



Industrializar Produtos e Melhorar Continuamente Processos em Ambiente Industrial

JULIANA ANDREIA VERÍSSIMO FERNANDES

julho de 2020

Dissertação do MEEC

Industrializar Produtos e Melhorar Continuamente Processos em Ambiente Industrial

Juliana Andreia Veríssimo Fernandes

**Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização Sistemas e Planeamento Industrial**

2020

Confidencialidade

A informação contida neste documento é confidencial.

Todos os que a ela têm acesso deverão manter a mais estrita confidencialidade e não a divulgarão a terceiros, nem a duplicarão para outro fim que não seja o da sua avaliação e atividades conducentes à realização da do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores na área de especialização de Sistemas e Planeamento Industrial da aluna Juliana Veríssimo, sem o consentimento por escrito dos seus proponentes. O objetivo deste documento, bem como das matérias e dados nele contidas, não serão revelados a terceiros, para além daqueles que dele tenham necessidade.

Se não for o destinatário pretendido, qualquer divulgação, cópia, distribuição ou retenção desta informação, ou parte desta, sem o prévio consentimento por escrito dos seus proponentes, é proibida. Se recebeu este documento por engano, por favor, entre em contato com os seus proponentes e apague, por favor, este documento de qualquer computador ou dispositivo de armazenamento.

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores na área de Sistemas e Planeamento Industrial.

Candidato: Juliana Andreia Veríssimo Fernandes, Nº 1130659, 1130659@isep.ipp.pt

Orientação científica: Susana Nicola, sca@isep.ipp.pt

Empresa: Bosch Security Systems

Supervisão: Anabela Neves, anabela.neves@pt.bosch.com



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial
2020

Agradecimentos

Dias antes de entregar a minha dissertação, li uma frase que fez todo o sentido naquele momento: ***“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer.”***- Gandhi

De facto, nunca me faltou o desejo de concretizar este passo na minha vida, mas esse desejo nunca o poderia ter alimentado sozinha. Porque todos aqueles que cruzaram o meu caminho, fazem hoje parte da história que conto. E é só a eles que tenho de agradecer!

Ao ISEP, eu agradeço, por ter sido uma segunda casa. Por ter professores extraordinários e muito motivadores. Um agradecimento muito especial à Doutora Susana Nicola que tanto me apoiou nesta reta final, que foi marcada por uma pandemia que nos deixou a todos perdidos. Um sincero obrigada por todo o tempo despendido e pela energia positiva que sempre me transmitiu!

À Bosch, que todos os dias me faz acordar com vontade de ir trabalhar. Que me deixa “vestir a camisola”, que me permite estar comprometida e entusiasmada com os projetos. E que me faz sempre querer ser mais e melhor.

Um agradecimento especial à minha equipa, com quem tenho oportunidade de aprender muito, e criar soluções criativas que contribuem para o desenvolvimento da indústria.

Aos meus amigos, agradeço todos os momentos vividos (e a compreensão por todos os momentos que falhei por estar a estudar).

Sei que vão estar sempre lá, independentemente de tudo!

À minha família, que foi a responsável pela construção dos meus alicerces. À minha avó, que com 86 anos é um autêntico furacão e que tanta inspiração me dá.

Aos meus pais, porque não poderiam ser mais incansáveis. Agradeço a educação que deram, a vida que me permitiram ter, e os valores que me transmitiram. Foram esses valores que me tornaram quem sou! Serei vos eternamente grata!

Ao meu irmão, que todos os dias me faz ter orgulho em ser a sua irmã mais velha! Cresci e cresço muito com ele, e tenho a certeza de que seremos para sempre unidos. Obrigada!

Ao Cristiano, por estar sempre comigo. Por todo o amor, cumplicidade e amizade. Sem ele, não era tão forte. Sem ele, não era tão feliz. Um obrigada gigante!

A todos, eu desejo que sejam sempre muito felizes!

Muito obrigada!

Juliana Veríssimo

Resumo

Se antigamente as empresas tinham um bom posicionamento no mercado devido exclusivamente ao seu produto, hoje em dia, isso não é suficiente, uma vez que vivemos num mundo apelidado de “*mundo VUCA*” (*Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity*), onde a incerteza, a volatilidade, a complexidade e ambiguidade tornaram-se palavras chave do nosso dia a dia.

Para se ter sucesso é exigida, uma grande capacidade de adaptação às mudanças, resiliência para ultrapassar as dificuldades, e criatividade para a criação de novas soluções. E como dizia *Darwin*: “Não sobrevive a espécie mais forte, mas a que se adapta à mudança”

A presente dissertação acompanha um caso de estudo em ambiente industrial na Bosch de Ovar, associado à produção de um tipo de câmaras de vídeo vigilância.

A câmara estudada já se encontrava no mercado quando foi transferida para a fábrica de Ovar, e contava com altos volumes de produção, o que obrigou a equipa tivesse que rapidamente criar as condições necessárias para que o produto fosse produzido em Ovar o mais rapidamente possível, com o nível de qualidade exigido e ao menor custo. No início o desafio mostrava-se complexo, devido à rapidez com que todas as decisões foram tomadas e pela falta de conhecimento maduro do produto.

Viveram-se tempos de incerteza e ambiguidade devido à pandemia instalada de *Covid 19*. As condições adversas fizeram a equipa ser criativa, ambiciosa e mais do que nunca, ágil.

Ao longo do documento serão apresentadas metodologias usadas na industrialização de novos produtos, como o DFMA (*Design For Manufacturing Assembly*), e a PFMEA (*Process Failure Mode and Effect Analysis*), é descrito de que modo essas metodologias foram associadas a um projeto que já tinha sido industrializado.

A melhoria contínua, teve um papel muito importante na realização deste projeto, uma vez que foi através de algumas das suas metodologias como, *value stream mapping, lean line design, relatório A3, 5S, ciclo PDCA, identificação de desperdícios*, que foi possível melhorar iterativamente o processo. A cada iteração foi realizado um estudo de tempos e métodos e gráficos de balanceamento. Foram ainda realizadas análises ergonómicas aos postos de trabalho dos operadores, garantindo que tinham as condições indicadas para trabalhar, sem prejudicar a sua saúde. E por fim foi proposto e validado um novo *layout*.

No final todo o trabalho realizado, permitiu uma poupança tangível, superior a meio milhão de euros. Como resultados intangíveis, será possível verificar a redução de 16 m² de chão de fábrica, a atualização da PFMEA com a redução de vários RPN (*Risk Priority Number*), a revisão do DFMA, a diminuição das falhas de CAT (*Customer Acceptance Test*), o aumento de capacidade instalada e ainda a melhoria nas condições de acondicionamento de matérias primas.

Palavras-Chave

Lean, Ergonomia, Estudo de tempos de métodos, *Value Stream Mapping, Lean Line Design, FMEA*

Abstract

If in the past companies had a good position in the market due exclusively to their product today, but this is not enough, since we live in a VUCA (Volatility, Uncertainty, Complexity and Ambiguity) world and where these words become part of our lives.

To be successful it is necessary to have a great capacity to adapt to any changes that may occur such as: resilience to overcome difficulties, and creativity to create new solutions. As Darwin said: "It is not the strongest of the species that survives, it is the one that is the most adaptable to change".

This dissertation encompasses a case study in an industrial environment at Bosch from Ovar, associated with the production of a type of video surveillance cameras.

The studied camera was already on the market when it was transferred to the Ovar factory, and had high production volumes, which forced the team to quickly create the necessary conditions for the product to be produced in Ovar, as soon as possible, with the required level of quality and at the lowest cost. At the beginning, the challenge proved to be complex due to the speed with which all decisions were made and the lack of knowledge the product.

Times of uncertainty have been experienced due to the pandemic installed in Covid 19. The adverse conditions made the team creative, ambitious and more than ever agile.

The document will present methodologies used in the industrialization of new products, such as DFMA (Design For Manufacturing Assembly), and PFMEA (Process Failure Mode and Effect Analysis), describing how these methodologies were associated with a project that had already been industrialized.

Continuous improvement played a very important role in the realization of this project, since it was through some of its methodologies such as, value stream mapping, lean line design, A3 report, 5S, PDCA cycle, waste identification, that it was possible to improve iteratively the process.

At each iteration, a study of times and methods and balancing graphs was carried out. Ergonomic analyzes were also carried out on the operator's workstations, ensuring that they had the right conditions to work, without harming their health. Finally, a new layout was proposed and validated.

In the end, all the work carried out allowed for tangible savings of over half a million euros. As intangible results, it will be possible to verify the reduction of 16 m² of the factory floor, the update of the PFMEA with the reduction of several RPN (Risk Priority Number), the revision of the DFMA, the reduction of CAT (Customer Acceptance Test), failures, the increase in installed capacity and also the improvement in conditions for packaging raw materials.

Keywords

Índice

<i>Agradecimentos</i>	<i>i</i>
<i>Resumo</i>	<i>iii</i>
<i>Palavras-Chave</i>	<i>iii</i>
<i>Abstract</i>	<i>v</i>
<i>Keywords</i>	<i>v</i>
<i>Índice de Figuras</i>	<i>ix</i>
<i>Índice de Tabelas</i>	<i>xi</i>
<i>Acrónimos</i>	<i>xiii</i>
1. Introdução	1
1.1. <i>Contextualização</i>	<i>1</i>
1.2. <i>Objetivos</i>	<i>2</i>
1.3. <i>Metodologias</i>	<i>3</i>
1.4. <i>Calendarização</i>	<i>4</i>
1.5. <i>Organização do relatório</i>	<i>5</i>
2. Revisão da Literatura	6
2.1. <i>Melhoria Contínua</i>	<i>6</i>
2.1.1. <i>Lean</i>	<i>6</i>
2.1.1.1. <i>Os 5 princípios do Lean</i>	<i>6</i>
2.1.1.2. <i>Ferramentas de melhoria Contínua</i>	<i>11</i>
2.1.2. <i>Estudo de Tempos e Métodos</i>	<i>15</i>
2.1.2.1. <i>Cronometragem</i>	<i>15</i>
2.1.2.2. <i>MTM</i>	<i>16</i>
2.1.2.3. <i>Balanceamento de uma linha de produção</i>	<i>16</i>
2.1.3. <i>Layout fabril</i>	<i>17</i>
2.1.4. <i>Ergonomia</i>	<i>18</i>
2.1.4.1. <i>Biomecânica</i>	<i>19</i>
2.1.4.2. <i>Fisiologia</i>	<i>20</i>
2.1.4.3. <i>Antropometria</i>	<i>20</i>
2.1.4.4. <i>Aspetos considerados nas análises ergonómicas</i>	<i>21</i>
2.2. <i>Industrialização de novos produtos</i>	<i>26</i>
2.2.1. <i>DFMA</i>	<i>27</i>
2.2.2. <i>PFMEA</i>	<i>27</i>
3. Caso de Estudo	29

3.1.	<i>A Bosch</i>	29
3.2.	<i>A Bosch Security and Safety Systems</i>	31
3.3.	<i>Identificação/Caracterização do problema e motivação</i>	33
3.3.1.	<i>Value Stream Mapping</i>	34
3.3.1.1.	<i>O processo de SMT</i>	37
3.3.1.2.	<i>O processo de THT</i>	38
3.3.1.3.	<i>A área de corte de PCBA</i>	39
3.3.1.4.	<i>A área testes de PCBA</i>	40
3.3.1.5.	<i>A linha final</i>	41
3.3.2.	<i>Estudo de tempos e métodos</i>	41
3.3.3.	<i>Análise de oportunidades de melhoria e aplicação das metodologias estudadas</i>	48
3.3.4.	<i>Tópicos identificados nas análises de processo</i>	61
3.3.4.1.	<i>Ergonomia</i>	74
3.3.4.2.	<i>Lean Line Design</i>	83
3.3.4.2.1.	<i>Preparação do Lean Line Design</i>	83
3.3.4.2.2.	<i>Workshop</i>	85
4.	Resultados obtidos	92
4.1.	<i>Na área da melhoria contínua</i>	92
4.2.	<i>Na área da industrialização</i>	95
5.	Conclusões e Trabalho Futuro	97
5.1.	<i>Conclusões</i>	97
5.2.	<i>Limitações e trabalho Futuro</i>	98
	Referências documentais	99
	Anexos	102

Índice de Figuras

FIGURA 1 - CALENDARIZAÇÃO	4
FIGURA 2 - Os 5 PRINCÍPIOS DO <i>LEAN</i> [FONTE PRÓPRIA]	6
FIGURA 3 - EXEMPLO DE UM VSM [29]	7
FIGURA 4 - Os 7 DESPERDÍCIOS DO <i>LEAN</i> [FONTE PRÓPRIA]	8
FIGURA 5 - PRODUÇÃO EM LOTES VS PRODUÇÃO EM FLUXO [5].....	9
FIGURA 6 – <i>PUSH SYSTEM</i> (SISTEMA EMPURRADO) vs <i>PULL SYSTEM</i> (SISTEMA PUXADO) [6]	10
FIGURA 7 - CICLO PDCA [7].....	11
FIGURA 8 - EXEMPLO DE UM A3 [9].....	12
FIGURA 9 - Os 5 PORQUÊS [10]	12
FIGURA 10- CADEIA DE VALOR DE <i>PORTER</i> [12]	14
FIGURA 11 - 5S [13]	14
FIGURA 12 - 4 TIPOS DE <i>LAYOUT</i> [23].....	18
FIGURA 13 - IMPACTO DO MANUSEAMENTO DE CARGAS NAS COSTAS [14].....	19
FIGURA 14 - MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS [30].....	21
FIGURA 15 - ALCANCE DE MATERIAIS E FERRAMENTAS [16]	21
FIGURA 16 - ALTURA DE TRABALHO [17]	22
FIGURA 17 - CAMPO DE VISÃO [16]	22
FIGURA 18 - AVALIAÇÃO DE POSTURAS: PESCOÇO E OMBROS [16].....	24
FIGURA 19 - AVALIAÇÃO DE POSTURAS: COTOVELO E PULSOS [16]	24
FIGURA 20 - AVALIAÇÃO DE POSTURAS: COSTAS [16].....	25
FIGURA 21 - AVALIAÇÃO DE POSTURAS: ANCAS E PERNAS [16].....	25
FIGURA 22 - <i>BOSCH SECURITY AND SAFETY SYTEMS DE OVAR</i>	29
FIGURA 23 - ROBERT BOSCH [26]	29
FIGURA 24 - SISTEMA DE IGNIÇÃO POR MAGNETO DE ALTA VOLTAGEM [26].....	30
FIGURA 25 – ÚLTIMOS RESULTADOS PUBLICADOS DO GRUPO BOSCH [26]	30
FIGURA 26 - UNIDADES DA <i>BOSCH SECURITY AND SAFETY SYSTEMS</i> NO MUNDO [27]	31
FIGURA 27 – <i>GRUPOS DE NEGÓCIOS DE BOSCH BULDING TECHNOLOGIES</i> [27].....	32
FIGURA 28 – CATEGORIAS DE PRODUTOS DA <i>BOSCH SECURITY AND SAFETY SYSTEMS</i>	32
FIGURA 29 - VARIANTES DO PRODUTO A.....	33
FIGURA 30 - <i>VALUE STREAM MAPPING</i> DO PRODUTO ESTUDADO	35
FIGURA 31 - EXEMPLO DE SUPERMERCADO NA BOSCH	37
FIGURA 32 - EXEMPLO DE UMA LINHA DE <i>SMT</i>	37
FIGURA 33 - DIFERENÇA ENTRE COMPONENTES DE <i>SMT</i> E <i>THT</i>	38
FIGURA 34 - MÁQUINA DE SOLDAR SELETIVA	39
FIGURA 35 - EXEMPLO DE CASSETE DE <i>PCBA</i>	40
FIGURA 36 - EXEMPLO DE CONTENTOR DE <i>PCBA</i>	40
FIGURA 37 - <i>LAYOUT</i> INICIAL DA 1ª LINHA TRANSFERIDA	41
FIGURA 38 – GRÁFICO DE BALANCEAMENTO - V. <i>INDOOR</i> 8 OPERADORES	45
FIGURA 39 - DIAGRAMA DE ATRIBUIÇÃO DE POSTOS - V. <i>INDOOR</i> 8 OPERADORES	46
FIGURA 40 - GRÁFICO DE BALANCEAMENTO - V <i>OUTDOOR</i> 8 OPERADORES	47
FIGURA 41 - DIAGRAMA DE ATRIBUIÇÃO DE POSTOS – V. <i>OUTDOOR</i> 8 OPERADORES.....	47
FIGURA 42 - DEFEITOS ENCONTRADOS NOS TESTES DE <i>CAT</i>	48
FIGURA 43 - EVOLUÇÃO DAS FALHAS DE <i>CAT</i>	49
FIGURA 44 - ESQUERDA - <i>FLOWBOX</i> ANTIGA; DIREITA – <i>FLOWBOX</i> NOVA	49
FIGURA 45 - <i>LAYOUT</i> DAS DUAS LINHAS DE PRODUÇÃO.....	51
FIGURA 46 - GRÁFICO DE BALANCEAMENTO - V. <i>INDOOR</i> 7 OPERADORES	53
FIGURA 47 - DIAGRAMA DE ATRIBUIÇÃO DE POSTOS - V. <i>INDOOR</i> 7 OPERADORES	53
FIGURA 48 - GRÁFICO DE BALANCEAMENTO - V. <i>OUTDOOR</i> 7 OPERADORES	54
FIGURA 49 - DIAGRAMA DE ATRIBUIÇÃO DE POSTOS - V. <i>OUTDOOR</i> 7 OPERADORES	54
FIGURA 50 - <i>LAYOUT</i> DAS DUAS LINHAS APÓS NOVO CONCEITO DE TESTES.....	56
FIGURA 51 – SEQUÊNCIA DE TEMPOS DE OPERADOR E MÁQUINA NOS TESTES FUNCIONAIS	58
FIGURA 52 - DIAGRAMA DE BALANCEAMENTO DOS TESTES FUNCIONAIS.....	58
FIGURA 53 - GRÁFICO DE BALANCEAMENTO - V. <i>INDOOR</i> 6 OPERADORES	59

