (Station 1, Station 2, Station 3, Station 4). Two subsets are used for the product final assembly, the cable and spiral subsets. These come from stations which are not on this assembly line. There are also other components which the company buys from external suppliers: the large and small bellows and the final box. The cable subset – a steel cable, where the first end is injected with zamak – is produced by the high-pressure die casting machine. The spiral subset includes the assembly of the exterior tube at a preparation station; the ends are then over-injected in the plastic injection machine. The supply of the various components to the line is ensured by a nearby rack.

4.1. Mapping of processes

Figure 1 illustrates the value stream mapping, which starts at the materials warehouse, and normally lasts a three-day period. Depending on customer requests, the control system issues weekly production orders. In this specific case, and for the year of greatest production, one predicted the issue of orders for 56170 parts, on a weekly basis. After the manufacturing order has been issued, the material is pulled out of the warehouse onto the line rack, in quantity enough to ensure four hours of production. After all expected operations and palletization have been carried out, the product is sent to the dispatch warehouse, where it remains for a period of 3 days until it is delivered to the customer.

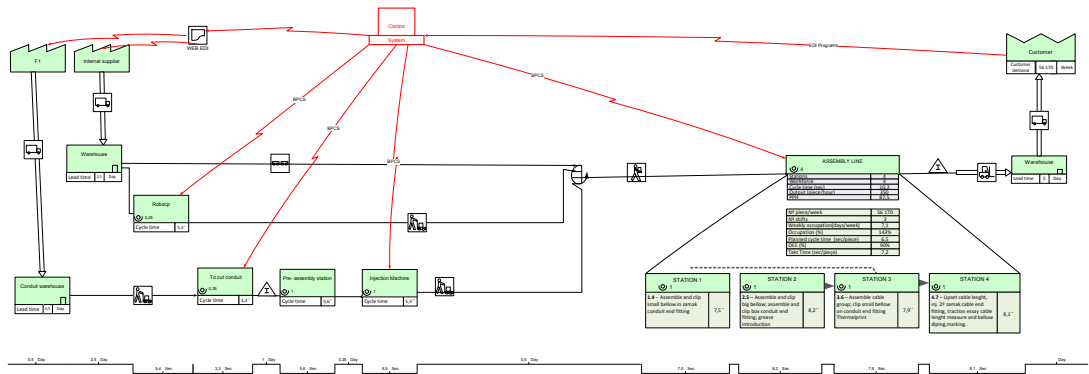


Figure 1. VSM of current state.

4.2. Problems' identification / opportunities for improvement

An analysis of the VSM for Figure 1 allows identify the problems described in Table 1, whose are related to the assembly line, since this was the focus of intervention. In order to comply with the quantity contracted by the customer, and during years of great demand, a takt time of 7,2 sec/part is required. This tack time results from three shifts per day with a loading time of 7,5 hours per shift, which makes available 81000 secondes/day, or 405000 seconds/week, value that divided by 56170 parts results in a takt time of 7,2 seconds/part. Considering that the overall equipment effectiveness (OEE) is 90%, this corresponds to a planned time cycle of 6,5 sec/part. According to the time cycles presented in Table 2, all the workstations on the line presented significantly higher values.

Table 1. Identification of problems on the assembly line.

Problem	Description
Manual operations	Occurrence of manual operations; namely, the assembly of the bellow in the cable subset, the assembly of the final box in the spiral subset, the removal of the sprue during the second zamak injection.
Steel cable waste	Steel cable waste, since the length cut is longer than required and is later trimmed on the line.
Line supply	Transport of components to the line and displacement to a defined spot, where empty boxes are deposited.
Decantings	Decantings are needed to supply the line with components.
Robustness and reliability of the process	Lack of robustness and reliability in the process, namely in the extraction of the cable from the zamak machine.
Unnecessary movements	Absence of method in carrying out tasks.
Visual inspections	Need for visual inspections to ensure the quality of the subsets supplied.
Line balancing	Redistribution of workstation tasks to establish a balance in time expenditure

Table 2. Cycle time of the workstations on and off the assembly line.

	Pre-assembly station	Injection	High-pressure die casting	Assembly line			
				Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
Cycle time (sec/part)	5,4	5,5	5,6	7,5	8,2	7,9	8,1

Table 2, allows one to observe that the expected line output would be 439 parts per hour. However, Table 3 reveals that the actual output was approximately 350 parts per hour. This discrepancy is explained by the fact that the cycle times presented in

Table 2 only refer to the cyclic operations carried out at each workstation. Yet, besides these, others must be undertaken, namely: the supply of components, the replacement of production staff, quality controls and the removal of sprue during the second injection of zamak in the final box. These operations, which are of no added value but which are nevertheless occasionally carried out, produce a significant impact on line output. In this specific case, they represent 20,3 %.

Table 3. Expected Output / Real output.