FIGURA 54 - DIAGRAMA DE ATRIBUIÇÃO DE POSTOS - V. INDOOR 6 OPERADORES	59
FIGURA 55 - GRÁFICO DE BALANCEAMENTO - V. OUTDOOR 7 OPERADORES	60
FIGURA 56 - DIAGRAMA DE ATRIBUIÇÃO DE POSTOS - V. OUTDOOR 7 OPERADORES	60
FIGURA 57 - BANCADAS DE TRABALHO DEMASIADO LARGAS	61
FIGURA 58 - MATERIAIS A GRANEL	62
FIGURA 59 - CALHAS DE DISPENSAÇÃO	63
FIGURA 60 - COLA USADA.....	64
FIGURA 61 - SUPERMERCADO DE CURA	64
FIGURA 62 - CARTÃO DO SUPERMERCADO DE CURA	65
FIGURA 63 - APLICAÇÃO DA NOVA COLA	65
FIGURA 64 - PEÇAS COLADAS COM A NOVA COLA.....	66
FIGURA 65 - TESTE DE ADESIVIDADE.....	66
FIGURA 66 - CORTE DE PELÍCULAS	67
FIGURA 67 - EQUIPAMENTO PARA REMOÇÃO DE PELÍCULAS	68
FIGURA 68 - SISTEMA DE CONTAGEM DE ACESSÓRIOS.....	68
FIGURA 69 - CONECTOR COM ETIQUETA	69
FIGURA 70 - PEÇA ONDE SE DEVE INCLUIR A INFORMAÇÃO DO CONECTOR.....	69
FIGURA 71 - <i>INSERTS</i> EMPILHADOS	69
FIGURA 72 - CONCEITO DE SUPORTE DE COPOS DE PLÁSTICO	70
FIGURA 73 - <i>BUBBLE BAGS</i>	70
FIGURA 74 - CAIXA COLETIVA: ESQUERDA - DIVERSIDADE <i>INDOOR</i> ; DIREITA DIVERSIDADE <i>OUTDOOR</i>	71
FIGURA 75 - <i>COLOCAÇÃO DE BUBBLE BAGS</i>	71
FIGURA 76 - NOVA CAIXA COLETIVA PARA A VERSÃO <i>OUTDOOR</i>	72
FIGURA 77 - EXEMPLOS DE PEÇAS COM DEMASIADAS PROTEÇÕES	73
FIGURA 78 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DAS POSTURAS CORPORAIS	75
FIGURA 79 - EXCERTO DE UMA TABELA DE <i>STAND WALKING CRITERIA</i>	75
FIGURA 80 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DE ALCANCE DE MATERIAIS	77
FIGURA 81 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DE CAMPOS DE VISÃO	78
FIGURA 82 - MEDIÇÃO DA FORÇA EXERCIDA NA REMOÇÃO DOS <i>INSERTS</i>	81
FIGURA 83 - AVALIAÇÃO IGEL - <i>SCHULTETUS</i>	82
FIGURA 84 - ETIQUETA DE <i>ERGOCHECK</i>	82
FIGURA 85 - GRÁFICO DE QUANTIDADES DE UNIDADES ENCOMENDADAS EM 2020	84
FIGURA 86 - RESULTADO DA ANÁLISE DAS BOM DAS DUAS VARIANTES.....	86
FIGURA 87 - PROPOSTA 1 DE <i>RELAYOUT</i>	87
FIGURA 88 - PROPOSTA 2 DE <i>RELAYOUT</i>	88
FIGURA 89 - PROPOSTA 3 DE <i>RELAYOUT</i>	89
FIGURA 90 - BORDO DE LINHA ATUAL DO POSTO 10.....	90
FIGURA 91 - BORDO DE LINHA FUTURO DO POSTO 10	91
FIGURA 92 - % DESBALANCEAMENTO NAS DIFERENTES ITERAÇÕES	93

Índice de Tabelas

TABELA 1 - LUMINOSIDADE NO LOCAL DE TRABALHO.....	26
TABELA 2 - NOMENCLATURA DO VSM.....	34
TABELA 3 – SIGLAS PRESENTES NAS FÓRMULAS DO MÉTODO <i>RELOWISA</i>	36
TABELA 4 - PARÂMETROS DA FÓRMULA DE CÁLCULO DE CT.....	42
TABELA 5 - PARÂMETROS DA FÓRMULA DE CÁLCULO DE <i>tv</i>	42
TABELA 6 - LISTA DE POSTOS DA 1ª LINHA TRANSFERIDA COM VT ASSOCIADO	43
TABELA 7 – ANÁLISE DE VT DOS TESTES DE PCBA.....	50
TABELA 8 - LISTA DE POSTOS DAS DUAS LINHAS TRANSFERIDAS COM VT ASSOCIADO.....	52
TABELA 9 - LISTA DE POSTOS DAS DUAS LINHAS VT ASSOCIADO	57
TABELA 10 - <i>ERGOCHECK</i> - GRUPO 1.....	74
TABELA 11 - RESULTADOS OBTIDOS NA ANÁLISE DE <i>STAND WALKING CRITERIA</i>	76
TABELA 12 - <i>ERGOCHECK</i> - RESULTADOS OBTIDOS GRUPO 1	76
TABELA 13 - <i>ERGOCHECK</i> - GRUPO 2.....	77
TABELA 14 - <i>ERGOCHECK</i> - RESULTADOS OBTIDOS GRUPO 2	78
TABELA 15 - <i>ERGOCHECK</i> - GRUPO 3.....	79
TABELA 16 - RESULTADOS OBTIDOS GRUPO 3	79
TABELA 17 <i>ERGOCHECK</i> - GRUPO 4.....	80
TABELA 18 - RESUMO DOS MÉTODOS IGEL	81
TABELA 19 – QUANTIDADES DE UNIDADES ENCOMENDADAS (K UNIDADES) EM 2020	84
TABELA 20 - MATRIZ DE DECISÃO	90

Acrónimos

BoM	-	<i>Bill of Material</i>
CAT	-	<i>Customer Acceptance Test</i>
CIP	-	<i>Continuous Improvement Process</i>
DFMA	-	<i>Design For Manufacturing Assembly</i>
EBIT	-	<i>Earnings Before Interest and Taxes</i>
ERP	-	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FIFO	-	<i>First In First Out</i>
FMEA	-	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
PFMEA	-	<i>Process Failure Mode and Effect Analysis</i>
IPS	-	<i>Inicial Production System</i>
KPI	-	<i>Key Performance Indicator</i>
MTM	-	<i>Methods Time Measurement</i>
PCBA	-	<i>Printed Circuit Board Assembly</i>
PCDA	-	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PFME	-	<i>Process Of Failure Mode and Effects Analysis</i>
PoUP	-	<i>Point of User Provider</i>
RPN	-	<i>Risk Priority Number</i>
SAP	-	<i>System Analysis Program</i>
SMT	-	<i>Surface Mount Tecnology</i>
THT	-	<i>Through Hole Technology</i>
VSD	-	<i>Value Stream Design</i>
VSM	-	<i>Value Stream Mapping</i>

1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação foi desenvolvida durante o ano letivo 2019/2020, fazendo parte do âmbito da unidade curricular Tese/Dissertação incluída no ramo de Sistemas e Planeamento Industrial do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Para o desenvolvimento desta dissertação foi usado um caso de estudo real na indústria da *Bosch Security and Safety Systems* em Ovar. O trabalho realizado foi efetuado abrangendo todas as áreas de intervenção de engenharia industrial, com o objetivo principal de juntar a vertente de industrialização com a melhoria contínua associada aos processos produtivos e logísticos.

1.1. Contextualização

Comum a todas as indústrias, a engenharia industrial ou engenharia de processo é uma função crucial para o desenvolvimento da produção. Na *Bosch*, esta valência tem como principais funções a industrialização de novos produtos e a melhoria contínua dos processos.

Industrializar novos produtos, significa criar condições no chão de fábrica para a produção de novos produtos, que sairão para o mercado e que contribuirão para a continuidade do negócio. Esta fase é iniciada com a apresentação do novo produto pela equipa de desenvolvimento à equipa da fábrica. Daí em diante são despoletados inúmeros processos e operações internas à fábrica. No que diz respeito à engenharia industrial ou de processo, o principal foco nesta área, é conhecer bem o produto, e garantir que todos os aspetos críticos (de montagem, funcionais, cosméticos), são assegurados ao máximo pelo *design*, caso contrário terão de ser salvaguardados pelo processo. É também necessário definir e criar o processo e tudo o que é inerente (linhas de produção, ferramentas, instruções de trabalho, documentação de suporte...).

A melhoria contínua é uma ferramenta que acompanha sempre o dia a dia e que se foca nos processos já existentes, sempre com o objetivo de potencializar os processos por via de eliminação de desvios os desperdícios. Na *Bosch* existem 4 *workshops* anuais onde são definidos os projetos que serão trabalhados no ciclo seguinte. Os projetos são levados a este workshop tendo por base os indicadores da fábrica (KPI – *Key Performance Indicator*), no caso a produtividade e a qualidade. No âmbito de engenharia industrial são exemplos de projetos que podem derivar destes indicadores:

- *Relayouts* de linha
- Aumentos de capacidade
- Inovação de *standards* de apoio à produção
- Redução de custos de logística interna

- Melhorias do processo para eliminar falhas encontradas (internamente e externamente)

O presente trabalho conseguiu abarcar os dois grandes focos da função do engenheiro industrial na *Bosch*, a industrialização e melhoria contínua. Estas duas grandes áreas foram aplicadas no âmbito da transferência de um novo produto para a fábrica. Trata-se de uma câmara fixa industrializada numa outra fábrica e já disponível no mercado. Esta transferência obrigou à rápida reação por parte da fábrica para responder rapidamente ao mercado. Depois de este requisito começar a ser exequível, o desafio proposto foi melhorar as condições de processo e logísticas que numa primeira fase foram copiadas da fábrica anterior.

A transferência foi realizada em duas etapas, sendo que só depois da segunda, é que a fábrica de Ovar ficou unicamente com a responsabilidade de produzir a câmara em questão. Até então existiam duas fábricas a produzir, e foi este o principal motivo para o requisito de manter as condições usadas na primeira fábrica, de modo a garantir que os produtos eram produzidos sob as mesmas condições de processo.

Com a transferência total do produto, a equipa da fábrica conseguiu ganhar mais autonomia, o que lhe permitiu uma quase nova industrialização do produto.

1.2. Objetivos

O estudo destas linhas de produção foi motivado pela necessidade de instalar mais capacidade e aumentar a competitividade de fábrica de Ovar na produção desta câmara. É espectável que após o estudo, a capacidade de produção seja aumentada, os recursos sejam menores ou iguais e os desperdícios encontrados sejam mitigados.

Assim os objetivos principais deste trabalho foram:

- Utilizando algumas ferramentas *Lean* será feita uma análise de processo às linhas com o objetivo de conhecer o processo identificar principais focos de desperdício.
- A definição do número de trabalhadores em linha, e a distribuição de trabalho vai obrigar a um estudo de tempos e métodos.
- Realização de uma análise ergonómica de forma a garantir que os operadores têm as condições indicadas para produzir sem comprometerem a sua saúde.

Fará parte deste processo a documentação da *FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)*, por parte da equipa de Ovar, com o intuito de identificar/analisar todas as falhas que podem derivar do processo, e deste modo traçar possíveis ações de melhoria.

1.3. Metodologias

Para satisfazer os objetivos propostos destacam-se de seguida as metodologias a adotar.

Com o foco na melhoria contínua:

Será usada a filosofia *Lean*, com as seguintes metodologias:

- VSM (*Value Stream Mapping*), de modo a conhecer toda a cadeia de valor associada ao produto.
- 7 desperdícios do *Lean* com o propósito de encontrar desperdícios relacionados com cas umas das 7 categorias.
- 5's com o objetivo, tornar mais eficiente a produção e tornar transparente o fluxo, possibilitando rapidamente a identificação de desvios.
- Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), será utilizado sempre que é detetado um problema, de forma a acompanhar a sua resolução.
- Relatório A3, após a identificação de problemas concretos, será utilizado o método A3 para a resolução de problemas. [9]

Para a análise de tempos e métodos, será usado o método de cronometragem. Após a cronometragem os balanceamentos serão efetuados utilizando os *templates* existentes na fábrica.

Será também revista a FMEA de produto por forma a identificar os modos de falha prioritários para a mitigação.

A análise ergonómica será realizada de acordo com as diretivas da *Bosch*, onde serão utilizadas as ferramentas *Ergocheck* para avaliar as condições da linha, o software *IGEL* para avaliar as cargas dos operadores e ainda o método *Stand Walk Criteria* de forma a avaliar o tempo que os operadores permanecem de pé sem se deslocarem.

Após identificar todas as melhorias a adotar será realizado um *workshop* de *Lean Line Design* de modo a adaptar a linha às necessidades reais do processo.

Com o foco na industrialização

Será revisto com o suporte do R&D o DFMEA (*Design For Manufacturing Assembly*) de forma a incluir todas as alterações de manufatura relevantes

Para a FMEA será utilizado o software *IQRM*. Numa primeira fase a FMEA vai ser adaptada ao que existia na fábrica anterior. Posteriormente será atualizada com todas as alterações necessárias.

1.5. Organização do relatório

O presente relatório encontra-se organizado em cinco capítulos.

No primeiro capítulo é feita a introdução e contextualização da dissertação. São também enumerados os principais objetivos bem como a calendarização das tarefas.

Foi feito um estudo do estado da literatura, que se encontra no segundo capítulo.

O terceiro capítulo dá lugar ao caso de estudo, onde é apresentada a empresa onde foi realizado o estudo, bem como os desafios propostos e as propostas de melhoria. Ainda neste capítulo encontram-se soluções de melhoria apresentadas.

É no quarto capítulo que são apresentados os resultados obtidos.

Por fim, no capítulo 5, são tecidas as conclusões e é feita uma reflexão do trabalho futuro.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Nesta secção é apresentado o estudo da literatura no que diz respeito às diferentes metodologias e áreas necessárias ao estudo da presente dissertação. Este estudo encontra-se subdividido em dois subcapítulos principais, o primeiro dedicado à melhoria contínua e o segundo à industrialização.

2.1. Melhoria Contínua

2.1.1. Lean

Lean significa “magro” e é nos dias de hoje uma filosofia cultivada por muitas empresas por forma a potenciarem o seu negócio por meio da eliminação de desperdícios. Esta filosofia é extensível a todas as pessoas e processos da organização, mas foi ao nível das operações do chão de fábrica que se deu o surgimento desta cultura [1].

Após a segunda guerra mundial, a economia estava muito fragilizada. Havia a necessidade de reinventar as indústrias para que as suas produções fossem mais eficientes. A *Toyota* foi a empresa pioneira neste caminho, acabando por criar um novo modelo de produção conhecido em todo o mundo - *Toyota Production System (TPS)* [2].

O grande objetivo de uma empresa é gerar lucro, para isso, necessita de otimizar os seus recursos de modo a promover a sua capacidade de produção [3].

Nos dias de hoje cada empresa tem a liberdade de adaptar a filosofia *Lean* à sua realidade, contudo, quando bem aplicado o *Lean* rege-se por 5 princípios, que serão descritos no tópico seguinte.

2.1.1.1. Os 5 princípios do Lean

Os 5 princípios básicos do *Lean* estão identificados na Figura 2.

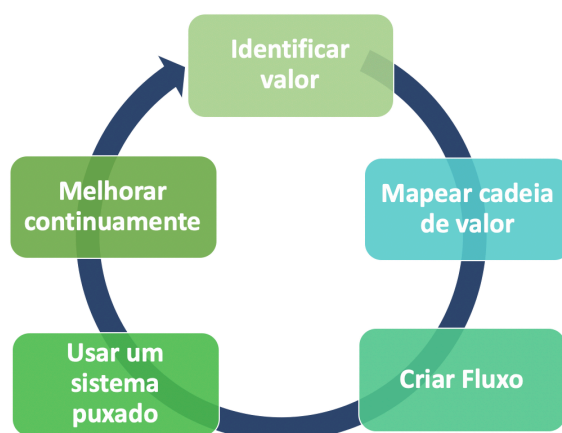


Figura 2 - Os 5 princípios do *Lean* [Fonte própria]

- 1. Identificar Valor:** Em primeiro lugar destaca-se a identificação de valor. O valor está diretamente relacionado com aquilo que o cliente espera do produto ou serviço – “Valor é tudo aquilo que o cliente está disposto a pagar” [4]

É por isso, muito importante, o conhecimento das expectativas a todos os níveis do cliente, sobre o produto ou serviço que lhe iremos fornecer. Esta análise vai permitir à empresa perceber em que atividades e processos deve estar o foco das suas ações, quer para potenciar as que criam valor, quer para eliminar as que geram desperdício [1].

- 2. Mapear a cadeia de valor:** Após identificado o valor, é necessário desenhar ou mapear a cadeia de valor, onde devem estar descritos todos os intervenientes, desde os fornecedores aos clientes [1]. É importante que a informação seja descrita da uma forma mais realista e detalhada, para que se possa identificar o mais claramente possível as que geram valor das que apresentam desperdício.

Um exemplo de um mapa da cadeia de valor (VSM), pode ser o descrito na Figura 3. Neste esquema é possível analisar fluxos de informação, de material e fluxos (ainda que macro) produtivos.

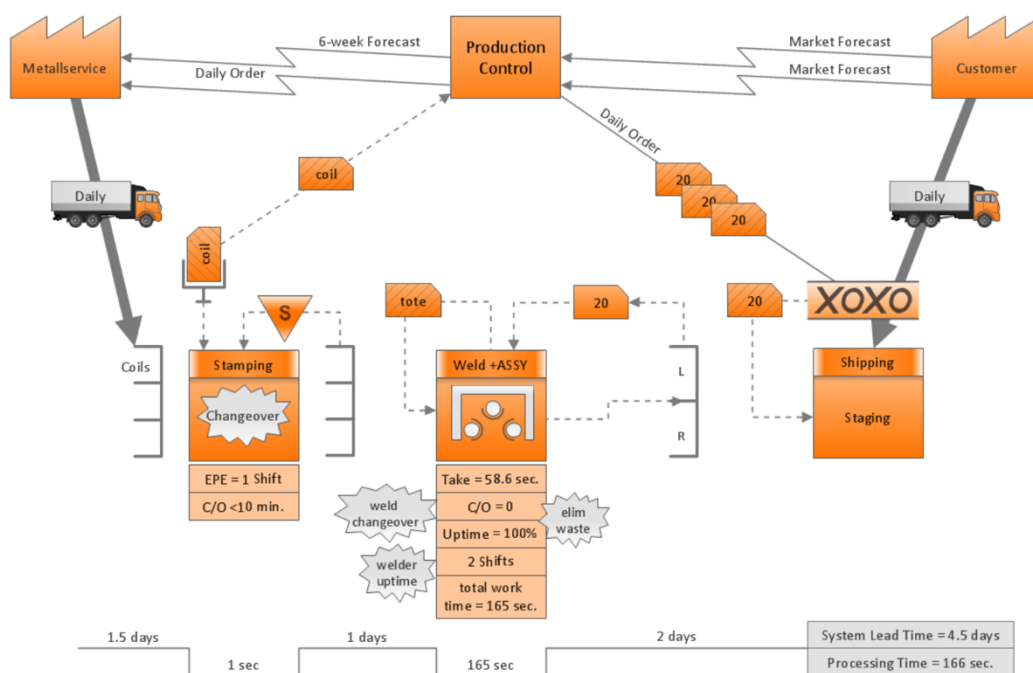


Figura 3 - Exemplo de um VSM [29]

Após a construção do VSM, tal como referido anteriormente, será possível identificar os desperdícios e de seguida tentar ao máximo eliminá-los. Estes desperdícios podem ser agrupados em 7 categorias [3], que se encontram ilustradas na Figura 4.



Figura 4 - Os 7 desperdícios do *Lean* [Fonte própria]

3. **Criar Fluxo:** Estando definido o que é o valor na empresa e tendo já eliminando os desperdícios, é o momento criar fluxo entre as atividades que geram valor, ou seja, não deve existir inventário nem tempo de espera (ou devem ser reduzidos ao máximo) entre elas [3].

Um dos grandes paradigmas nesta matéria prende-se com o facto de em produções em massa o tamanho do lote ser de tal forma grande que por si só representam elevados tempos de espera e grandes quantidades de inventário, que por sua vez levam a um aumento do tempo de entrega ao cliente (*Lead Time*). A Figura 5 representa uma comparação entre a produção em lote e a produção em fluxo.