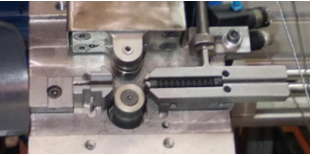
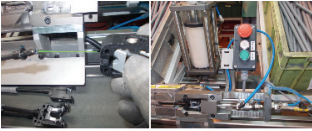



Expected output (parts/hour)	Real output (parts/hour)	Variation (%)
439	350	-20,3 %

Intervention on the line occurred in two phases. The first consisted of upgrading equipment, always bearing in mind that the changes undertaken could not be translated into operations without added value; in fact, these were ultimately to be eliminated or reduced. However, operations of no added value which were not directly related to upgrading persisted. These had to be acted upon during the second phase in order to reduce conditions on the line to a bare minimum after intervention on the equipment.

4.2.1. First phase – equipment upgrades

Table 4 presents the improvements undertaken through the upgrading of equipment, which purpose was to eliminate manual operations and steel cable waste.

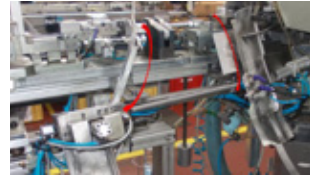
Table 4. Proposals for upgrading equipment at the assembly line workstations.

Station	Before	Upgrade	After
Station 1		Implementation of a device for the insertion of the small bellows into the steel cable group and its connection to the zamak end-fitting.	
Station 2		Implementation of an automatic machine to inject grease into the cable and connect the box-end fitting.	
Station 3		Following the upgrade on the high-pressure die casting machine, the steel cable was no longer trimmed on the assembly line. This resulted in one operation less and in the easy positioning of the subset to perform the remaining station tasks.	

Station 4



Coupling a device on the zamak machine to break sprue.



After the upgrading concluded, one carried out a detailed analysis of the times related to both added-value tasks (assembly process and packing), as well as those that constituted no added value (internal supply to the line, transfer of components between stations, quality control and production control), but which still persisted in the process. The result is presented in Table 5.

Table 5. Times on the assembly line after upgrading.

Tasks	Time (secs)			
	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
Assembly process	5,4	5,5	5,5	7,6
Internal supply	0,1	0,1	...	...
Packing	0,6	...	...	...
Transport	0,2	0,2	0,3	...
Station transfer	0,3	...	...	...
Decanting	0,3	0,5	...	...
Quality control	0,7	0,5	...	0,5
Production control	...	...	...	0,2
Occupation time	7,6	6,8	5,8	8,3
Added-value time	6,0	5,5	5,5	7,6
No value added	1,6	1,3	0,3	0,7

4.2.2. Second phase – elimination/reduction of waste

The second phase was focused on opportunities for improvement. This consisted of eliminating/reducing tasks of no added value and which generated waste, namely: transport of component boxes, component decanting, the transfer of components supplied in boxes unsuited to the support devices on the line, unnecessary movement due to inefficiency in equipment design and quality-control operations of the subsets supplied to the line. Table 6 presents detailed information about the identification of opportunities for improvement.

Table 6. Improvement opportunities.

Problem	Improvement opportunities
Supply to the line	Placing a rack near the line to supply and collect component boxes, thus avoiding the displacement of the operator to the storage area for empty boxes.
Decanting	Designing suitable support devices for the line, so that components can be supplied to the line in their original boxes. For the subsets, supply should be restricted to boxes that are suited to the existing support devices.
Robustness and reliability of the process	Extending the extraction belt to ensure the correct removal of the cable from the zamak injection machine.
Unnecessary movements	Defining and standardizing work methods for operations which require greater skill, especially those relating to the bottleneck station.
Visual inspections	Rejecting subsets on the line, which do not meet quality standards.

4.3. Analysis of results obtained

Through the implementation of the presented proposals to carry out upgrades on equipment (1st phase) and the elimination/reduction of waste (2nd phase), one achieved the results presented in Table 7. Most noteworthy is the increased output, from 350 parts per hour to 493, which corresponds to an increase of 41 %.

Table 7. Results.

	Before improvements	After 1st phase	Variation (%)	After 1st and 2nd phases	Variation (%)
Operator	4	4	0	4	0
Surface occupied (m ²)	25	25	0	25	0
Output (parts/hour)	350	433	+24	493	+41
Cycle time (sec/part)	10,3	8,3	-19	7,3	-29
PPH (parts/person/hour)	87,5	108,3	+24	123,3	+41
Balance in assembly line (%)	.....	85.8	...	88,4	+ 3

Due to the upgrades carried out on equipment (1st phase), one was able to increase the output of 83 pcs/hour (from 350 pcs/hour to 433 pcs/hour), which corresponds to an increase in productivity of almost 24%. Considering that the investment undertaken generated a return in production increase and savings in steel cables, the payback for this investment was under 4 months. In the second phase, when intervention was directed to the elimination/reduction of waste by means of the implementation of LEAN techniques and tools, the results of which are presented in Figure 2: there was a 14 % increase in productivity. The sum total of the results produced by both phases was an increase of 41 %, when compared to the initial value.

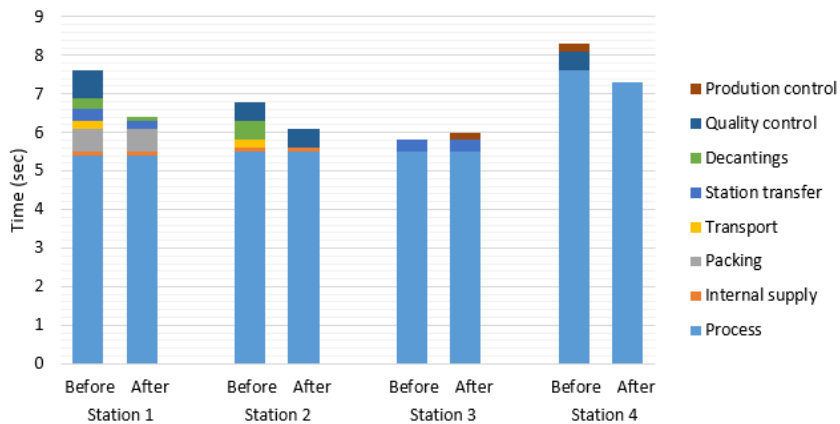


Figure 2. Time spent on each task before and after improvements implemented in the 2nd phase.

5. Discussion and conclusions

The aim of this study was to optimize the production process of the assembly line so that it would meet customer demands during years of greater production volume. This objective was achieved by upgrading the equipment and

eliminating/reducing waste in various areas: problems in supply, operator movement, the reliability of equipment, the balancing of tasks, the definition and standardization of work methods.

This project generated an increase in productivity of 41% on this line, by means of one single investment. Its return is expected to occur within a time period of approximately 4 months. One was thereby able to solve problems in meeting customer demand, as well as to avoid purchasing a new line, which meant enormous savings for the company. One simultaneously minimized the losses that this line represented; through the increase in production, the quantities now produced on the line are closer to those foreseen by the budget. Due to the results reached in this project, the company is implementing this approach on other lines at the factory. One must thus acknowledge that Lean tools played a major role in the results obtained, since they resulted in a systematic approach, both to the processes as well as in the involvement of the people concerned.

References

- [1] R. Rodríguez-Méndez, D. Sánchez-Partida, J. L. Martínez-Flores, and E. Arvizu-Barrón, "A case study: SMED & JIT methodologies to develop continuous flow of stamped parts into AC disconnect assembly line in Schneider Electric Tlaxcala Plant.," IFAC Proc. Vol., vol. 48, no. 3, pp. 1399–1404, 2015.
- [2] J. Choomluksana, M. Ongsaranakorn, and P. S. F., "Improving the productivity of sheet metal stamping subassembly area using the application of lean manufacturing principles," *Procedia Manuf.*, vol. 2, no. February, pp. 102–107, 2015.
- [3] D. A. Elkins, N. Huang, and J. M. Alden, "Agile manufacturing systems in the automotive industry," vol. 91, pp. 201–214, 2004.
- [4] A. C. Moreira and G. C. S. Pais, "Single minute exchange of die. A case study implementation," *J. Technol. Manag. Innov.*, vol. 6, no. 1, pp. 129–146, 2011.
- [5] V. Kumar and A. Bajaj, "The Implementation of Single Minute Exchange of Die with 5 ' S in Machining Processes for reduction of Setup Time," *Int. J. Recent Technol. Mech. Electr. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 32–39, 2015.
- [6] J. Liker, *The Toyota Way-14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill, 2004.
- [7] E. S. M. da Costa, R. M. Sousa, S. Bragança, and A. C. Alves, "An industrial application of the SMED methodology and other lean production tools," *4th Int. Conf. Integrity, Reliab. Fail. Mech. Syst.*, vol. 1, no. i, pp. 1–8, 2013.
- [8] J. P. Pinto, *Pensamento Lean-A filosofia das organizações vencedoras*, 4a ed. Lisboa: Lidel - Edições técnicas, 2009 (in Portuguese).
- [9] M. Nguyen and N. Do, "Re-engineering Assembly line with Lean Techniques," vol. 40, pp. 591–596, 2016.
- [10] G. Chryssolouris, N. Papakostas, and D. Mavrikios, "CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology A perspective on manufacturing strategy : Produce more with less," vol. 1, pp. 45–52, 2008.
- [11] R. Sundar, A. N. Balaji, and R. M. Satheesh Kumar, "A review on lean manufacturing implementation techniques," *Procedia Eng.*, vol. 97, pp. 1875–1885, 2014.
- [12] J. p. Womack, D. T. Jones, and D. Roos, *The Machine that Change the World*. New York: Raw Associates Maxwell MacMillan International Collier-Macmillan, 1990.
- [13] M. C. Kocakülâh, J. F. Brown, and J. W. Thomson, "LEAN Manufacturing Principles and their application," *Cost Manag.*, pp. 16–27, 2008.
- [14] A. C. Alves, J. Dinis-Carvalho, R. M. Sousa, F. Moreira, and R. M. Lima, "Benefits of LEAN management: Results from some industrial cases in Portugal," *Edições INEGI*, 1990.
- [15] M.L. George, *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed*, McGraw-Hill, New York, 2002.
- [16] J. Liker and Meier, *The Toyota Way Fieldbook, a practical guide for implementation Toyota's 4P's*. 2006.
- [17] L. Rivera and F. F. Chen, "Measuring the impact of Lean tools on the cost – time investment of a product using cost – time profiles," vol. 23, pp. 684–689, 2007.
- [18] B. S. Kumar and S. S. Abuthakeer, "Implementation of Lean Tools and Techniques in an Automotive Industry," *J. Appl. Sci.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [19] M. Rother and J. Shook, *Learning to see*. USA: Brookline, Massachusetts, 1999.
- [20] A. Azizi and T. a/p Manoharan, "Designing a Future Value Stream Mapping to Reduce Lead Time Using SMED-A Case Study," *Procedia Manuf.*, vol. 2, no. February, pp. 153–158, 2015.
- [21] J. M. Rohani and S. M. Zahraee, "Production Line Analysis via Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process of Color Industry," *Procedia Manuf.*, vol. 2, no. February, pp. 6–10, 2015.
- [22] S. Spear, "Learning to Lead at Toyota," *Havard Business Review*, pp. 54–63, 2004.