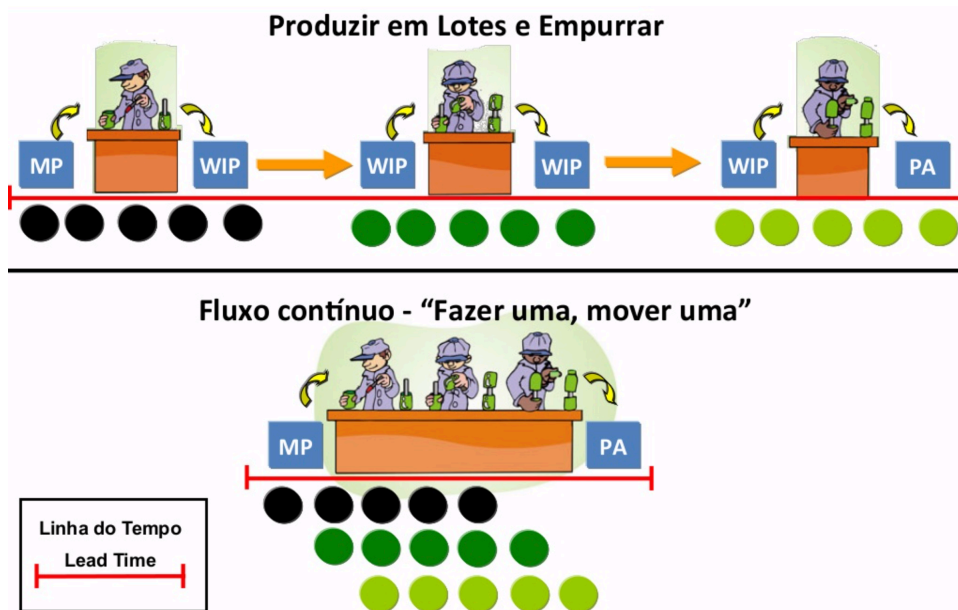


Figura 5 - Produção em lotes vs Produção em fluxo [5]

É possível notar que a produção em fluxo reduz significativamente o *Lead Time*, uma vez que à medida que uma peça é processada é logo movida para o processo seguinte, e assim sucessivamente até ao cliente. É possível introduzir aqui o conceito de *One Piece Flow*. Este conceito promove linhas de produção ao invés de células separadas por processo [1].

4. **Usar um sistema puxado:** um sistema de produção puxado (*Pull system*) pressupõe que a produção só acontece após o consumo do cliente. Só é produzido aquilo que o cliente pede, na quantidade que ele pede, é o chamado *Make to Order*. O oposto a este sistema é o empurrado (*Push system*) que pressupõe que a produção é feita de acordo com o fornecedor. O que é produzido fica em stock a aguardar os pedidos do cliente – *Make to Stock*. [3]

A Figura 6 faz uma comparação entre estes dois sistemas.

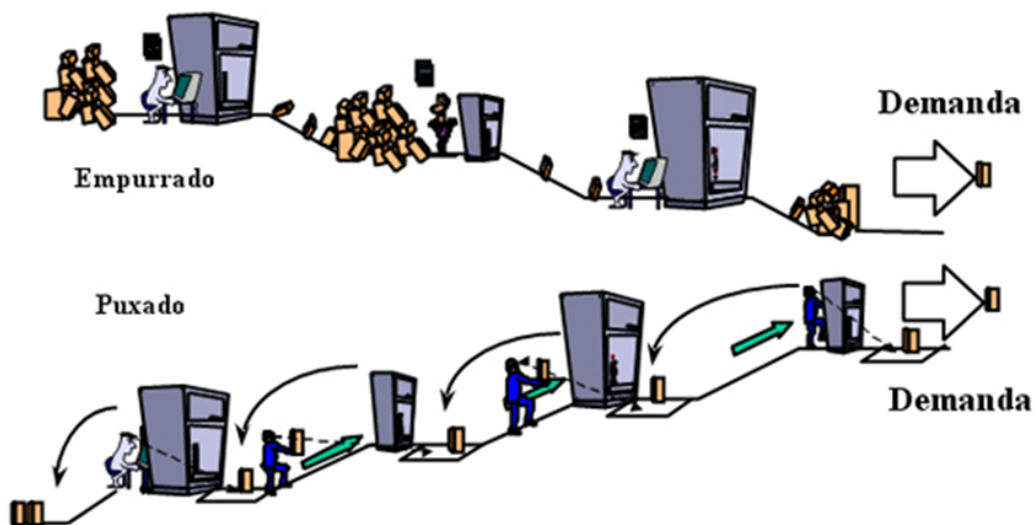


Figura 6 – *Push system* (Sistema empurrado) vs *Pull system* (Sistema puxado) [6]

Na parte de cima na Figura 6 vê-se um sistema empurrado, onde a fábrica produz com toda a capacidade que dispõe. Acontece que todo o seu produto acabado, fica armazenado à espera do cliente. Este tipo de sistema só é vantajoso quando a variedade do produto é reduzida, e o consumo do cliente é elevado. Caso contrário, para além do custo de matéria prima, de mão de obra, e de armazenamento, corre-se o risco de produzir tudo menos aquilo que o cliente deseja.

Na parte de baixo da Figura 6 está representada a mesma fábrica, mas funcionando com um sistema puxado, aqui é a encomenda do cliente a despoletar a produção do seu pedido em todos os setores inerentes. Esta metodologia garante que nada é produzido para *stock*, e é muito vantajosa para empresas cuja diversidade dos seus produtos é grande.

5. **Melhorar continuamente:** Por fim, o último dos 5 princípios do *Lean*, melhorar continuamente. Este princípio caracteriza-se pela procura constante da perfeição [3]. É talvez o motor dos outros 4 princípios, porque obriga as equipas a querer sempre melhorar os seus processos. [1]

Na melhoria continua existem ferramentas que ajudam na identificação de oportunidades de melhoria, algumas delas encontram-se enunciadas na secção seguinte.

2.1.1.2. Ferramentas de melhoria Contínua

Ciclo PDCA

Esta metodologia divide-se em 4 fases sequenciais, planejar (*Plan*), Fazer (*Do*), verificar (*Check*), Agir (*Act*), Figura 7.



Figura 7 - Ciclo PDCA [7]

Na fase de planejar (Plan) é identificado o problema, e são delineadas as ações a executar. Na fase de fazer (Do), são implementadas as ações. Chegando a fase de verificar (check) é necessário analisar os resultados obtidos e verificar se são necessárias ações corretivas. Na fase final, agir (Act), se tivermos obtido resultados positivos, é necessário implementar o novo standard. [8]

Relatório A3

É uma ferramenta que permite a construção de um raciocínio lógico, permitindo a existência de um fio condutor do todo o trabalho a ser feito. Normalmente toda a informação é preenchida numa única folha onde estão incluídos estes tópicos: [9]

- Descrição do problema
- Condição atual/Levantamento de dados
- Análise da causa raiz
- Condição alvo
- Plano de implementação (O quê? Quem? Quando?)
- Indicadores
- Resultados

Na Figura 8, é possível conferir um exemplo de um relatório A3. É possível verificar que o ciclo PDCA integra o relatório A3 de uma forma mais detalhada.

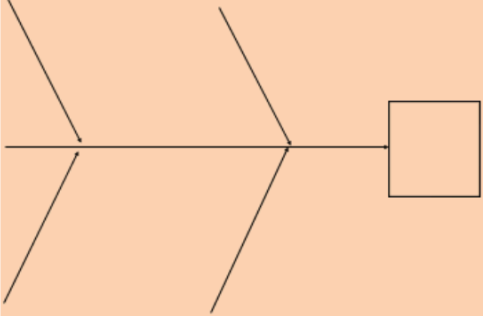
A3 - Método de Análise e Solução de Problemas												
Assunto _____		Data: ____/____/____		Número das análises de campo								
Lider _____		Local _____										
1 - Descrição do Problema (Entendendo a Situação) Descrição do Objetivo Ação de Contenção: Levantamento de Dados <small>(por questões de segurança e qualidade)</small>	P	3 - Causar Reforçar		4 - Ação Corretiva Substituídas		5 - Quem?						
						<table border="1"> <tr> <td>Inicio</td> <td>Final</td> <td>Final</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> </table>	Inicio	Final	Final
		Inicio	Final	Final								
									
2 - Análise das Causas: 	6 - Resultados:											
	C											
	7 - Padronização e Treinamento:											
	8 - Reconhecimento de Comprometimento:											
A												
<small>Cópia distribuída aos líderes e líderes envolvidos no projeto.</small>												

Figura 8 - Exemplo de um A3 [9]

5 porquês

Esta ferramenta consiste em perguntar consecutivamente 5 vezes o porquê de uma situação com o objetivo é encontrar a raiz do problema [1]. Tipicamente o comportamento ao longo dos 5 porquês traduz-se na Figura 9 . Primeiro descobre-se o sintoma, depois a desculpa, segue-se o culpado seguido de uma causa, e por fim a causa raiz. [10]

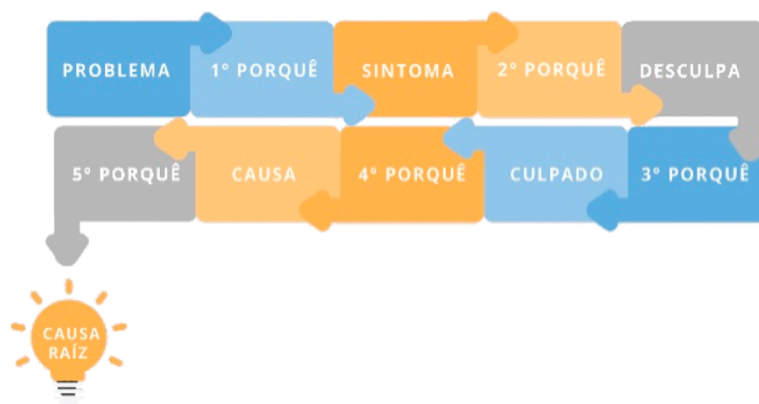


Figura 9 - Os 5 porquês [10]

O mapa da cadeia de valor já falado anteriormente na secção 2.1.1.1, também é uma ferramenta de melhoria contínua. Outra abordagem ao VSM, é a cadeia de valor de *Porter*, descrita de seguida.

Cadeia de Valor de Porter

O conceito de cadeia de valor foi criado por *Michael Porter* em 1985 e baseia-se na criação de modelos que agrupam o conjunto de atividades fulcrais para o sucesso da empresa. Estes modelos subdividem-se numa primeira fase em atividades primárias, cujo propósito é a criação de valor, e em atividades de suporte que por sua vez asseguram o bom funcionamento das primeiras [11].

Como atividades primárias destacam-se:

- **Logística de entrada:** Fazem parte deste subgrupo processos associados à receção de matéria prima, relação com fornecedores e procedimentos de abastecimento
- **Operações:** Aqui encontram-se todas as atividades que criam valor diretamente no processo produtivo. Ou seja, que contribuem de uma forma direta para a construção do produto, tal como ele será entregue ao cliente, por exemplo, máquinas, equipamentos de teste, processo de montagem e embalagem.
- **Logística de saída:** Engloba processos associados à entrega dos produtos ao cliente tais como, receção do produto acabado, armazenamento, expedição quer seja para centros de distribuição ou para o cliente final.
- **Marketing e Vendas:** Meios utilizados pela empresa para criar valor junto dos clientes e assim potenciar o seu negócio.
- **Serviços:** Muito importantes no dia de hoje. E cada vez mais um fator de diferenciação das empresas. Neste grupo incluem-se atividades de apoio ao cliente, capacidade de prestação de suporte quer na instalação quer na reparação ou substituição.

Passando para as atividades de apoio salientam-se:

- **Infraestruturas:** Fazem parte das infraestruturas todas as unidades que suportam a laboração da empresa, como os departamentos de administração, gestão, contabilidade, finanças e aspetos legais.
- **Recursos Humanos:** Onde se situam as atividades do recrutamento, seleção e retenção de talentos.
- **Desenvolvimento Tecnológico:** Estão associados os grupos de investigação e desenvolvimento (I&D ou R&D – *Research and Development*).

- **Aquisição e compras:** Inserem-se aqui os processos de compras de matéria prima, equipamentos e serviços. Pode distinguir-se como uma atividade muito importante a negociação com fornecedores.

A divisão explicada em cima pode ser esquematizada na Figura 10.



Figura 10- Cadeia de Valor de *Porter* [12]

5S

A ferramenta 5S é caracterizada por um conjunto de técnicas que ajudam a remover os desperdícios, promovendo a organização e limpeza do posto de trabalho e tornando o sistema transparente, o que facilita a identificação de desvios [1]. Cada S representa uma palavra em japonês que pode ser verificada na Figura 11.



Figura 11 - 5S [13]

2.1.2. Estudo de Tempos e Métodos

O Estudo de tempos e métodos é uma metodologia de medida de trabalho, indispensável para a gestão da produção. É através dela que é permitido fazer estudos de capacidade, calcular custos de mão de obra e definir prazos de entrega. Este estudo deve ser feito quando [24]:

- Existe um novo produto
- É necessário calcular o custo de mão de obra
- É necessário planejar produção
- É necessário elaborar um balanceamento
- É necessário avaliar perdas de rendimento
- É necessário melhorar *output* da linha
- É necessário fazer análises de capacidade disponível

Para a medição e determinação dos tempos existem vários métodos:

- Dados históricos
- Amostragem
- Cronometragem
- Comparação
- Estimativa
- MTM - *Methods Time Measurement*

Os métodos mais utilizados são a cronometragem e o MTM, estes vão ser mais descritos nos subcapítulos seguintes.

2.1.2.1. Cronometragem

É o método mais utilizado, pois é mais facilmente aplicado e compreendido nos processos fabris. Este método divide-se em três etapas [24]:

- Preparação: É necessário conhecer o processo e listar as tarefas a serem cronometradas
- Cronometragem: Ato de cronometrar e apontar os dados
- Análise de resultados: Analisar coerência e veracidade dos dados

Normalmente o material necessário para esta atividade é:

- Cronómetro;
- Prancheta com tabela para apontar as várias cronometragens
- Uma Máquina de filmar (não é obrigatório)

Após recolhidos os dados é necessário calcular o tempo padrão ou tempo *standard*. Este tempo é calculado multiplicando a média dos tempos obtidos na cronometragem por um

coeficiente de ritmo, e por uma percentagem estabelecida pelas empresas para absorver as perdas de performance, perdas para descanso pessoal (entre outras) que se denomina *allowance time*.

Com o avanço tecnológico, hoje em dia já existem aplicações que ajudam nesta tarefa e que conseguem estabelecer ligação com o *software* de gestão utilizado na empresa, como é o caso da aplicação *ORTIM* que consegue estabelecer ligação com o *software* SAP.

2.1.2.2. MTM

O método MTM (*Methods Time Measurement*), é um método que permite com grande rigor a determinação do tempo *standard*. É um método utilizado em produções de grande volume e principalmente com tempos de ciclo inferior a 20 segundos.

Este método baseia-se na descrição detalhada de todos os movimentos necessários para a realização das tarefas.

Os movimentos são caracterizados da seguinte forma:

- Alcançar
- Pegar
- Mover
- Posicionar
- Soltar

Após descritos todos os movimentos, e consultada a tabela de MTM onde a cada movimento é associado um tempo *standard* [24].

2.1.2.3. Balanceamento de uma linha de produção

Uma linha de produção é composta por vários postos de trabalho. Para calcular o número de postos necessários (N_{min}) é preciso conhecer o tempo total de processamento (T_i) e o tempo de ciclo esperado (T_c) para a linha de produção.

Usando a fórmula abaixo, é possível obter o número de postos necessários:

$$N_{min} = \frac{1}{T_c} \sum_1^N t_i [24]$$

O objetivo de um balanceamento é distribuir a carga de trabalho associada ao fabrico do produto da forma mais igualitária possível pelos postos de trabalho [24]. Na maioria dos casos esta divisão não é possível, e acontece que uns postos ficam mais sobrecarregados do que outros. Ao posto com maior carga dá-se o nome de estrangulamento da linha (*bottleneck* ou gargalo). Este estrangulamento ditará a capacidade máxima da linha, e torna-se o posto ou conjunto de postos mais importante. Daqui em diante todas as

melhorias que serão identificadas para um ganho de capacidade passarão sempre pelo estrangulamento. [25]

O tempo de ciclo da linha para efeitos de custo passa a ser tempo de ciclo do estrangulamento * número de operadores da linha.

2.1.3. *Layout* fabril

A definição do *layout* dos processos produtivos numa fábrica é uma tarefa muito importante uma vez que irá influenciar o fluxo de materiais, o processo de abastecimento, o processo produtivo e o tempo de ciclo da linha.

Existem diferentes tipos de *layout*, cada um serve necessidades e tipos de indústria diferentes.

- *Layout* Linear ou por produto

Ideal para a produção de alto volume e baixa diversidade. O alto volume justifica a aquisição de equipamentos dedicados, criando assim fluxo, e eliminando *stocks* intermédios. É um *layout* que oferece pouca flexibilidade para mudanças, mas a maior desvantagem a dependência da etapa anterior, isto significa que qualquer perturbação numa estação irá provocar certamente (a menos que o tempo de ciclo da estação seguinte seja superior à soma do tempo de ciclo da estação anterior mais o tempo de atraso) uma perturbação nos postos seguintes.

- *Layout* funcional ou por processo

Mais indicado para baixo volume e alta diversidade. O *layout* funcional caracteriza-se por agrupar processos comuns e deste modo permitir a partilha de equipamentos. Como desvantagens pode apontar-se a necessidade de *stock* intermédio entre os processos, e numa eventual falha do processo partilhado, todos os produtos vão ver a sua produção comprometida.

- *Layout* em grupo/célula

Indicado para médios volumes e alta diversidade, este tipo de *layout* visa a junção de todos os equipamentos necessários no mesmo local. Permitindo assim o fabrico de vários produtos. Uma vez que todo o material está disponível e próximo torna-se fácil e rápido realizar o *Setup*.

- *Layout* Posicional

Este tipo de *layout* é próprio para o fabrico de produtos de grande dimensão, como carros, aviões, barcos, e caracteriza-se pela posição estática dos equipamentos. Neste caso, são as

peças que circulam em torno do produto. A única desvantagem identificada é o facto da área fabril ocupada.

A Figura 12 esquematiza os 4 tipos de layout enunciados anteriormente.