ANEXO V Artigo II



Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June 2017, Vigo (Pontevedra), Spain

SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry

C. Rosa, F.J.G. Silva*, L. Pinto Ferreira, R. Campilho

ISEP – School of Engineering, Polytechnic of Porto, Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, Porto 4200-072, Portugal

Abstract

The automotive industry is one of the most demanding market sectors, in which flexibility and response capability constitute the basis for success. Lead-time reduction is one way of increasing productivity and improving companies' competitiveness. This case study was developed at a company in the automotive sector specialized in car command cables manufacture, namely those which release doors, windows, seats, etc. Each car makes and model has different embedded cables, so that a great variety in production is required. Thus, each assembly line is used to manufacture various references to optimize resources, being the reduction of setup times imperative. This study presents the approach developed on an assembly line, assigned as a pilot project in the implementation of the SMED methodology, complemented by other Lean tools, aiming to reduce the waste inherent to tool changes. The solutions developed enabled one to achieve a weekly reduction of approximately 58,3 % in the time due to setups, contributing by this way to an increase in assembly-line availability as well as to a productive capacity increase.

© 2017 The Authors. Published by Elsevier B.V.

Peer-review under responsibility of the scientific committee of the Manufacturing Engineering Society International Conference 2017.

Keywords: SMED Methodology; Automotive Industry; Assembly-line Optimisation

1. Introduction

The globalization brought an increase in companies' competition, generated as well the need for an improved flexibility [1]. The manufacture of great diversity in small quantities is a condition which requires extremely frequent setups [2]. Thus, companies must find a way to reduce setup times and eliminate wasting time, as well as

* Corresponding author. Tel.: +351 228 340 500; fax: +351 228 321 159.

E-mail address: fgs@isep.ipp.pt

limit activities without real added value [3]. Lean tools establish the principles that aim to reduce wastes by improving the methodologies used to respond to this product mix [4]. The methodology developed by Shigeo Shingo, denominated as SMED (single minute exchange of die) proposes that setups should be carried out within a maximum time period of 10 minutes. This can be achieved by means of the tasks rationalization undertaken by the machine operator [5]. This work was developed at a automotive components manufacturer, having as main goals optimizing the setup times on an assembly line by adopting SMED methodologies in association to other Lean tools. The organization and standardization of tasks changed the entire process into one that is faster and more intuitive.

2. Literature review

The demand for diversity has imposed the adoption of the Toyota Production System (TPS), which results in the production of smaller lots [6]. There is a direct relation between lot size and setup times [4]. If the time required to carry out the setup is too lengthy or cumbersome, there is a tendency towards the production of large lots. Besides limiting operational flexibility and making it more difficult to meet the customer's needs, this process also generates other types of waste. In order to respond to the increasingly competitive market demands, setups must imperatively be performed quickly [7]. The SMED methodology was developed by Shingo (1985), who essentially described it as a scientific approach to reduce setup times. By focusing on the elimination of the waste associated to tool changeovers in the setup phase, SMED allows for the reduction of lot sizes and enables one to meet the fluctuation of demand. It further eliminates the waste inherent to stock buildup and enhances a reduction in lead time [8,9]. A fundamental aspect of the SMED methodology relates to its features of internal and external activities. All of the setup activities which do not interfere directly with the equipment, and which can be carried out without interrupting production, are designated as being external activities. Those which imply a stoppage in the equipment running are described as internal activities. The correct separation of the two is what fundamentally contributes to a reduction in setup times [10,11]. In sum, the SMED methodology consists of three stages, when aiming to reduce setup times [12,13]: 1st Stage - Separating internal from external activities; 2nd Stage – Transforming internal activities into external; 3rd Stage – Reducing and eliminating internal and external activities. The preliminary phase consists of identifying setup operations and tools. The purpose of this phase lies in acquiring an extremely good understanding of the entire setup process [14]. This set of procedures demands continuous monitoring of the process, which is crucial if one is to achieve good results. The operational method ensuing from the result obtained through SMED must be recorded; the purpose of this register is to promote standard work and act as a basis for the training and improvement of teams [15]. Important requirements for the successful application of the SMED methodology reside in a sound knowledge of the technical aspects inherent to equipment and tools, the way in which the work is organized (who does what and when), as well as an understanding of the method itself (how to do) [16]. The actions used to reduce setup time may range from the very simple - such as changing the place where tools are kept - to the implementation of sophisticated devices to prepare and change matrixes. These are usually readily accepted by collaborators and are enthusiastically implemented, since they result from the workers' experience who must deal with the daily problems. It is important to promote teamwork so that the benefits inherent to the methodology are able to thrive [4,14]. SMED application results lie in higher productivity, less stock, improved quality, reduced lead-time, greater flexibility and smaller lot sizes [17].