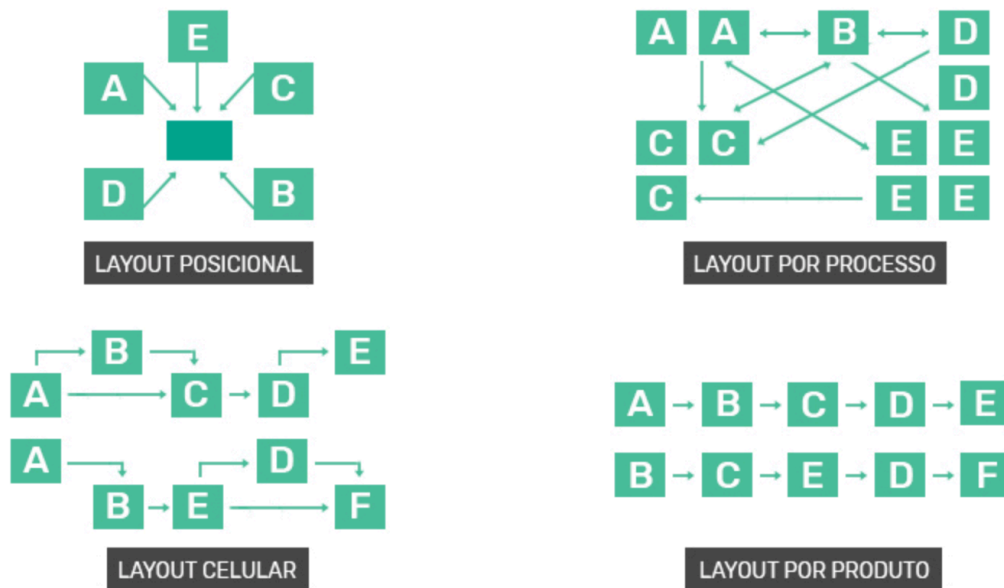


Figura 12 - 4 tipos de *layout* [23]

2.1.4. Ergonomia

A palavra ergonomia deriva de duas palavras gregas *ergon* (trabalho) + *nomos* (regras) e o seu estudo surgiu para dar resposta a problemas de saúde relacionados com o manuseamento de equipamentos militares complexos durante a segunda guerra mundial. Foi através de uma equipa interdisciplinar de médicos, engenheiros, antropólogos e psicólogos, que conseguiram dar os primeiros passos na análise da interação do homem com os outros sistemas.

A ergonomia é utilizada para ajudar na resolução de problemas relacionados com a saúde, segurança, conforto e eficiência na interação do homem com os sistemas [14].

A ergonomia tem um peso social muito importante para as pessoas e para as empresas, o seu uso permite:

- Diminuir acidentes de trabalho
- Reduzir a fadiga nos trabalhadores e aumentar a eficiência
- Evitar lesões crónicas (ex. tendinites, lesões músculo-esqueléticas)
- Promover o bem-estar e a integridade dos colaboradores
- Promover o bom ambiente na indústria

O estudo da ergonomia engloba o estudo de muitas outras áreas científicas, como é o caso da biomecânica, fisiologia e antropometria.

2.1.4.1. Biomecânica

A biomecânica usa as leis da física para calcular as tensões que ocorrem nos músculos e nas articulações durante uma postura estática ou dinâmica.

Os princípios mais relevantes para a ergonomia são [14]:

Manter as articulações relaxadas

Manter os músculos e as articulações na posição neutra. Deste modo a tensão libertada é mínima.

Manusear cargas perto do corpo

Sempre que é necessário manusear cargas, é importante mantê-las perto do corpo, de forma a diminuir a tensão nos braços e conseqüentemente nas costas. A Figura 13 ilustra como a tensão nas costas aumenta à medida em que afastamos o manuseamento da carga do nosso corpo.

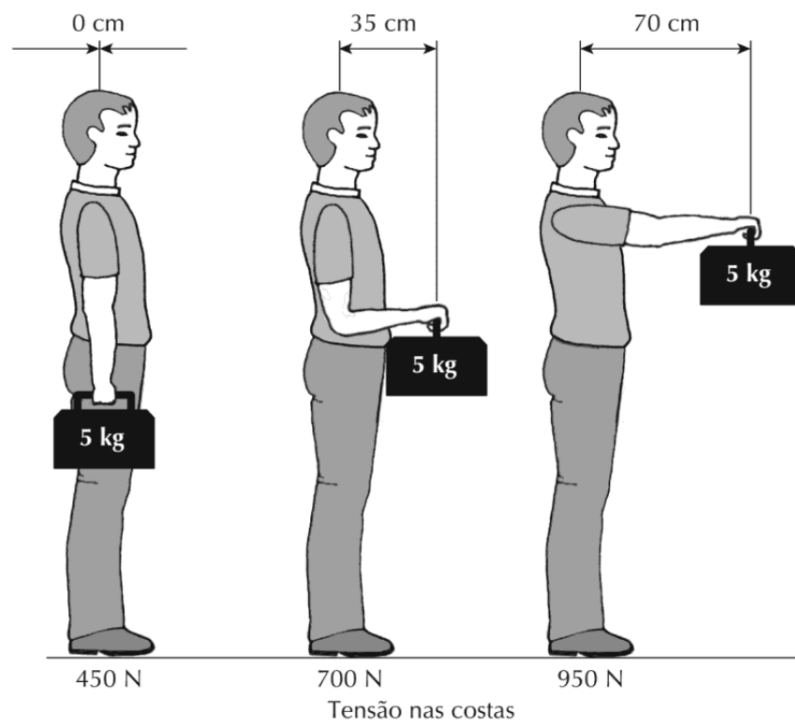


Figura 13 - Impacto do manuseamento de cargas nas costas [14]

Manter a coluna alinhada

Movimentos de curvatura ou de torção devem ser eliminados ao máximo, uma vez que exigem muita tensão, mas vertebras da coluna, que dão origem às dores nas costas.

Usar movimentos suaves

É muito importante manter os movimentos suaves e contínuos de modo a não haver grandes oscilações de tensão muscular. Movimentos bruscos implicam uma subida de tensão repentina (pico) o que pode provocar lesões.

Alternar posturas e movimentos

É essencial para promover uma boa circulação sanguínea e uma oxigenação frequente dos tecidos musculares que sejam alteradas as posturas ao longo do dia. Por exemplo alternar o trabalho em pé e sentado. Ao nível industrial é possível imaginar que nem todos os trabalhos permitem atuar de pé e sentado, nestes casos uma possível alternativa e a rotatividade de tarefas entre períodos definidos (exemplo de hora em hora).

Prevenir o uso excessivo de tensão

É espectável que teremos de aplicar tensões na realização de tarefas, mas é importante manter o gasto de tensão abaixo do que o nosso corpo permite, caso contrário leva à exaustão do sistema muscular. Como medida de recuperação podem ser feitas pequenas pausas para assim reduzir a fadiga muscular.

2.1.4.2. Fisiologia

A fisiologia por sua vez encarrega-se de estudar o funcionamento do nosso organismo, conseguindo estimar consumo energético associado às nossas ações. A partir do consumo energético é possível concluir o tempo de descanso necessário para recuperar dessa fadiga muscular [14].

2.1.4.3. Antropometria

É antropometria apresenta um grande contributo para a ergonomia, uma vez que estuda as dimensões e proporções do corpo humano, numa determinada população. É estudo destas medidas que permite à ergonomia avaliar e definir posturas favoráveis. É importante que as medidas antropométricas utilizadas sejam baseadas na população do meio envolvente, uma vez que fatores como, género, idade, peso, e nacionalidade interferem bastante com as medidas [15].

A Figura 14 ilustra as medidas que a antropometria considera.

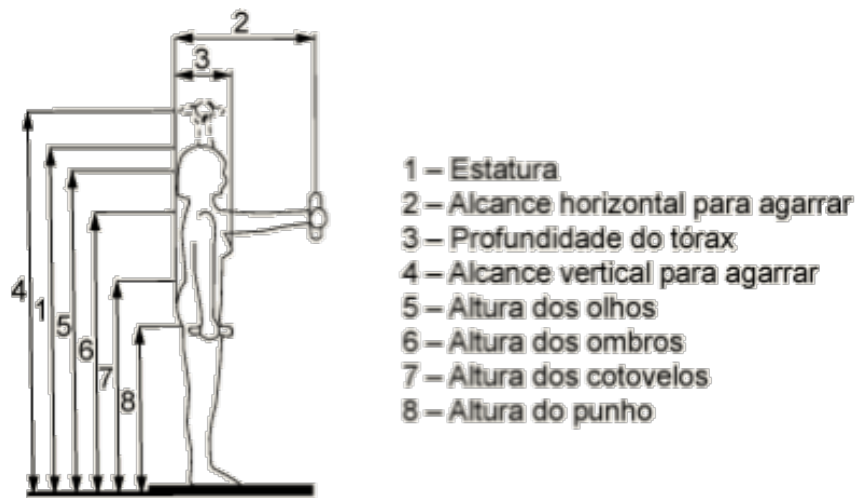


Figura 14 - Medidas Antropométricas [30]

Não existe um único regulamento de ergonomia, mas sim um conjunto de aspetos definidos por cada país, consoante a legislação e a população. As empresas têm ainda o poder de refinar os seus regulamentos, mas sempre favoravelmente às medidas do país onde se inserem. Quando é feita uma análise ergonómica são avaliados vários aspetos.

2.1.4.4. Aspetos considerados nas análises ergonómicas

Alcance de materiais e ferramentas:

Um bom dimensionamento do posto de trabalho permite que alcance tudo o que é necessário sem necessitar de inclinar o tronco. No estudo antropométrico realizado para a população em estudo considera-se que o alcance máximo deve ser até 650 mm para homens e 580 mm para mulheres [16]. Na Figura 15 apresenta-se um esquema dos níveis de alcance dos materiais.

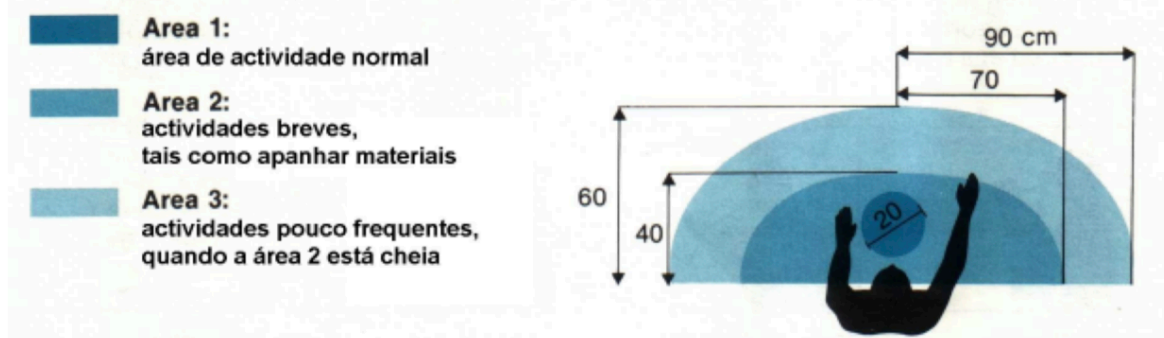


Figura 15 - Alcance de materiais e ferramentas [16]

Altura de trabalho:

A altura de trabalho é a medida desde o solo até ao plano de trabalho. Pode ser usado como referência o nível do cotovelo no momento da ação.

A altura de trabalho pode e deve variar consoante o tipo de precisão da tarefa a ser executada. Na Figura 16 tem-se como referência uma altura de trabalho que pode ir de 1050 mm para homens e 980 para mulheres para trabalhos ditos pesados, ou com grandes volumes (exemplo: postos de embalagem) a 1100 e 1050 respetivamente para trabalhos que requerem muita precisão. [17]

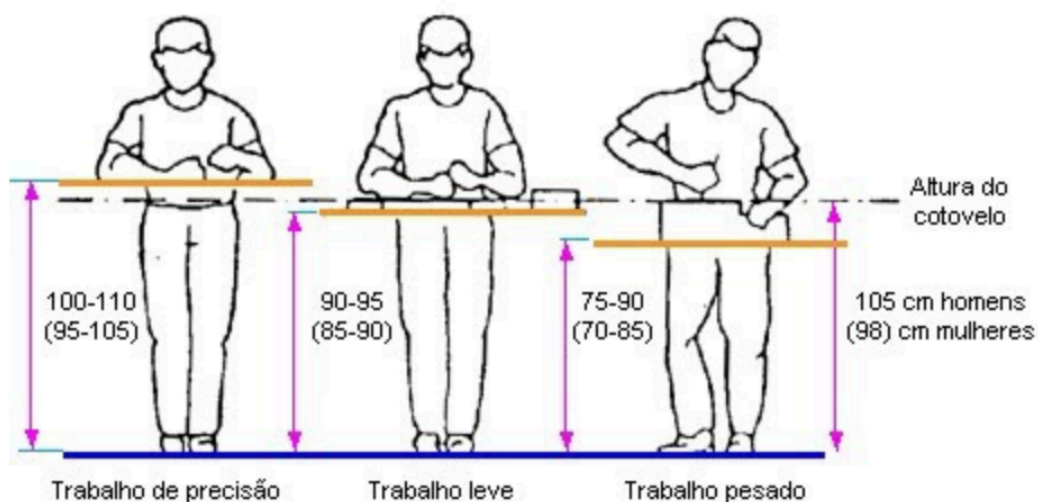


Figura 16 - Altura de trabalho [17]

Campo de visão

Um dos aspetos que deve também ser avaliado é o campo de visão. Podemos dizer que o campo de visão mais favorável é aquele que não implica o movimento de nenhuma parte do corpo com exceção dos olhos. É possível considerar um raio de visão favorável entre 0° e 45° tal como ilustra a Figura 17.

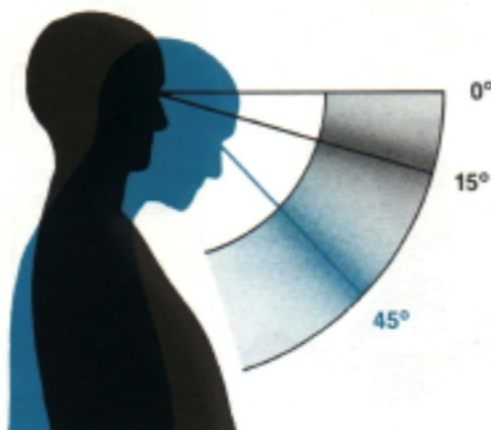


Figura 17 - Campo de visão [16]

Manuseamento de cargas

O manuseamento de cargas implica o estudo de várias variáveis, entre elas:

- Peso da carga
- Distância entre o ponto de origem e o ponto de destino
- Distância entre as pegadas

O limite de carga recomendado (LPR) é possível de ser calculado através do método *Niosh* [18] usando a fórmula:

$$LPR = Cc * FDH * FAV * FDVP * FRLT * FFL * FQPC [17]$$

Onde:

- CC – constante de peso = 23
- FDH – Fator de distância horizontal à carga = 25/ H
- FAV – Fator de distância vertical à carga = 1-(0,003 *[Vc-75])
- FDVP – Distância vertical percorrida desde a origem ao destino = (0,82+4,5/DC)
- FRLT - fator rotação lateral do tronco (valores tabelados)
- FFL - fator frequência de levantamento
- FQPC - fator qualidade da pega

Posturas e movimentos

As posturas que as diferentes partes do corpo adotam na realização das tarefas podem ser agrupadas em quatro grupos: Pescoço e ombros (Figura 18) cotovelos e pulsos (Figura 19) costas (Figura 20) ancas e pernas (Figura 21).

Para cada um destes 4 grupos é abaixo apresentada uma que classificação de 1 a 5 (adequado – inadequado) as diferentes posturas destas partes do corpo [16].

- Pescoço e ombros




1	postura livre e relaxada.	
2	postura natural mas limitada pela actividade	
3	postura tensa devido à actividade	
↓		
↓		
4	rotação ou flexão do pescoço e/ou elevação dos braços ao nível dos ombros	
5	extensão posterior do pescoço, necessidade de aplicação de força com os braços	

Figura 18 - Avaliação de posturas: Pescoço e ombros [16]

- Cotovelos e pulsos

1	Liberdade de movimentos na postura escolhida, pequena força a aplicar	
2	braços em posição condicionada pela actividade, por vezes com alguma tensão	
3	braços tensos e/ou posição extrema das articulações	
4	braços em contracção estática e/ou repetição do mesmo movimento durante longos períodos	
5	Necessidade de aplicação de força considerável com os braços ou de executar movimentos rápidos	

Figura 19 - Avaliação de posturas: Cotovelos e pulsos [16]

- Costas






1	postura natural e/ou com apoio adequado na posição de pé ou sentado	
2	boa postura mas limitada pelo tipo de trabalho	
3	tronco curvado ou mal apoiado	
4	rotação e inclinação do tronco sem apoio	
5	má postura durante trabalho pesado	

Figura 20 - Avaliação de posturas: Costas [16]

- Ancas e pernas






1	posição descontraída, com liberdade de movimentos, apoio adequado quando sentado	
2	boa postura mas limitada pelo tipo de trabalho	
3	mal apoiado, ou apoio de pé inadequado	
↓		
↓		
4	de pé com apoio num só pé, ou ajoelhado ou agachado	
5	má postura durante trabalho pesado	

Figura 21 - Avaliação de posturas: Ancas e pernas [16]

Luminosidade

A luminosidade é outro fator a ter em conta na avaliação ergonómica. Usa-se um luxímetro para saber a quantidade luminosa existente no local de trabalho (lx), e de seguida é necessário classificar o tipo de trabalho. Os valores recomendados podem também variar da regulamentação adotada, contudo, um exemplo pode ser apresentado na Tabela 1 [19].

Tabela 1 - Luminosidade no local de trabalho

Lx	Tipo de tarefa
120-250	Atividades ligeiras e com grandes contrastes
500 - 750	Atividades normais com detalhes médios
1000-1500	Atividades que exigem muito rigor e que têm detalhes pequenos

Para além do método *Niosh* referido anteriormente existem outros métodos que ajudam as avaliações ergonómicas, alguns deles são [20]:

- OCRA - *Occupational Repetitive Actions*
- RULA - *Rapid Upper Limb Assessment*
- SI - *Strain Index*
- OWAS – *Ovako Working Analysis System*
- EAWS - *Ergonomic Assessment Work-Sheet*

2.2. Industrialização de novos produtos

Muito presente na indústria, e dado os ciclos de vida dos produtos, é uma necessidade constante a industrialização de novos produtos. Denomina-se industrialização todo o processo inerente à produção de novos produtos. Cada empresa tem um contributo muito próprio nesta matéria, e é responsável pela definição dos seus procedimentos.

O desenvolvimento destes produtos é da responsabilidade das equipas de I&D (que nem sempre estão diretamente ligadas com a planta fabril), no entanto as equipas responsáveis pela industrialização na fábrica têm todo o interesse em participar o mais cedo possível na conceção do produto, isto porque é necessário garantir que o conceito que a equipa de I&D apresenta (cujos requisitos vieram das equipas de *marketing*, vendas, estudos de mercado) é exequível em produção em massa. Existem inúmeras metodologias adotadas para a concretização deste processo. Algumas encontra-se descritas nas subsecções seguintes.

2.2.1. DFMA

Design For Manufacturing Assembly (DFMA) é uma das metodologias mais utilizadas logo no início dos projetos. Normalmente são promovidos *workshops* entre a equipa de I&D e a equipa responsável pela industrialização na fábrica, onde os principais departamentos necessários são, engenharia de processo, engenharia industrial, compras, qualidade de processo, e qualidade de materiais. É usual que exista um moderador do *workshop* que ao longo da sessão vai promover a discussão entre as equipas sobre o que são os requisitos e conceitos dos clientes face ao que são os *inputs* importantes daqueles que trabalham na fábrica e que conhecem de perto as operações fabris. Este é um momento certo para identificar futuros problemas e dificuldades na produção, quer por dificuldades de montagem/ manuseamento, quer por requisitos de materiais (ex. peças cosméticas). E é também a altura onde as alterações ao conceito do produto ainda podem ser feitas.