3. Methodology

The methodology used to undertake this study consisted of various stages. In the first stage, one undertook a literature review, supported by scientific articles with the purpose of coherently sustaining the empirical research presented. In the second stage, one initially proceeded with a survey of the references produced on the line, the processes' mapping and the identification of the setup tools involved in the production of each reference, as well as the assessment of the times required to carry out the setups. One was thus able to analyze the ongoing process and determine both its weaknesses and areas of potential improvement. Subsequently, by means of the SMED methodology, in association to other Lean tools (5S, visual management and standard work), one defined and implemented improvements in the method used to carry out the setups. The last stage consisted of proceeding with an analysis of the results and the quantification of the gains achieved.

4. Analysis and optimization of setup times for the assembly line

The seat-cable assembly line subjected to study (see Fig. 1) consists of eight workstations, with a weekly production of 15 different references, inevitably meaning that a significant number of setups must be performed. The production of all of the references begins at station 1 and follows the numerical workstations sequence. Stations 1, 3, 4 and 5 are used for all the references. Stations 2, 6, 7 and 8 are used for only some of these, as presented in Table 1.

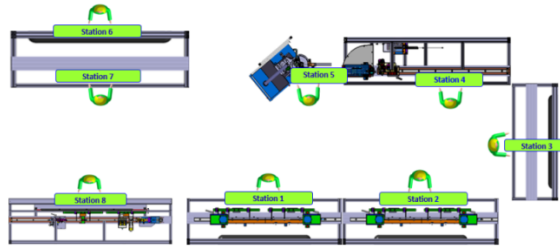


Fig. 1. Line layout.

Due to some references similarity in terms of composition, the assembling processes are analogous. Furthermore, since the configuration for the second zamak terminal is the same, a mold changeover on the zamak machine at workstation 5 is unnecessary. Regarding these features, one then identified target groups for which interconnected setup times are simpler and thus able to be performed by the workstation operator. The objective of intervention on this line was to act upon the organization of the setup tools, streamline their changeover, record the procedures and provide training to the operators. As a result, these alterations will ultimately ensure faster setups, which will also be more manageable for the workstation operators.

Table 1. Stations occupancy according to references.

Group	Product	Reference	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8	
A		121912378	X	X	X	X	X	X	X		
		121912380	X	X	X	X	X	X			
		121912381	X	X	X	X	X	X			
B		121912382	X	X	X	X	X	X	X		
		121912383	X	X	X	X	X	X	X	X	
		121912384	X	X	X	X	X	X	X		
		121912385	X	X	X	X	X	X	X		
C1		121912386	X		X	X	X	X			
		121912387	X		X	X	X	X	X		
C2		121912732	X		X	X	X	X			
C3		121912733	X		X	X	X	X	X		
D		129215311	X	X	X	X	X			X	
		129215312	X	X	X	X	X		X	X	
		129215868	X	X	X	X	X		X	X	
		129215869	X	X	X	X	X		X	X	

4.1 Problems identification

Based on the analysis undertaken regarding the procedure used in the setups tasks, various problems were detected; these resulted in a process which was lengthy and rather non-intuitive. Table 2 presents a list of the identified problems.

Table 2. Problems identified in the execution of setups.

Problem	Description
Organization and identification of setup tools	The setup tools were not organized and the identification of the reference they belong to was not intuitive, thus resulting in a lengthy search process.
Tightening tools	The tools used require resorting to spanners, so that repeated turning actions were needed to clamp the components into position.
Connection hitching	Air hoses with thread connections
Availability of setup support tools	The spanners required to support setup were only in the possession of the tuning technicians.
Placement of fast-wearing components and setup support side-table	The fast-wearing components were only available in the components warehouse. There was no side-table to support setup.
Preparation of components and setup tools for the next stage of production	The line was stopped to prepare the next stage of production. The concept of external setup was not implemented.

4.2 Implemented solutions

The next sections make a detailed description of the solutions proposed to organize and identify the setup tools in an intuitive way, as well as to adopt fast tightening and hitching tools. One also sought to ensure that the tools and fast-wearing components were always available and that internal activities were separated from the external ones.