Em suma os principais objetivos de um DFMA são:

- Minimizar o número de componentes
- Garantir que o design é fácil quer para o fabrico da peça quer para a montagem
- Eliminar ou reduzir os ajustes necessários (criando por exemplo *poka-yoke*)

Com o avançar do processo de industrialização, vão ocorrer fases de testes de produção, que vão aumentar gradualmente a sua maturidade e que culminarão no Início do sistema de produção IPS (*Inicial Production System*). É verdade que no decorrer deste processo podem ser feitas melhorias ao nível do produto, mas quanto mais tarde for, provavelmente as dificuldades encontradas vão ser um problema da fábrica e vão ter que ser ultrapassadas pelo processo. [21]

2.2.2. PFMEA

Process of Failure Mode and Effects Analysis, é uma ferramenta da qualidade que deve ser desenvolvida o mais cedo possível no decorrer do processo de industrialização, e que pretende detetar e analisar todos as potenciais falhas que podem derivar do processo produtivo bem como as suas causas e efeitos.

Estas análises são geralmente realizadas com a equipa que define os processos produtivos, engenharia de processo, industrial e de qualidade. O primeiro passo descrever o mais detalhadamente possível todas as etapas do processo produtivo. De seguida, para cada uma delas devem ser listados os possíveis modos de falha, e os efeitos que podem provocar. A cada modo de falha é atribuída uma pontuação no que diz respeito à severidade (em que medida este modo de falha compromete a funcionalidade do produto ou a segurança do utilizador), à ocorrência (com que frequência é que pode ocorrer), e deteção (uma vez acontecida a falha, quão fácil é a sua deteção no processo produtivo). Cada um destes parâmetros é avaliado numa escala de 1 a 10, da seguinte forma:

- **Severidade (S):** 1 significa que a falha não apresenta qualquer implicação no produto e 10 significa a perda total do produto
- **Ocorrência (O):** 1 significa que nunca acontece e 10 que é um evento muito frequente.
- **Deteção(D):** 1 significa que a falha é facilmente detetada e 10 que falha é muito difícil de detetar.

Após a classificação destes três parâmetros é feita a multiplicação dos três índices ($S \cdot O \cdot D$) e é obtido o número de prioridade de risco – RPN.

Por fim devem ser listadas para cada modo de falha ações que melhorem o RPN, ou seja que diminuam a severidade ou a ocorrência e/ou que aumentam a deteção. Tal como o nome indica, estas ações devem ser definidas e implementadas sempre que possível por ordem decrescente do valor de RPN. [22]

Este capítulo reuniu uma sólida base teórica sobre o estado da literatura, dos tópicos que serão abordados no caso de estudo, que é apresentado no capítulo 3.3.

3. CASO DE ESTUDO

A presente dissertação foi baseada num caso de estudo real da *Bosch Security and Safety Systems* de Ovar (Figura 22) que é uma empresa que pertence à unidade de negócio *Building Technologies* da multinacional *Robert Bosch GmbH*.



Figura 22 - *Bosch Security and Safety Systems* de Ovar

3.1. A Bosch

A marca *Bosch* surgiu em 1886, em Estugarda (Alemanha) pelas mãos do seu fundador *August Robert Bosch* (Figura 23). O “*Sr. Bosch*”, como é hoje lembrado, começou por criar uma oficina de precisão mecânica e engenharia elétrica. O grande sucesso deu-se após a criação de sistemas de ignição por magneto, para o ramo automóvel (Figura 24).

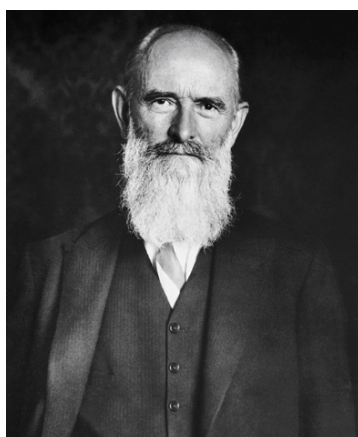


Figura 23 - Robert Bosch [26]



Figura 24 - Sistema de ignição por magneto de alta voltagem [26]

Robert deixou um enorme legado, não apenas para a sua fundação, mas também para a humanidade. Os seus valores morais, a sua persistência, e forte ambição permitiram que hoje a marca *Bosch* seja, não só, líder no fornecimento de tecnologia e serviços, mas acima de tudo uma marca mundialmente reconhecida pela sua qualidade, inovação e confiança.

Segundo os últimos resultados publicados (Figura 25), o grupo Bosch já conta com mais de 400 mil colaboradores espalhados por todo o mundo, alguns deles integram os 126 grupos de desenvolvimento.

Apenas em 2019, a marca vendeu cerca de 77,7 mil milhões de euros, de onde quase 3 mil milhões correspondem a lucros antes de impostos (*EBIT - Earnings Before Interest and Taxes*). O relatório aponta ainda a existência de aproximadamente de 440 subsidiárias e unidades regionais. [26]

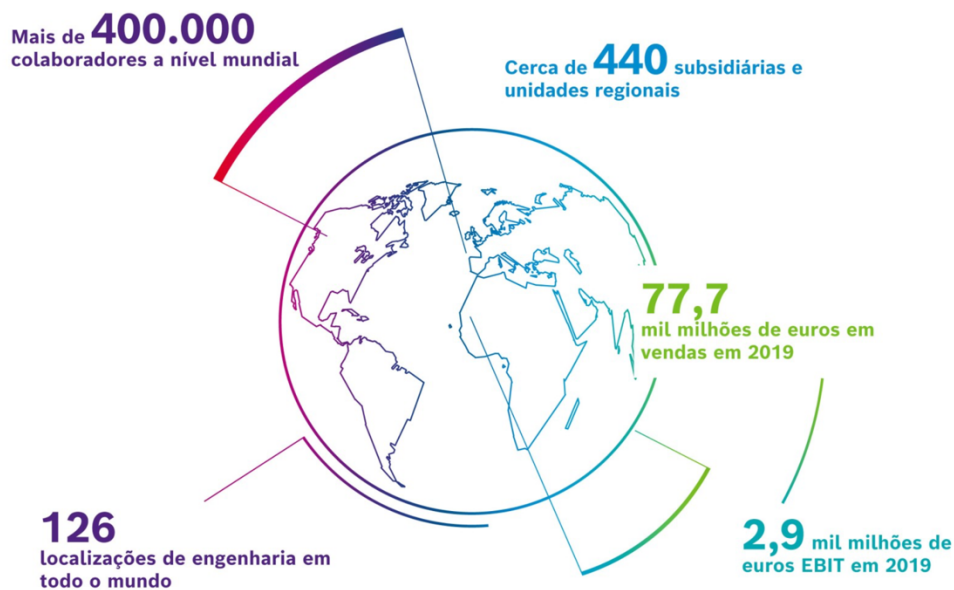


Figura 25 – Últimos resultados publicados do grupo Bosch [26]

O grupo Bosch tem hoje várias unidades de negócio, entre elas:

- *Contract Manufacturing*
- *Car multimedia*
- *Power Tools*
- *BSH*
- *Building Technologies*

3.2.A Bosch Security and Safety Systems

A fábrica de Ovar pertence à unidade de negócio de *Building Technologies*, juntamente com mais 4 fábricas no mundo, Straubing na Alemanha, Zhuhai na China, Hermosillo no México e Lincoln em Nebraska. (Figura 26).



Figura 26 - Unidades da *Bosch Security and Safety Systems* no mundo [27]

Esta unidade de negócio representa dois bilhões de euros de vendas e conta com nove milhões de colaboradores. Dentro desta unidade encontram-se dois segmentos de negócio, o presente em Ovar, *Security and Safety Systems* e ainda *Energy and Building Solutions*. Cada um deles subdivide-se ainda em três grupos de negócio (Figura 27). [27]

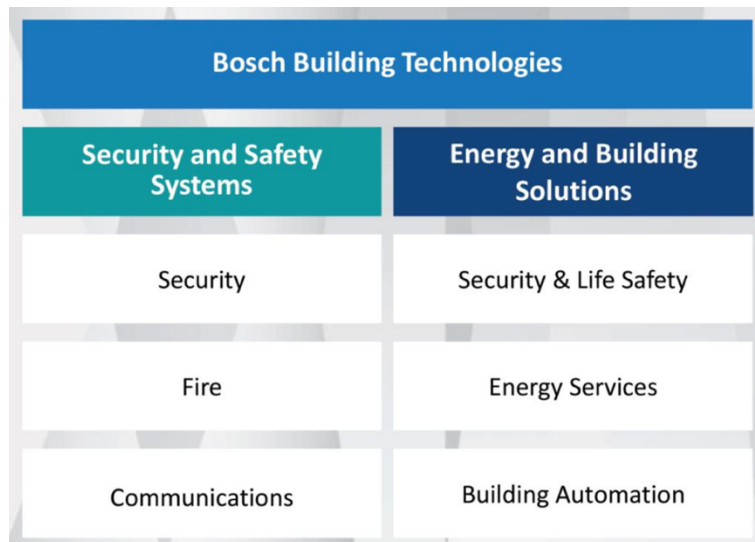


Figura 27 – Grupos de Negócios de Bosch Bulding Technologies [27]

No portefólio da *Bosch Security and Safety Systems* podem ainda encontrar-se sete categorias de produtos, que se encontram ilustrados na Figura 28.



Figura 28 – Categorias de produtos da *Bosch Security and Safety Systems*

3.3. Identificação/Caracterização do problema e motivação

Como referido no subcapítulo dos objetivos (secção 1.2), pretende-se melhorar o processo produtivo e logístico associado à produção de uma câmara fixa que integra o portefólio de *Video Systems*, cujas variantes estão expostas na Figura 29.



Figura 29 - Variantes do produto A

A transferência foi feita em duas etapas, em Julho de 2019 foi transferida a primeira linha que iria fornecer sobretudo o mercado Americano. Após esta fase, a fábrica de Ovar não tinha autonomia para alterar substancialmente o processo uma vez que qualquer proposta teria de ser validada sempre pela fábrica inicial.

No final de janeiro foi transferida a segunda linha, ficando a fábrica, capaz e unicamente responsável pelo fornecimento do produto A para todo o Mundo.

Após a estabilização da produção, e o início de produção em massa (*IPS – Inicial Production System*) tornou-se extremamente necessário, aumentar a capacidade e produtividade de forma a responder ao grande volume de encomendas, e a aumentar a competitividade face à empresa anterior, com o objetivo de perpetuar a decisão de produzir na fábrica de Ovar o produto em estudo.







A equipa do *value stream* foi assim motivada a investir grande parte do seu tempo a criar soluções que melhorassem o processo tanto produtivo como logístico.

O *mindset* instalado era: “E se este produto estivesse a ser industrializado agora, o que é que eu mudaria?”, isto permitiu abrir o horizonte de possibilidades de melhoria, e levou-nos a questionar se o que tínhamos por defeito era de facto aquilo que necessitávamos. Desta forma tornou-se muito mais intuitivo detetar desperdícios e oportunidades de potencializar a produção. O foco foi aumentar a capacidade produtiva, utilizar menos recursos (humanos, materiais, chão de fábrica) e aumentar a qualidade do processo.

3.3.1. Value Stream Mapping

Para o entendimento da cadeia de valor, foi importante para a equipa, conhecer e mapear a cadeia de valor, para isso foi elaborado um *Value Stream Mapping* (VSM), que está representado na Figura 30. Para um melhor entendimento do diagrama, é importante perceber primeiramente alguma da sua nomenclatura, na Tabela 2.

Tabela 2 - Nomenclatura do VSM

Símbolo	Designação	Função/Características
	Supermercado	<p>Estrutura que armazena o produto final de um dado processo. Este armazenamento é feito por referência. Cada referência tem uma(s) posição (s) fixas. A entrada e saída de materiais estão bem definidas de modo a que o FIFO (<i>First In First Out</i>) seja cumprido.</p> <p>O stock num supermercado é controlado por quantidades máximas e mínimas para cada código.</p> <p>O cliente do supermercado tem a liberdade de escolher a referência a consumir. Por sua vez esta ação de consumo fará despoletar no fornecedor do supermercado uma ordem de reposição, tornando o processo produtivo puxado.</p>
	<i>Fifo Lane</i>	<p>Uma linha de FIFO difere de um supermercado na medida em que, no caso da FIFO Lane, verificam-se várias referências na mesma posição. O stock continua a ser calculado e controlado, e o produto acabado é consumido pela mesma ordem em que foi produzido. Neste método, o planeamento é injetado no processo a montante da <i>FIFO Lane</i>, e daí em diante a produção será empurrada para os processos seguintes.</p>
	Ponto de Inventário	<p>Um ponto de inventário difere do supermercado e de uma FIFO Lane, na medida de que se trata de um ponto descontrolado de inventário quer ao nível da organização, quer ao nível da quantidade.</p>
	Nivelamento	<p>A estratégia de nivelamento é usada pelo planeamento de produção de modo a construir um padrão produtivo. Este padrão é muito importante não só para criar um <i>standard</i> para a linha de produção como também para garantir a estabilidade da cadeia fornecedora.</p>
	<i>Milk Run</i>	<p>Meio de transporte de mercadorias. O <i>milk run</i> pode ser interno ou externo, e pressupõe períodos ciclos de passagem/abastecimento.</p>
	Consumo	<p>Símbolo que significa o consumo por parte do cliente. No caso existência de supermercados, este consumo por si só despoleta uma ordem de produção para o fornecedor.</p>

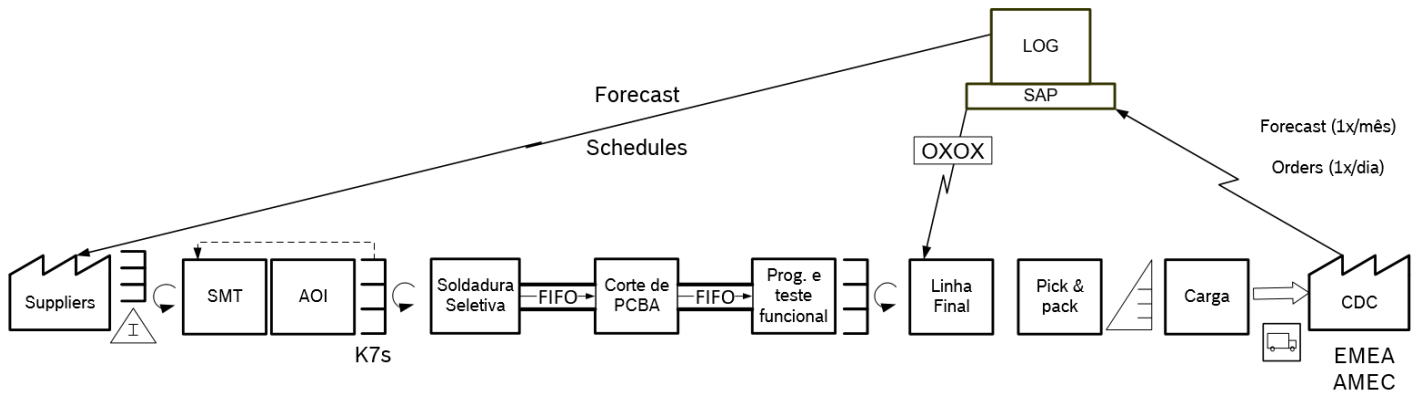


Figura 30 - Value Stream Mapping do produto estudado

Com o modelo de negócio adotado na fábrica os centros de distribuição (CDC) são considerados os clientes. Existem 3 centros de distribuição, um na Europa, outro na Ásia e um na América. No diagrama apresentado é possível identificar o fluxo de informação que é gerado entre os centros de distribuição e o departamento de logística da fábrica. Todos os dias são geradas ordens de produção com *lead time* de 10 dias. Mensalmente é também disponibilizado à fábrica uma previsão de vendas para os próximos meses. Na fábrica, os colaboradores que integram a logística (compradores e planeadores) são os responsáveis, respetivamente, por tornar visível no sistema SAP - *System Analysis Program Development* (ERP - *Enterprise Resource Planning* utilizado), as ordens de matéria prima para os fornecedores, e por injetaram o planeamento nivelado na linha final.

Os processos a montante da linha final, tem no seu término um supermercado. O supermercado é uma estrutura que permite o acondicionamento de produto acabado das respetivas áreas. É caracterizado por manter fixa a posição de cada referência, deve ter um mínimo e um máximo estabelecido e ainda permitir o FIFO (*First In First Out*) dos seus produtos. Existem diversas formas de acondicionar o produto acabado, cada uma delas com vantagens e desvantagens associadas à especificidade do negócio. Como o negócio da Bosch de Ovar é caracterizado por ter alta diversidade e baixo volume (o que leva à partilha de equipamentos, como é o caso das máquinas de SMT, soldadura seletiva e corte), uma abordagem de supermercado torna-se mais atraente, do que por exemplo uma abordagem de FIFO. O supermercado para cada código é dimensionado periodicamente baseado no cálculo de *kanbans*¹ que são necessários existir no *loop* para que toda a cadeia funcione sem perturbações.

Para calcular o número de *kanbans* necessários usa-se a fórmula o método RELOWISA [28]

$$Nr\ Kanbans = RE + LO + WI + SA$$

O parâmetro RE (*Replenishment Coverage*) diz respeito ao tempo de reposição de um *kanban* e mede o número de *kanbans* que são necessários para cobrir este tempo. É calculado segundo a seguinte fórmula:

$$RE = \frac{PR * \Sigma RT}{SNP * POT}$$

Na Tabela 3, encontra-se a explicação de cada uma das siglas que serão utilizadas nas fórmulas enunciadas de seguida.

Tabela 3 – Siglas presentes nas fórmulas do método *RELOWISA*

Sigla	Nome	Significado
PR	<i>Production Requeriments</i>	Quantidade necessária para a produção do produto final
ΣRT	<i>Total Replenishment Time</i>	Tempo de reposição (inclui, Tempo de transporte do (RT1 e RT3), tempo de espera nos sequenciadores (RT2), tempo de espera no quadro de nivelamento (RT4) e tempo de produção (RT5))
SNP	<i>Standard Number of Parts</i>	Número de peças por kanban
POT	<i>Planned Occupied Time</i>	Tempo de produção planeado
LS	<i>Lote size</i>	Número de peças necessários para formar o lote
WA	<i>Maximum Withdrawal by the customer within one Replenishment Time</i>	Consumo máximo do cliente durante o tempo de reposição.
ST	<i>Safety Time Window</i>	Média do desvio entre o planeado e o efetivamente consumido

O parâmetro LO (*Lote Size Coverage*) é usado no caso de o *kanban* necessitar de reunir um lote antes de ser produzido. Normalmente usam-se lotes para diminuir o número de *changeover*. Através da fórmula seguinte, são calculados os *kanbans* que precisam de estar no *loop* para compensar o tempo de espera necessário para formar lote:

$$LO = \frac{LS}{SNP} - 1$$

Quando existe desfasamento entre a produção e o consumo, por exemplo, se o cliente consumir a 3 turnos e o fornecedor produzir a 2, são necessários *kanbans* adicionais para colmatar este desfasamento. Estes *kanbans* derivam do parâmetro WI (*Withdrawal Peak*) e são calculados através da seguinte fórmula:

$$WI = \frac{WA - LS}{SNP}$$

Por fim, e para absorver as flutuações do cliente, e as perdas internas (ex: OEE – *Overall Equipment Effectiveness*), devido a avarias, paragens não planeadas, perdas de performance (entre outras), é importante que existam *kanbans* de segurança que são gerados através do cálculo de SA (*Safety Time Coverage*):

$$SA = \frac{PR * ST * 60}{POT * SNP}$$

O uso de um supermercado pressupõe um sistema de produção puxado, ou seja, o planeamento é feito no último estágio, e a partir daí os consumos a montante é que geram ordens de produção.