4.2.1 Organization and identification of the setup tools

One restructured both the location of all the setup tools and their identification, in order to create the necessary conditions for the operators to execute the setup themselves. This task was grounded on the 5S methodology. A color code was produced to identify the tools; this was associated to a number as a safeguard in case of adverse conditions, when the paint on the setup tool might wear off. Six basic colors were considered, in accordance with the colors available on the market for this purpose. By using these, one proceeded with a combination of the possible colors to produce 21 codes. The map placed at each workstation presented a diagram of the equipment, where the setup tools were highlighted (Fig. 2. Identification map for setup tools.

With regard to the tools organization and identification, one should highlight the improvements made to the blocks needed to create the thermal engraving code. These were kept in a small safe, where finding the required block had become a lengthy task. A small plate with slots and magnets was placed on the line so that each component used in the thermal engraving process was firmly positioned in a designated and identified location, as illustrated in **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.a**. Thus, the block required can be found easily. At the labelling station, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.b**, the rolls which were previously kept in bags are now positioned on a rail; this bears the identification reference for the pertinent labels. Due to this improvement, access to the required roll is now immediate.

) to make their position on the equipment easier to identify. The color and number corresponding to each setup tool shown on the map was engraved on the tool and its box (Fig. 3a. Organization of setup tools Fig It was thus easier to establish a connection between the position of the component on the equipment, its reference and storage location.

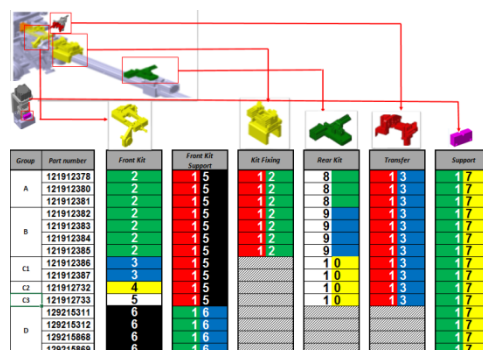


Fig. 2. Identification map for setup tools.

With regard to the tools organization and identification, one should highlight the improvements made to the blocks needed to create the thermal engraving code. These were kept in a small safe, where finding the required block had become a lengthy task. A small plate with slots and magnets was placed on the line so that each component used in the thermal engraving process was firmly positioned in a designated and identified location, as illustrated in **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.a**. Thus, the block required can be found easily. At the labelling station, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.b**, the rolls which were previously kept in bags are now positioned on a rail; this bears the identification reference for the pertinent labels. Due to this improvement, access to the required roll is now immediate.



Fig. 3a. Organization of setup tools before improvements.



Fig. 3b. Organization of setup tools after improvement.



Fig. 4a. Organization and identification of labelling the thermal engraving plates.

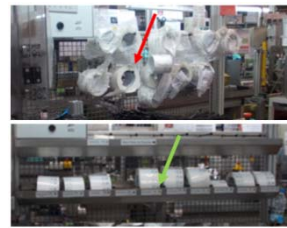


Fig. 4b. Organization and identification of the rolls.

4.2.2 Tightening Tools

The hex bolts on the extractors were replaced with quick-tightening tools (Fig. 5). The extractors can thus be attached with fewer turns and without resorting to spanners. Through this improvement, the setup is carried out faster, especially in the case of the larger references, whose templates may require up to six extractors. Since the tightening tools no longer require spanners, one did away with the costs inherent to purchasing them and bypassed the risk of their being unavailable when needed.

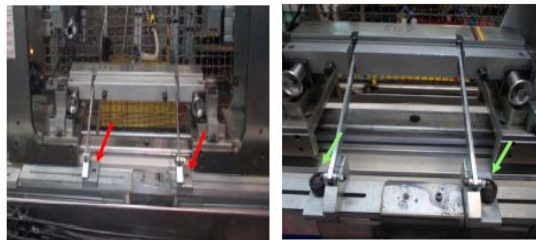


Fig. 5. Quick-tightening tools.

4.2.3 Connection Hitches

The thread connections on the air tubes were replaced with quick-hitch connections. These connections were attached to a steel plate so that one was able to organize the tubing and attach the connection points, as is shown in Fig. 6. Through this improvement, the time required to carry out the connections was reduced by approximately 50%. The probability of damage to these was also minimized since there are no longer any points of connection.

4.2.4 Availability of Support Tools for the Setup

The spanners required at each workstation to carry out the setup were made available to the operator (Fig. 7). Before this measure, there was only one kit of support tools. This caused problems and dependence, since the same spanner was simultaneously needed at more than one station. Through this measure, one avoided the problem of support tool dependence, as well as the need for the displacement of operators when looking for these.

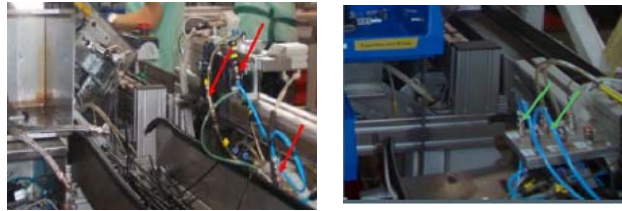


Fig. 6. Quick-hitch tools.



Fig. 7. Support tools made available at the workstation.



Fig. 8. Setup support trolley.

4.2.5 Location of Fast-Wearing Components and Side-Table to Support Setup

A support trolley was provided for the setup (Fig. 8). This was equipped with fast-wearing components and support tools, thus minimizing some of the trips to the warehouse. The purpose of this trolley was also to aid in the preparation of the external setup, acting as support for the setup tools which will be required.

4.2.6 Preparation of Setup Components and Tools for the Next Stage of Production

The materials preparation for the next stage of production will no longer constitute an internal setup task to be carried out by the operators. It will now be undertaken by the team leader as an external setup task. In the tool preparation category for the external setup, one included the templates preparation for workstations 1 and 2. As defined by the technical file, these must be carried out by the Team Leader. Since the remaining tools are stored at the workstation itself, they do not justify an external setup. Due to this change, the worker is no longer required to cover almost 7 m to change the templates, and more 25 m to carry out a change of materials for the next reference.

5. Results analysis

Depending on the sequence of the references to be produced, the setup may require more or less tool changeovers, since there are tools which are common to various references. For each workstation, and with the purpose of analyzing the most representative situation related to the time spent on setups, one selected a sequence of

references which involves a complete tool changeover. The other sequences requiring fewer tools presented shorter times. Table 3. Setup Times, presents the times measured for the setup between the designated references.

Table 3. Setup times.

Station	Sequence of References	Setup Before improvements (min)	Setup After improvements (min)	Variation(%)
1	121912385 →121912386	20	10	-50,0
2	121912385 →121912312	15	8	-46,6
3	121912385 →121912386	18	10	-44,4
4	121912385 →121912386	15	8	-46,6
5	121912385 →121912386	30	10+ (10*)	-66,6
6	121912385 →121912386	7	7	0
7	121912732 →121912733	5	5	0
8	121912311 →121912312	5	5	0

*10 min taken up by the tuning technician to execute the mold changeover on the zamak machine at station 5.

The setup was subsequently carried out at all the stations by the corresponding operator, with the exception of the mold changeover on the zamak machine at station 5, which is still undertaken by the tuning technician. However, the operator executes the changeover of the remaining tools on this workstation at the same time as the tuning operator, which also contributes for 10 minutes setup can be achieved. On observing the results presented in Table 3, one is able to confirm a significant improvement in time spent at each station. Yet, the real impact pertains to the fact that it is the operators at each station who carry out their own setup. The presence of the tuning technician is only necessary when the mold on the zamak machine at station 5 requires to be changed. Using the example of the setup from reference 121912385 to reference 121912386, which involves a mold changeover on the zamak machine, the setup times for each workstation are presented in Table 4. Setup times from reference 121912385 to 121912386. In the cases where no zamak mold changeover occurs, the setup time for workstation 5 was 20 minutes before improvements, being shortened to 10 minutes after improvements, when it is carried out by the machine operator. Before the improvements, the line could have been interrupted for 30 to 90 minutes in order to perform the setup from reference 121912385 to 121912386, depending on the number of tuning technicians involved in the setup activities. With only one tuning technician, the duration of setup would have been 90 minutes, since this worker would have been responsible for the setup at all the workstations. If the setup was carried out by 3 tuning technicians, setup would have taken 30 minutes: one technician would execute the setup at station 5 and the others would do so at the remaining stations. After the improvements, and since each operator will ensure the setup at his own workstation, this will take 10 minutes to undertake. The zamak mold changeover at station 5 is ensured by a technician which activity is carried out simultaneous with the other performed by the operator.

The presentation of times in Table 5 is based on the following assumptions: all references were produced in one week; the required number of tuning technicians was available to undertake setups in the time imposed by the bottleneck workstation, workstation 5 for all the references; setup time was 20 minutes in the cases of no mold changeover on the zamak machine and 30 minutes when mold changeover was required; and that, after improvements, the setup was carried out within 10 minutes. On observing the results, one can conclude that line stoppage time due to setups was reduced by at least 58,3%. Thus, the line now presents a minimum availability period of 210 minutes. In fact, this corresponds to a more extended period of time, since the number of technicians required to ensure setup within bottleneck station time will now intervene simultaneously only on an occasional basis.

Before the improvements were undertaken, and in order to execute the setup in the time presented in Table 5, three tuning technicians were required on average to ensure the setup at all the workstations. After the improvements were implemented, only one tuning technician had to intervene in order to carry out the zamak mold changeover. Activities at the remaining stations were ensured by the operators. On a weekly basis, intervention by the tuning technicians dropped from 18 hours (360 min*3 technicians/60 min/hour) to 1 hour (6 setups with a mold changeover carried out by 1 technician*10 min/60 min/hour), which represents a weekly reduction of 94.4 % in the period of intervention by the tuning technicians.