Na Figura 31, está ilustrado um exemplo de um supermercado de PCBA na Bosch.



Figura 31 - Exemplo de supermercado na Bosch

Nos subcapítulos seguintes são descritos os *macroprocessos/áreas* que integram a produção câmara em estudo, que denominamos de produto A.

3.3.1.1. O processo de SMT

Como fornecedor mundial de eletrónica, é espectável que a Bosch produza os seus próprios PCBA (*Printed Circuit Board Assembly*). É no processo de SMT - *Surface Mount Technologie* que os PCB (*Printed Circuit Board*), que são a matéria prima, se transformam em PCBA, com a colocação e soldadura automáticas de componentes.

Na Figura 32 é apresentado uma linha de produção de SMT.



Figura 32 - Exemplo de uma linha de SMT

Para o produto em estudo a linha de produção de SMT produz três tipos de PCBA:

- PCBA processador (4 variantes)
- PCBA sensor (2 variantes)
- PCBA iluminador (1 variante)

Após este processo todas as diversidades são armazenadas num supermercado.

3.3.1.2. O processo de THT

O processo de THT (*Through Hole Technology*) inclui também a colocação de componentes, mas de forma manual. A soldadura, por sua vez, pode ser por onda, ponto a ponto ou manual.

O local de soldadura do componente é diferente nas duas tecnologias. Ao passo que em SMT os componentes ficam apenas em uma das superfícies do PCBA e aí são soldados. Em THT os pinos do componente passam o PCBA, por isso o componente é colocado numa superfície e soldado na outra (Figura 33).

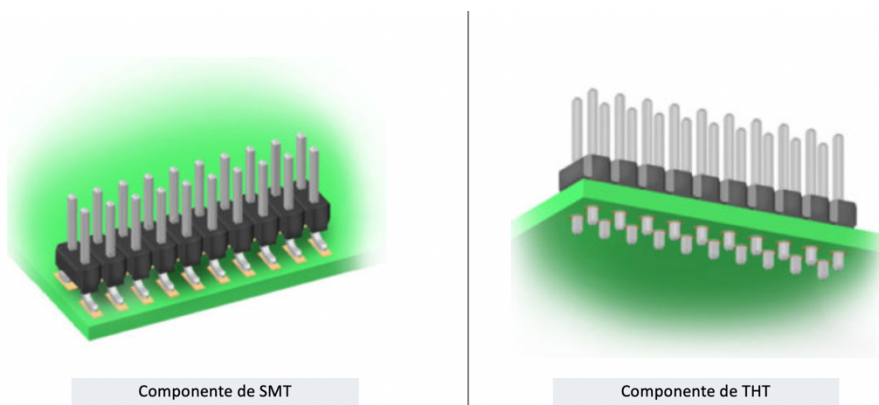


Figura 33 - Diferença entre componentes de SMT e THT

No caso do produto estudado, apenas o PCBA processador tem o processo de THT, e utiliza a soldadura ponto a ponto através de uma máquina semelhante à da Figura 34.



Figura 34 - Máquina de soldar seletiva

Cada uma das variantes de processadores existentes em THT, pode neste processo transformar-se em outras duas variantes, uma para a versão indoor da câmara, e outra para a versão outdoor, dando origem assim a 8 códigos diferentes. Após este processo os PCBA ficam a aguardar 4 horas de cura, devido a uma cola que é colocada em alguns condensadores.

3.3.1.3. A área de corte de PCBA

A fase seguinte é o corte dos PCBA. Até esta fase os PCBA estão presentes num painel vulgarmente chamado de *multiboard* e acondicionados em cassetes (Figura 35). Após este processo os PCBA ficam acondicionados em contentores (Figura 36). Para os PCBA, sensor e iluminador, o processo termina neste ponto, sendo estes alocados em supermercado. Mesmo depois de cortados estes PCBA mantêm o código com que saíram da área de SMT.



Figura 35 - Exemplo de cassete de PCBA



Figura 36 - Exemplo de contentor de PCBA

3.3.1.4. A área testes de PCBA

Os PCBA processadores seguem para a área de testes funcionais onde são programados e testados. Aqui, cada um dos PCBA pode dar origem a mais duas diversidades dependendo da versão de *software* pretendida. Culminado assim em 16 códigos diferentes. Após este processo os contentores são alocados em supermercado.

Por fim tem-se o cliente destes dois fornecedores internos (e partilhados na fábrica), a linha final.

3.3.1.5. A linha final

A primeira linha de produção transferida era constituída por 14 postos e ocupava 48 m² de chão de fábrica. Na

Figura 37 pode encontrar-se um esquema do *layout* com medidas à escala de 1:56,82.

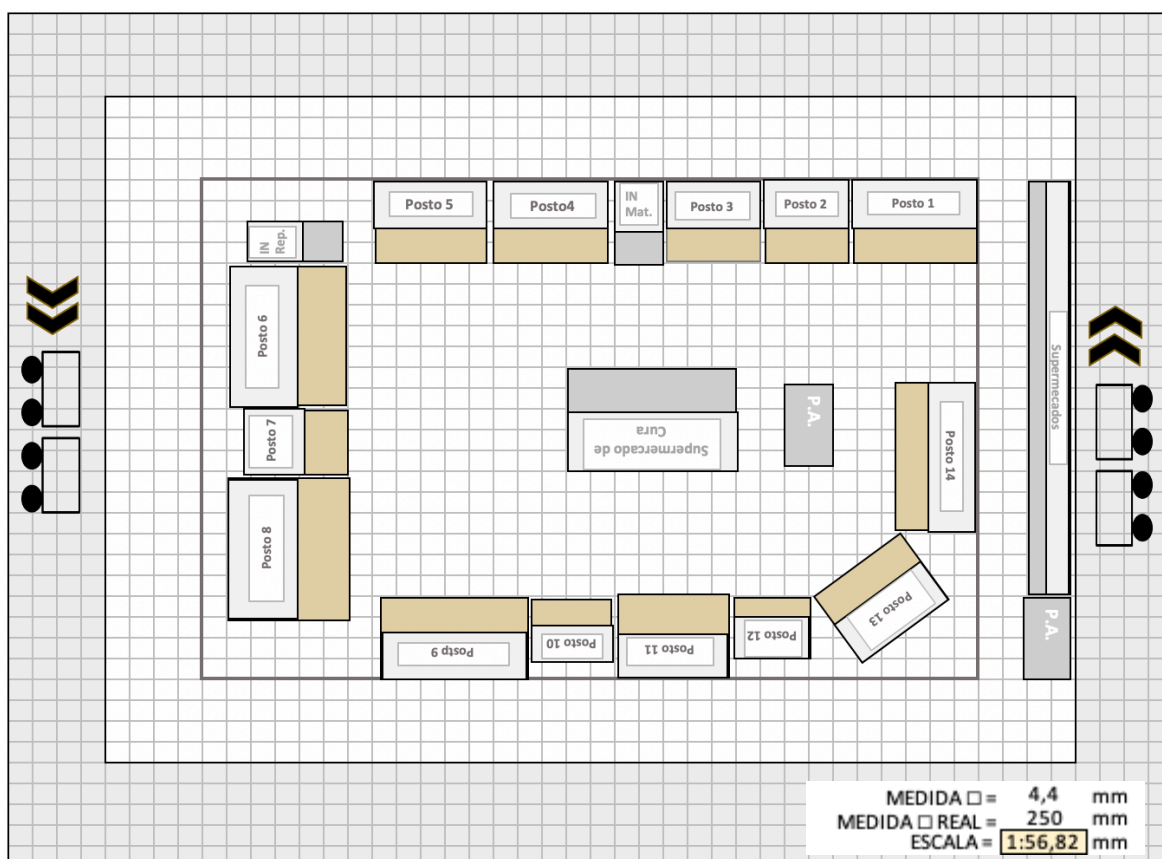


Figura 37 - Layout inicial da 1ª linha transferida

Cada posto tem um conjunto de atividades de montagem associadas que agrupadas dão origem a um bloco de montagem por posto como enunciado no subcapítulo seguinte na Tabela 6.

No subcapítulo seguinte serão aplicadas as metodologias referidas dos capítulos dos objetivos bem como os resultados obtidos.

3.3.2. Estudo de tempos e métodos

Foi realizado um estudo de tempos e métodos, recorrendo ao método de cronometragem, com o intuito de determinar o tempo padrão necessário para produzir uma unidade em cada posto (VT - *Standard Time*), e a cadência máxima da linha (LT - *Line Tack*).

Para determinar o tempo padrão, é preciso calcular primeiro o tempo de ciclo (CT – *Cycle Time*) de cada posto. Para isso usou-se a seguinte fórmula:

$$CT = \Sigma t_{tb} * \frac{100\%}{L} + \Sigma t_{tu} + \Sigma t_{tw}$$

Cada um dos parâmetros foi medido através de um cronómetro.

Na Tabela 4 encontram-se descritos os parâmetros da fórmula anteriormente mencionada.

Tabela 4 - Parâmetros da fórmula de cálculo de CT

Sigla	Significado
Σt_{tb}	Somatório de todos os tempos produtivos e dependentes do operador (incluindo deslocações)
L	Nível de performance do operador
Σt_{tu}	Somatório dos tempos que não dependem do operador, mas que carecem da sua presença (ex: apertar um parafuso com uma parafusadora – o operador não influencia a velocidade da parafusadora. O aperto vai demorar sempre o mesmo tempo independentemente do ritmo do operador.
Σt_{tw}	Tempos de espera, em que o operador pode fazer outra tarefa (ex: teste automático)

Após calculado o tempo de ciclo, é necessário incrementar o tempo de tolerância, vulgarmente conhecidos como *Allowance Time* (t_v). O *allowance time*, varia conforme a legislação da empresa, na *Bosch Building Technologies* é de 10% e é calculado através da seguinte fórmula:

$$t_v = t_s + t_p$$

Na Tabela 5 encontram-se descritos os parâmetros da fórmula anteriormente mencionada.

Tabela 5 - Parâmetros da fórmula de cálculo de t_v

Sigla	Significado
t_s	<i>Allowance</i> para perdas técnicas
t_p	<i>Allowance</i> para perdas de performance

É de extrema importância a existência destes tempos, uma vez que sem eles vai se tornar impossível o cumprimento das capacidades estabelecidas.

Deste modo, o tempo padrão (VT), é obtido a através da expressão:

$$VT = CT * (1 + t_v)$$

O VT, é o tempo que um operador devidamente treinado deve demorar a fazer uma peça, sem que esse trabalho lhe cause fadiga. Feito o estudo, os VT's associados a cada posto, sintetizou-se a informação na Tabela 6, onde o VT de operador diz respeito ao tempo em que o operador está a intervir no processo de cada posto, o VT de máquina diz respeito ao tempo em que as máquinas estão a operar automaticamente e sem a presença do operador, e por fim o *Throughput Time* do posto, que no caso de postos com máquinas, é igual à soma do tempo de operador com o tempo de máquina, uma vez que só ao fim desse tempo é que é possível ter uma peça realizada, e nos restantes é igual ao VT de operador. Ao longo deste relatório será usada a cor azul associada a tópicos relacionados com a variante *indoor*, e a cor verde com tópicos relacionados com a variante *outdoor*.

Tabela 6 - Lista de postos da 1ª linha transferida com VT associado

Posto	Descrição	VT (s) V. Indoor			VT (s) Outdoor		
		Operador	Máquina	Throughput time	Operador	Máquina	Throughput time
1	Montagem do suporte da lente	114,9		114,9	114,9		114,9
2	Montagem do bloco ótico - Flowbox	51,3		51,3	51,3		51,3
3	Teste de sujidade	28,77	101,43	130,2	28,77	101,43	130,2
4	Montagem no sistema pan e tilt	103,9		103,9	103,9		103,9
5	Montagem da base	125,63		125,63	125,63		125,63
6	Teste de Focagem	91,3	87,9	179,2	91,3	87,9	179,2
7	Teste íris	43,4	123,20	166,6	43,4	123,20	166,6
8	Teste funcional	55,35	87,71	143,1	55,35	87,71	143,1
9	Teste de reset	20,70	90,3	117,3	20,70	90,3	117,3
10	Carregamento de FirmWare	10,63	82,69	93,3	10,63	82,69	93,3
11	Montagem				85,4		85,4
11	Colagem	90,73		90,73	66,4		66,4
12	Teste de fuga				7,98	11,96	19,9
13	Montagem final	54,65		54,65	91,19		91,19
14	Embalagem	89,78		89,78	113,63		113,63

Verifica-se que o posto com um tempo standard mais elevado – o *bottleneck* é o 6, o teste de focagem. Trata-se de um teste que requer presença do operador uma grande parte do

tempo. É este o posto que ditará a cadência máxima da linha, e essa cadência é dada pela soma do tempo manual e automático (*Throughput time*).

$$LT = \frac{3600}{179,2} = 20 \left[\frac{\text{peças}}{\text{hora}} \right]$$

Para fazermos uma análise ao *customer tack time* (TKT), que representa o tempo que é preciso decorrer para que o cliente queira uma peça, precisamos da previsão de vendas, que na segunda metade do ano de 2019 era cerca de 10 000 unidades por mês (454,54 unidades por dia), e do tempo de produção planeado (POT), que neste caso são 22,75 h que correspondem a 3 turnos contínuos de produção.

$$TKT = \frac{22,75 * 3600}{318,18} = 180,18 [s]$$

Verificamos que o TKT está muito próximo do *bottleneck* da linha, o que significa que existe uma grande probabilidade de falha de encomendas se se registarem perdas de produção e/ou aumento de encomendas).

Consultando o *Andon*, que é uma ferramenta de controlo da produção, é possível verificar o histórico de perdas, obtendo-se um OEE na casa dos 70%. Se ao TKT, adicionarmos as perdas e eficiência da linha, obtemos o *target cycle time* (TCT). O TCT é inferior ao TKT de forma a salvaguardar a capacidade de resposta do fornecedor.

$$TCT = TKT * OEE$$

$$TCT = 180,18 * 0,7 = 144,14 [s]$$

O passo que se segue é a elaboração de um balanceamento para as duas variantes. A criação de um balanceamento consiste na atribuição de tarefas a diferentes operadores até se atingir um valor próximo de TCT. Na Figura 38, é apresentado o gráfico de balanceamento para a versão Indoor.

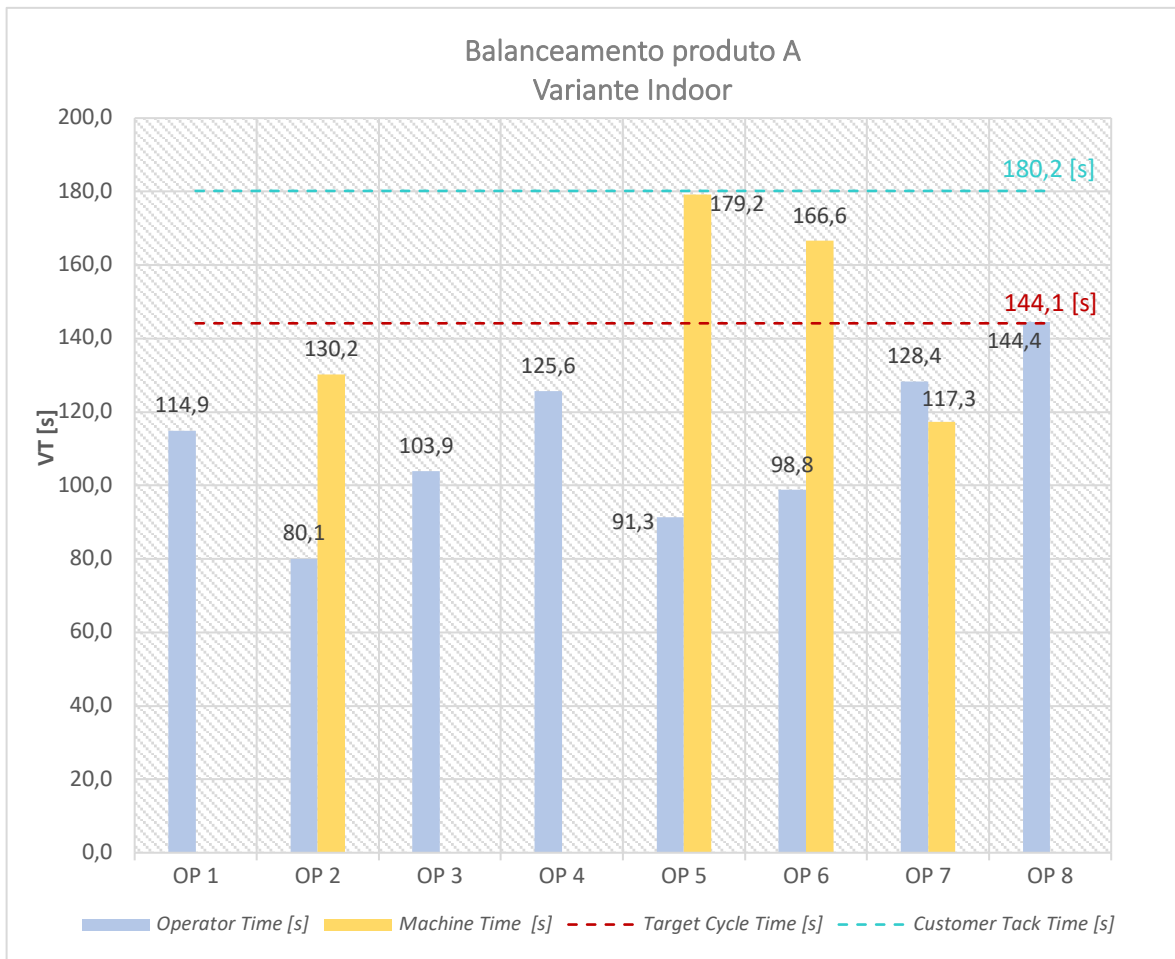


Figura 38 – Gráfico de balanceamento - V. *Indoor* 8 operadores

A análise do gráfico permite concluir que existem grandes diferenças de tempo de trabalho atribuído entre operadores. Teoricamente se somássemos a diferença que cada operador tem em relação ao *bottleneck*, seria possível reduzir um operador e manter a *tack* da linha. Na prática isso não é possível, porque existem tarefas que não podem ser subdivididas, postos que não podem ser partilhados, e deslocamentos que implicam cruzamentos de operadores são também evitáveis.

Logo de seguida ao balanceamento é feito um diagrama que exemplifica a sequência/atribuição de postos que cada operador deve cumprir (Figura 39). Tanto este esquema como o gráfico de balanceamento ficam disponíveis na linha de produção.

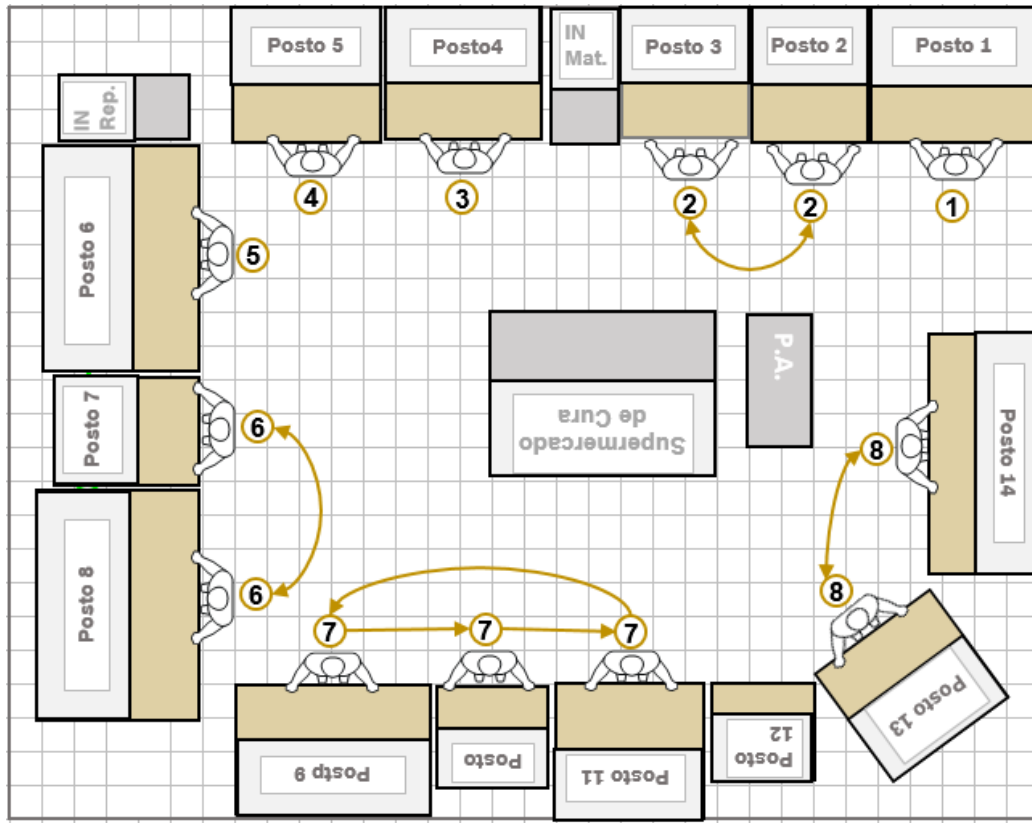


Figura 39 - Diagrama de atribuição de postos - V. Indoor 8 operadores

O mesmo estudo foi realizado para a variante outdoor. Os resultados estão apresentados de uma forma análoga na Figura 40 e Figura 41.

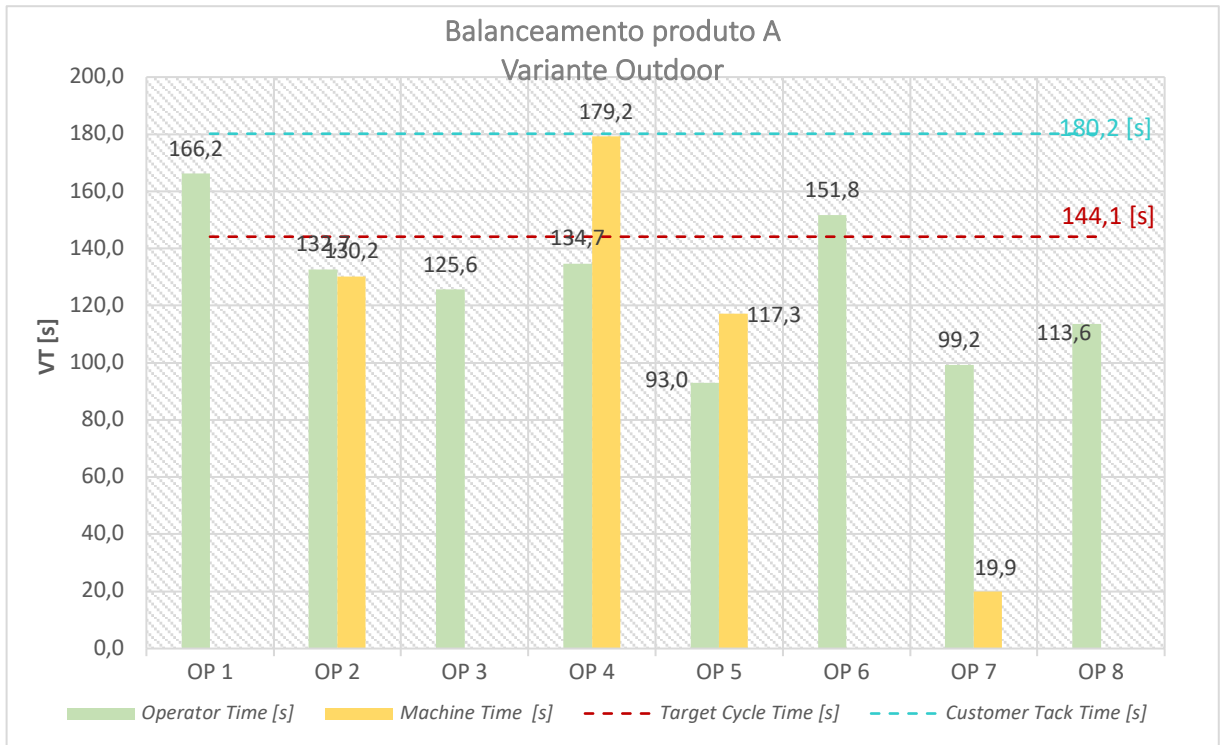


Figura 40 - Gráfico de balanceamento - V Outdoor 8 operadores

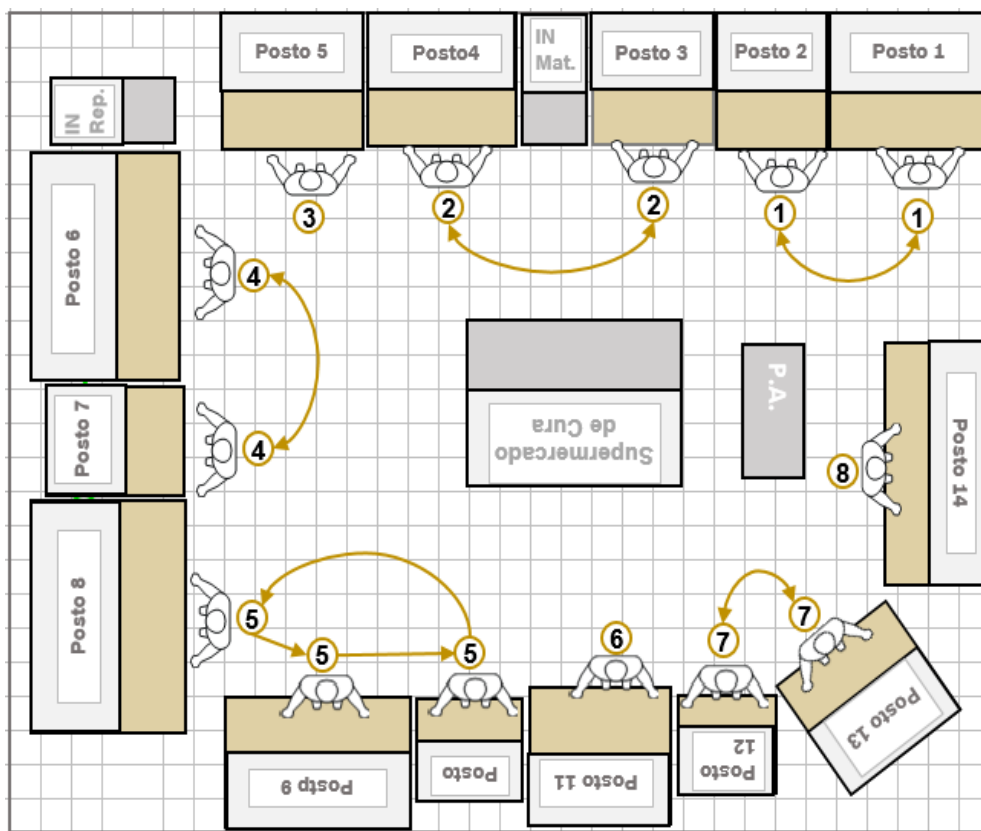


Figura 41 - Diagrama de atribuição de postos – V. Outdoor 8 operadores

Este estudo permitiu perceber que a capacidade instalada não é suficiente para satisfazer as necessidades do cliente, uma vez que com as perdas de OEE o TCT é inferior ao VT do *bottleneck*. Durante 2019 e o início de 2020 a estratégia adotada para recuperar as perdas, foi a troca de intervalos, permitindo assim que o teste *bottleneck* nunca parasse e o recurso a turnos de fim de semana.

No início de 2020, a equipa de *value stream* começou a estudar possíveis ações de melhoria, para aumentar capacidade, responder a dificuldades no processo que estavam a gerar perdas de eficiência, e ainda identificar potenciais ganhos. No subcapítulo seguinte (3.3.3) serão enunciadas as melhorias identificadas e implementadas pela equipa.

3.3.3. Análise de oportunidades de melhoria e aplicação das metodologias estudadas

Com foco na qualidade, começou-se por fazer uma análise das perdas de eficiência existentes, e verificamos que se relacionava com a elevada rejeição interna devido a sujidades na lente da câmara.

Esta rejeição era visível nos resultados do *Andon*, e também no teste de CAT.

Na produção de qualquer produto, é feita por amostragem um teste de CAT – *Customer Acceptance Test*, neste teste, as funcionalidades do produto são testadas na ótica do cliente. É uma ferramenta da qualidade usada para mitigar falhas, e para diminuir o risco de enviar um produto não conforme, de onde derivam reclamações do cliente, (ex: DOA – *Death On Arrival*), ou até mesmo perdas de cliente.

No início de produção de novos produtos esta análise é feita a 100%, o que significa que todos os produtos que saírem da linha são inspecionados. O volume de falhas era grande. No gráfico da Figura 42, podem verificar-se a percentagem de defeitos por categoria. A mão de obra representava 33% dos defeitos encontrados, muito motivado pelo desconhecimento do processo, que era muito manual e muito dependente de operadores. Logo a seguir, com 26% é a sujidade nas lentes era um problema recorrente, isto significava que o processo produtivo não era robusto o suficiente para filtrar os defeitos internos.

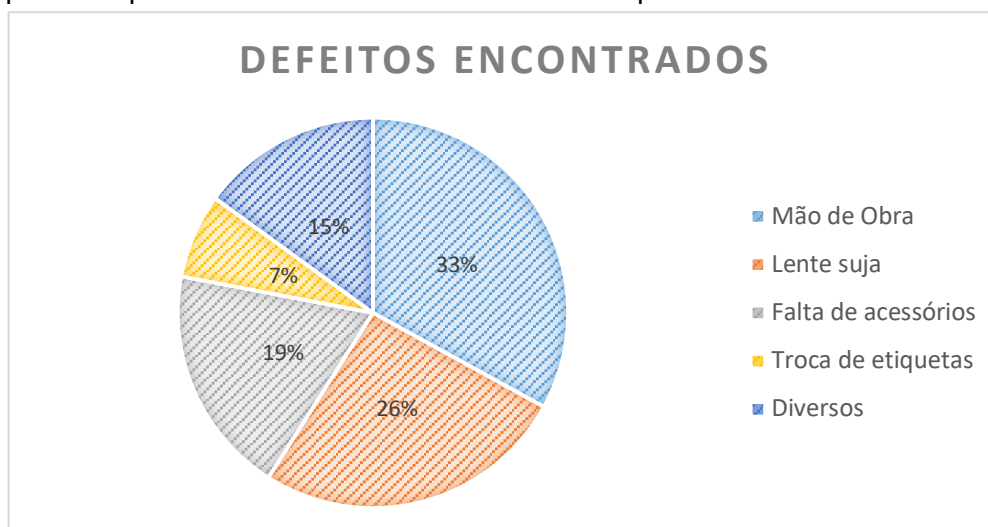


Figura 42 - Defeitos encontrados nos testes de CAT

Após uma análise de processo verificou-se que a *flowbox* que estava a ser usada no posto 2 não controlava de forma eficaz o fluxo de ar e por isso existiam mais partículas em circulação do que as que eram aceitáveis. Por este motivo decidiu-se trocar a *flowbox* que havia sido transferida por uma das que habitualmente são usadas na fábrica. Esta alteração permitiu reduzir para dentro dos limites aceitáveis a rejeição do processo. Se analisarmos a evolução das falhas de CAT (Figura 43) ao longo do tempo verificamos que passou a haver para uma tendência positiva e estável na casa dos 2%.

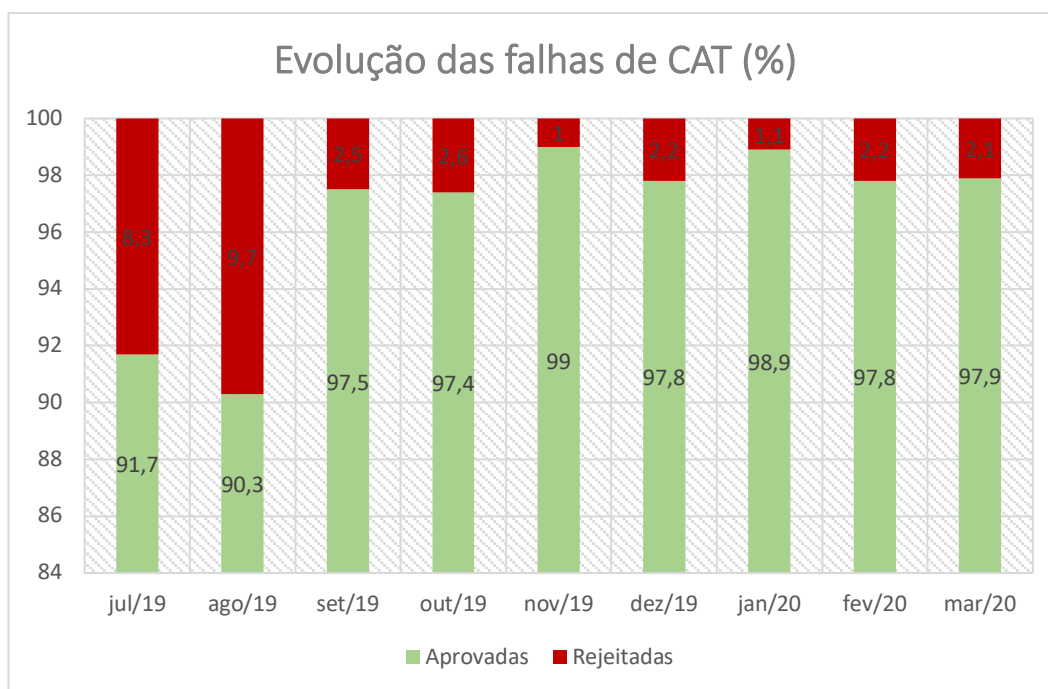


Figura 43 - Evolução das falhas de CAT

Permitiu ainda juntar o posto 1 e 2 num posto só, eliminando uma deslocação necessária, juntando montagens nas mesmas ferramentas e passou-se de um VT dos dois postos de 166,2 segundos para um VT de 150,9 segundos.

Na Figura 44 e são apresentadas uma foto da *flowbox*, antiga e da nova.



Figura 44 - Esquerda - Flowbox antiga; Direita – Flowbox nova

Ainda sobre a montagem das lentes, a equipa fez uma análise à rejeição devida à sujidade da lente, que era encontrada no posto de focagem. Como se tratava de uma taxa de rejeição muito baixa, e que passava no teste anterior do posto 2. Decidiu-se eliminar o teste do posto 2, uma vez que não comprometeria a qualidade do produto. Esta análise foi validada pela engenharia de qualidade e documentada na *FMEA*.

A terceira melhoria foi identificada pela equipa de engenharia de testes. Através de alterações feitas ao programa do teste do posto 10, foi possível eliminar o teste do posto 9.

A quarta, e última intervenção antes a chegada da segunda linha foi relacionada com os testes funcionais e de programação realizados na área de THT. Ao contrário das máquinas de SMT, soldadura e corte, os testes funcionais não eram equipamentos partilhados. Todos os PCBA que testavam eram para a mesma linha final. Analisados o VT associado a cada um dos testes tem-se os resultados obtidos na Tabela 7:

Tabela 7 – Análise de VT dos testes de PCBA

Posto	VT (s)	
	Operador	Máquina
Programação	5,25	170
Teste	5,25	140

Identificou-se que era um desperdício manter estes testes desintegrados na linha final, uma vez que o maior tempo de operação pode ser realizado em paralelo com outras tarefas da linha. Deste modo, e uma vez que o tempo de programação está próximo do *bottleneck* da linha, foi decidido duplicar o teste, passando este a ter um VT de 85 segundos, e integrar os 3 equipamentos em linha, imediatamente antes da montagem da base, que é onde o PCBA testado é necessário. Para além da redução do recurso na área de THT, mantiveram-se os recursos na linha final, e foi também possível reduzir o número de referências para metade, uma vez que a programação também gerava diversidade. A esta metodologia chama-se *late configuration*, e significa que numa cadeia de valor, deve-se tentar criar a diversidade o mais tarde possível, para poder existir uma maior flexibilidade de recursos. Deste modo, foi possível reduzir os kanbans de *safety* (SA) dos códigos que deixaram de existir. Como cada um deles, tinha 3 kanbans de *safety*, reduziram-se no total 24 kanbans ao *loop*.

Após cada uma destas melhorias o balanceamento da linha foi alterado. Embora ainda não fosse possível reduzir o tempo de *bottleneck*, já era possível atingir a capacidade de 20 peças por hora com 7 operadores.

A transferência da segunda linha aconteceu no final do mês de janeiro, nesta fase a equipa já tinha uma grande maturidade no produto e o processo. A segunda linha já foi instalada

tendo por base as melhorias já realizadas na primeira linha. O *layout* das linhas é apresentado na Figura 45, cada linha ocupa ainda 48 m².