Table 4. Setup times from reference 121912385 to 121912386.

Station	Setup time Before improvements (min)	Setup time After improvements (min)	Variation (%)
1	20	10	-50,0
2	---	---	---
3	18	10	-44,4
4	15	8	-46,6
5	30	10+ (10*)	-66,6
6	7	7	0
7	---	---	---
8	---	---	---
Total	90	45	-50,0

*10 min taken up by the tuning technician to execute the mold changeover on the zamak machine at station 5.

Table 5. Weekly setup time.

Group	Reference	Setup Before Improvements (min)	Setup After Improvements (min)	Variation (%)
A	121912378 → 121912380	20	10	-50,0
	121912380 → 121912381	20	10	-50,0
	121912381 → 121912382	30	10	-66,6
B	121912382 → 121912383	20	10	-50,0
	121912383 → 121912384	20	10	-50,0
	121912384 → 121912385	20	10	-50,0
C1	121912385 → 121912386	30	10	-66,6
	121912386 → 121912387	20	10	-50,0
C2	121912387 → 121912732	30	10	-66,6
	121912732 → 121912733	30	10	-66,6
C3	121912733 → 121912311	30	10	-66,6
	129215311 → 121912312	20	10	-50,0
D	129215312 → 121912868	20	10	-50,0
	129215868 → 121912869	20	10	-50,0
	129215869 → 121912378	30	10	-66,6
Total		360	150	-58,3

6. Discussion and conclusions

This study was developed with the aim of reducing setup times through the application of the SMED methodology, in association to other Lean tools (5S, visual management and standard work) so as to increase flexibility and productivity on a seat-cable assembly line at the automotive sector company. The main goal was achieved by means of the implementation of various improvement actions targeted to tools organization and identification, tool types, reorganization of internal and external tasks, detailed setup files, visual aids and the operators training. During one week, stoppage time on the line to execute setups was reduced by at least 58.3 %, corresponding to 210 min. This gain is effectively higher, since the number of available technicians was hardly ever the three which were previously required, on average, to execute the setup within the time corresponding to the bottleneck station. After improvements, the tuning technicians were no longer necessary; the setup at the workstations was ensured by the operators themselves, with the exception of the change in references which require the zamak mold changeover. In this case, the tuning technician still intervened and worked at the same time as the operator on workstation 5. Due to the results achieved in this project, the company is currently implementing this type of approach to other remaining lines at the factory, as well as to other projects.

References

- [1] E.S.M. Costa, R.M. Sousa, S. Bragança, and A.C. Alves, 4th Int. Conf. Integrity, Reliab. Fail. Mech. Syst., vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2013.
- [2] Y. Dave, N. Sohani, Int. J. Lean Think., vol. 3, no. 2, pp. 27–37, 2012.
- [3] A.C. Moreira, G.C.S. Pais, J. Technol. Manag. Innov., vol. 6, no. 1, pp. 129–146, 2011.

- [4] M. Cakmakci, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 41, no. 1–2, pp. 168–179, 2009.
- [5] B.S. Kumar, S.S. Abuthakeer, *J. Appl. Sci.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [6] B.M. Deros, D. Mohamad, M.H.M. Idris, M.N. Rahman, J. Ghani, *Int. J. Syst. Appl. Eng. Dev.*, vol. 5, no. 5, pp. 618–625, 2011.
- [7] P.L. King, *Ind. Eng.*, vol. 41, no. 9, pp. 30–35, 2009.
- [8] M.C. Kocakülâh, J.F. Brown, J.W. Thomson, *Cost Manag.*, pp. 16–27, 2008.
- [9] R. Sundar, A.N. Balaji, R.M.S. Kumar, *Procedia Eng.*, vol. 97, pp. 1875–1885, 2014.
- [10] R. Rodríguez-Méndez, D. Sánchez-Partida, J.L. Martínez-Flores, E. Arvizu-Barrón, *IFAC Proc. Vol.*, vol. 48, no. 3, pp. 1399–1404, 2015.
- [11] A. Azizi, T. Manoharan, *Procedia Manuf.*, vol. 2, no. February, pp. 153–158, 2015.
- [12] V. Kumar, A. Bajaj, *Int. J. Recent Technol. Mech. Electr. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 32–39, 2015.
- [13] B. Ulutas, *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 7, pp. 100–103, 2011.
- [14] E. Costa, S. Bragança, R. Sousa, A. Alves, *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 5, pp. 379–385, 2013.
- [15] M. M. Esa, N. A. A. Rahman, M. Jamaludin, *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 211, pp. 215–220, 2015.
- [16] D. Ribeiro, F. Braga, R. Sousa, S. Carmo-Silva, *Rev. Precis. Mech. Opt. Mechatronics*, vol. 3, no. 40, pp. 115–122, 2011.
- [17] K. Ram, S. Kumar, D. P. Singh, *M. Engineering, K. Ram*, vol. 6, no. 9, pp. 38–41, 2015.