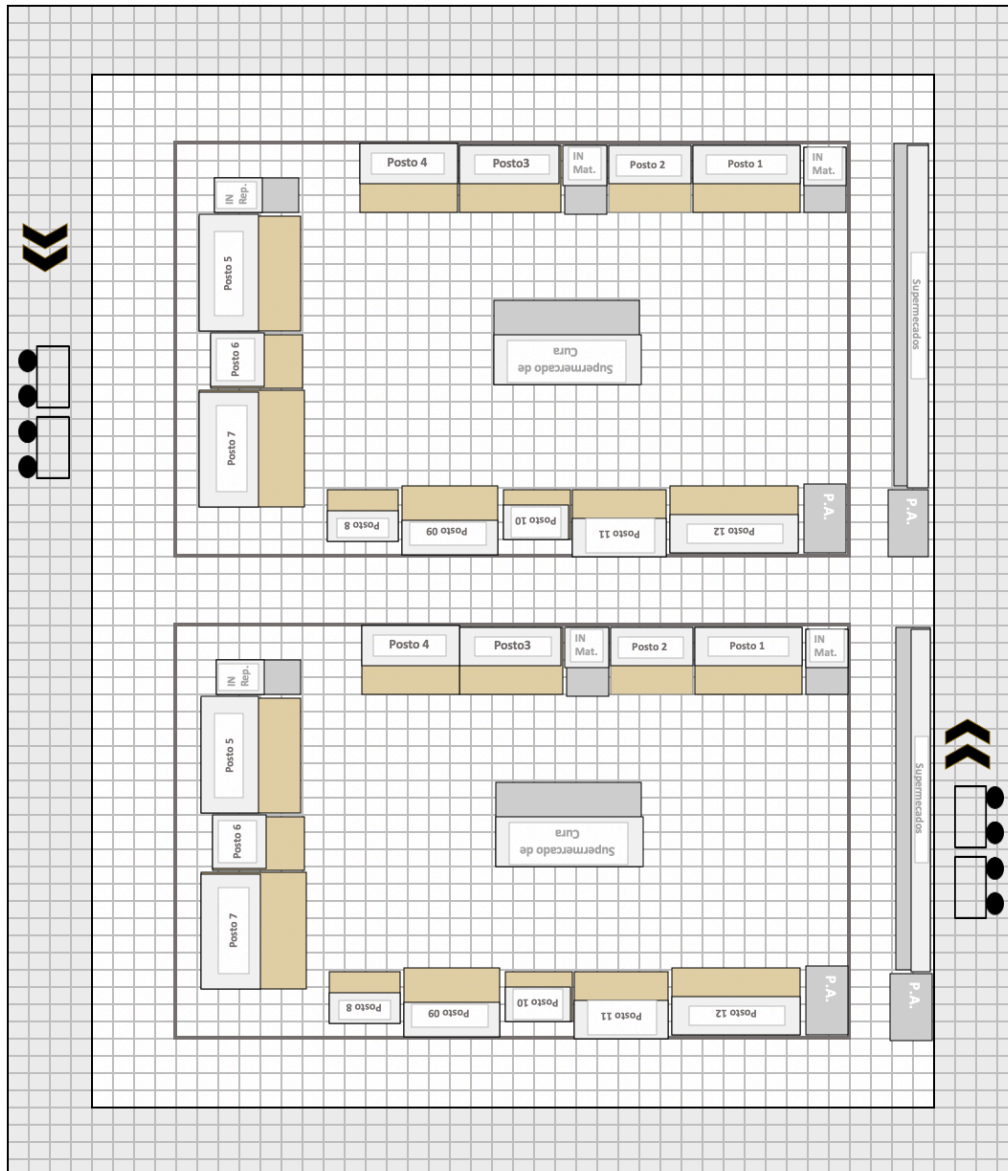


Figura 45 - *Layout* das duas linhas de produção

Neste momento (janeiro) começaram a prever-se aumentos de encomendas na ordem de 5 000 peças por mês. Ajustando o valor de TKT:

$$TKT = \frac{22,75 * 3600}{681,81} * 2 = 240,2 [s]$$

As alterações realizadas até ao momento, e a estabilização do processo, permitiram que o OEE passasse a rondar valores próximos de 80%. Deste modo o TCT é:

$$TCT = 240,2 * 0,8 = 192,2 [s]$$

À semelhança do que foi feito anteriormente, foi realizado um estudo de tempos e métodos. Na Tabela 8, encontram-se resumidos os VT associados a cada posto.

Tabela 8 - Lista de postos das duas linhas transferidas com VT associado

Posto	Descrição	VT (s) V. Indoor			VT (s) Outdoor		
		Operador	Máquina	Throughput time	Operador	Máquina	Throughput time
1	Montagem do suporte da lente e bloco ótico	114,9		114,9	114,9		114,9
2	Montagem no sistema pan e tilt	103,9		103,9	103,9		103,9
3	Programador	5,25	85	90		85	90
3	Teste funcional	5,25	140	145,25		140	145,25
4	Montagem da base	125,63		125,63	125,63		125,63
5	Teste de Focagem	91,3	87,9	179,2	179,2	87,9	179,2
6	Teste íris	43,4	123,20	166,6	43,4	123,20	166,6
7	Teste funcional	55,35	87,71	143,1	55,35	87,71	143,1
8	Carregamento de FirmWare	10,63	82,69	93,3	10,63	82,69	93,3
9	Montagem				85,4		85,4
9	Colagem	90,73		90,73	66,4		66,4
10	Teste de fuga				7,98	11,96	19,9
11	Montagem final	54,65		54,65	91,19		91,19
12	Embalagem	89,78		89,78	113,63		113,63

Foram novamente elaborados o balanceamento e o diagrama de distribuição de tarefas, que se encontram na

Figura 46 e Figura 48 respetivamente para a versão *indoor*, e Figura 47 e Figura 49 para a versão *outdoor*.

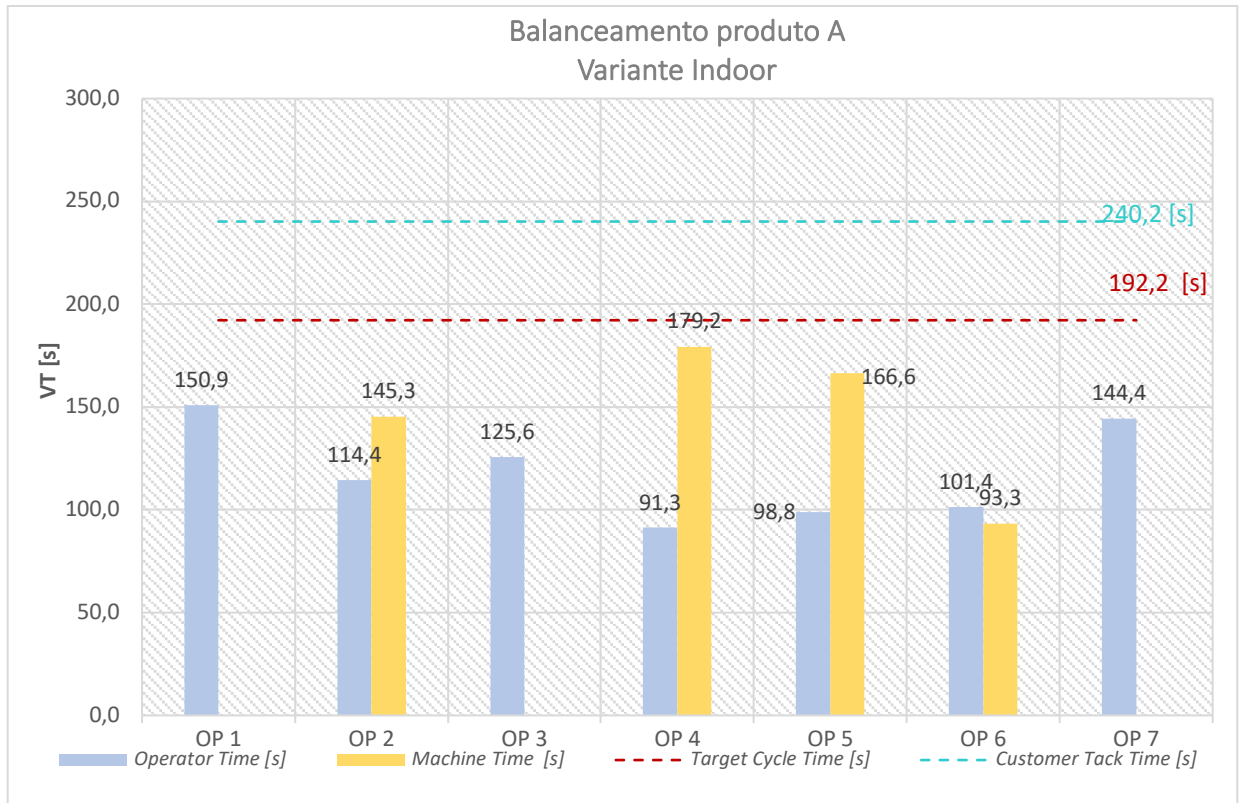


Figura 46 - Gráfico de balanceamento - V. Indoor 7 operadores

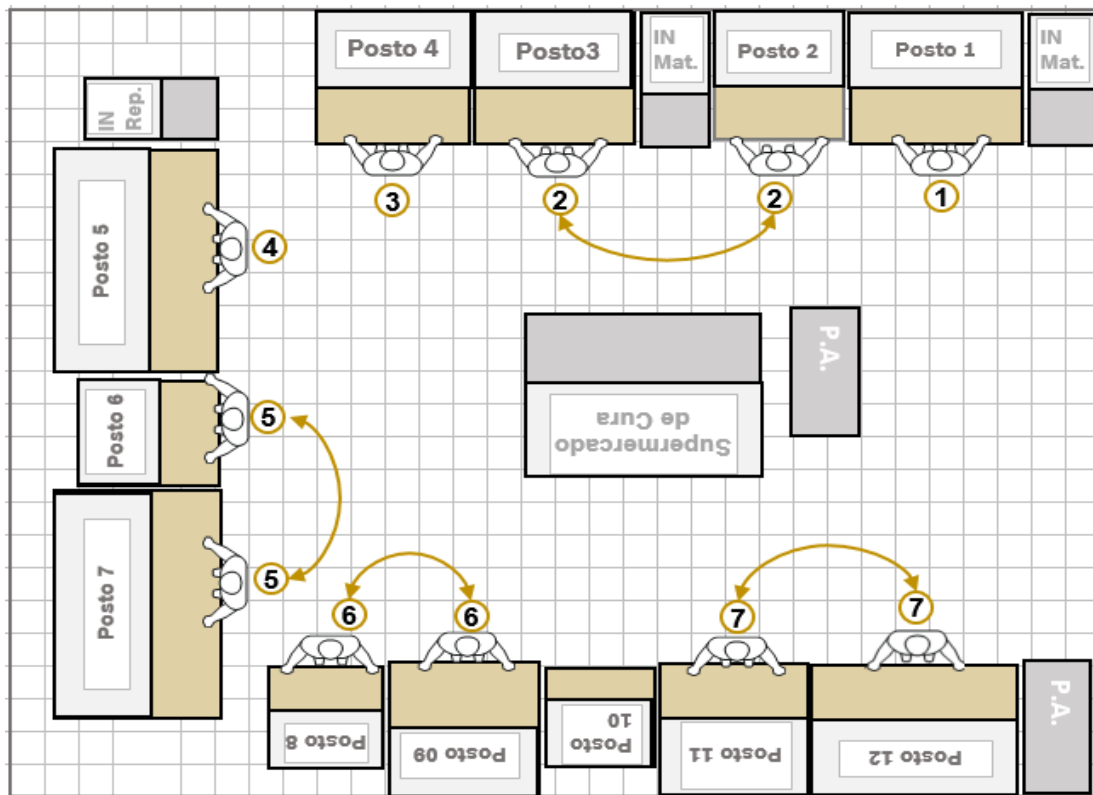


Figura 47 - Diagrama de atribuição de postos - V. Indoor 7 operadores

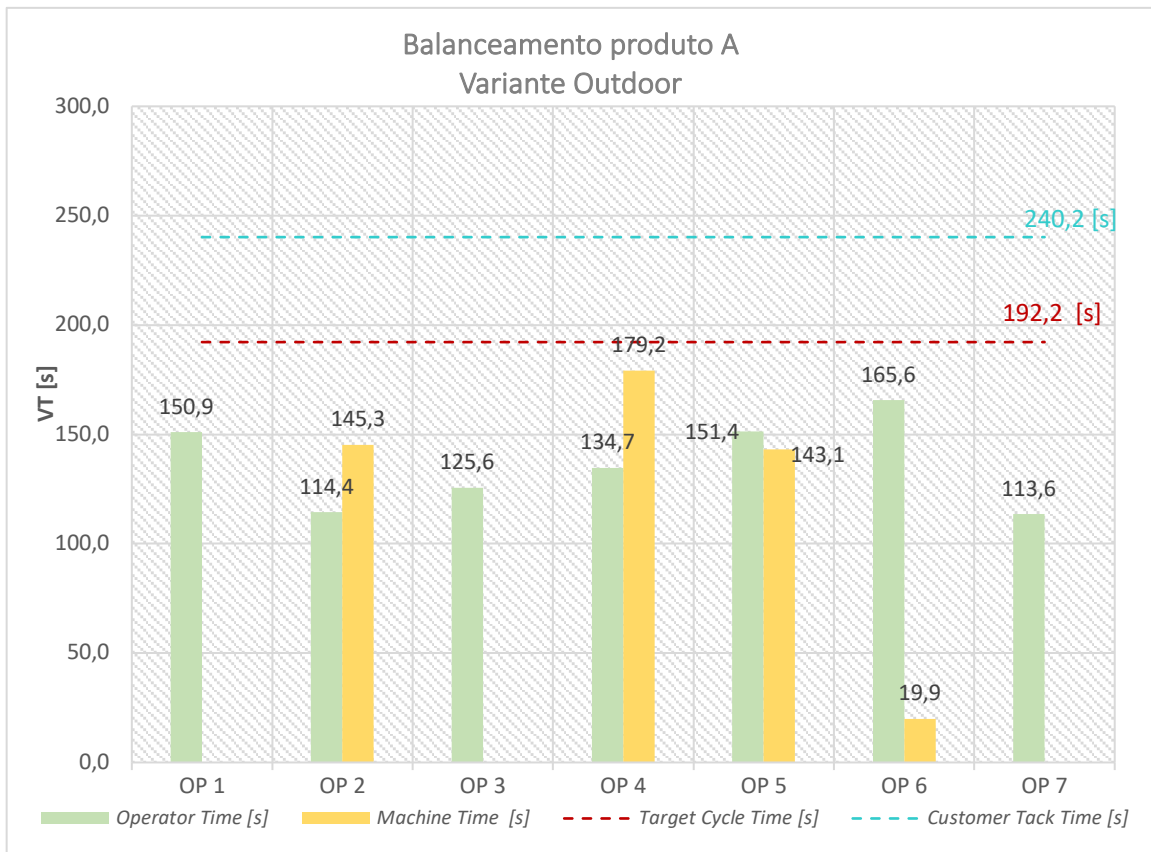


Figura 48 - Gráfico de balanceamento - V. *Outdoor* 7 operadores

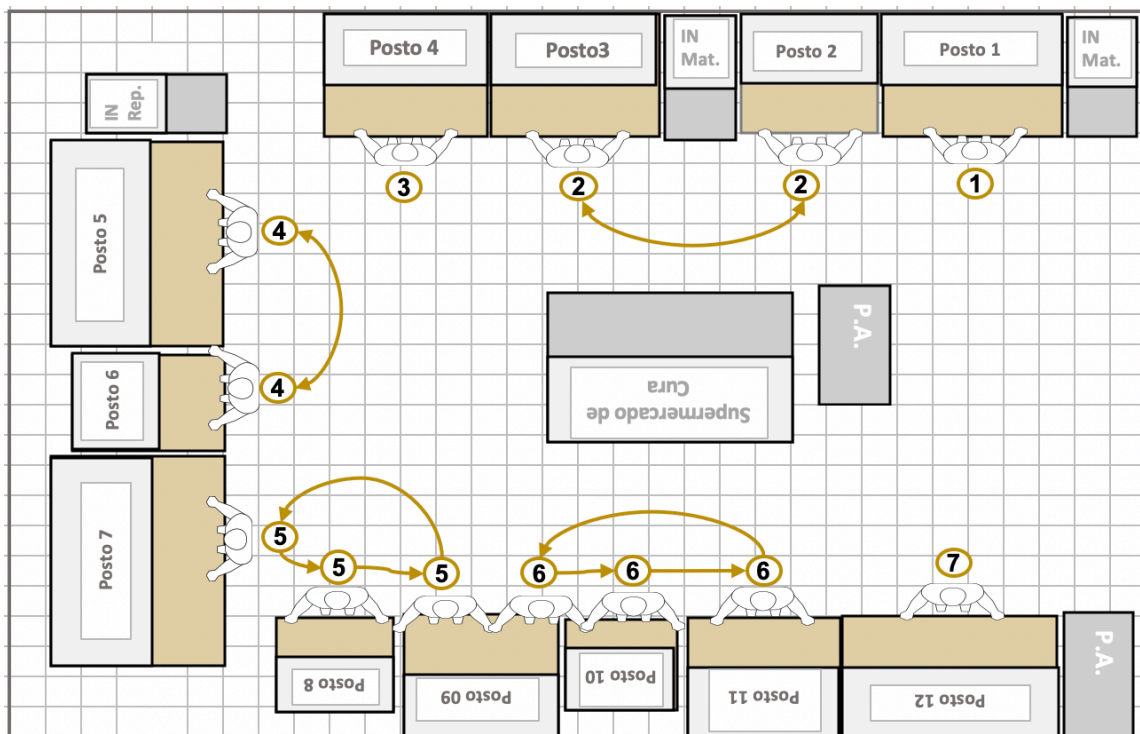


Figura 49 - Diagrama de atribuição de postos - V. *Outdoor* 7 operadores

Workshop de System Cip

No início de março decorreu o 2º *workshop* de 2020 de *system cip* (CIP – *Continuous Improvement Process*). Tal como já referido no subcapítulo da contextualização (1.1), estes *workshops* inserem-se no âmbito da melhoria contínua, e tem como principal objetivo a análise da situação atual de todos os indicadores do *value stream* e a previsão das atividades do ciclo seguinte. Deste *workshop* derivam projetos de melhoria, para as diferentes áreas. No caso da engenharia industrial, e com base nas grandes previsões de vendas do produto A, foi proposto a abertura de uma A3, para melhorar o processo (produtivo e logístico) do produto A, com o objetivo de tornar o processo mais robusto e menos dependente da mão humana, eliminar os desperdícios encontrados e identificar oportunidades de melhoria.

O primeiro passo para a concretização do projeto passa por identificar tudo aquilo que é desperdício, e poderia ser feito de uma forma diferente. O exercício consiste em analisar o processo produtivo e logístico completo, e identificar todos os tópicos que possam ser melhorados. Esta fase iniciou-se na semana 10, início de março, mas devido à pandemia de Covid 19, e mais especificamente ao cerco sanitário que existiu em Ovar, foi interrompida duas semanas depois, e por um período de um mês e meio. Era uma fase extremamente crítica e a paragem de produção, embora que forçada pela autarquia, colocava em risco todo o processo de transferência. Era importante que a equipa delineasse um plano detalhado, ainda que remotamente, para preparar o arranque com as melhores condições possíveis, para que fosse possível recuperar o tempo perdido o mais rapidamente possível.

Foram realizadas várias reuniões remotas para se encontrarem alternativas que pudessem ser postas em prática em paralelo com a paragem. Como os processos mais demorados, eram associados a equipamentos de teste. Qualquer alteração para aumento de capacidade, teria de passar por mudanças nos equipamentos (*hardware e software*). Foi aberto um relatório A3 para auxiliar na resolução do problema (Anexo 1). A equipa de engenharia de testes, conseguiu planejar um conceito de teste que englobava, o atual teste de focagem, teste, de iris, e teste funcional, em um teste apenas, com um VT estimado de 4 minutos. Como este tempo é superior ao anterior *bottleneck*, decidiu-se construir dois equipamentos de teste para cada umas das linhas.

Ainda durante o confinamento, foi encomendado todo o material necessário, quer para os testes quer para construir o posto. Durante as últimas duas semanas, era permitido a circulação de pessoas pertencentes ao concelho, o que permitiu a construção dos postos, e a montagem do *hardware* para os equipamentos de teste.

Findado o cerco, já foi possível regressar à fábrica e preparar a integração dos novos testes em linha. Na Figura 50, encontra-se esquematizado o *layout* das duas linhas após a integração dos testes com o novo conceito. O teste de carregamento de *firmware* passou para posto de embalagem, mais uma vez usando a metodologia de *late configuration*.

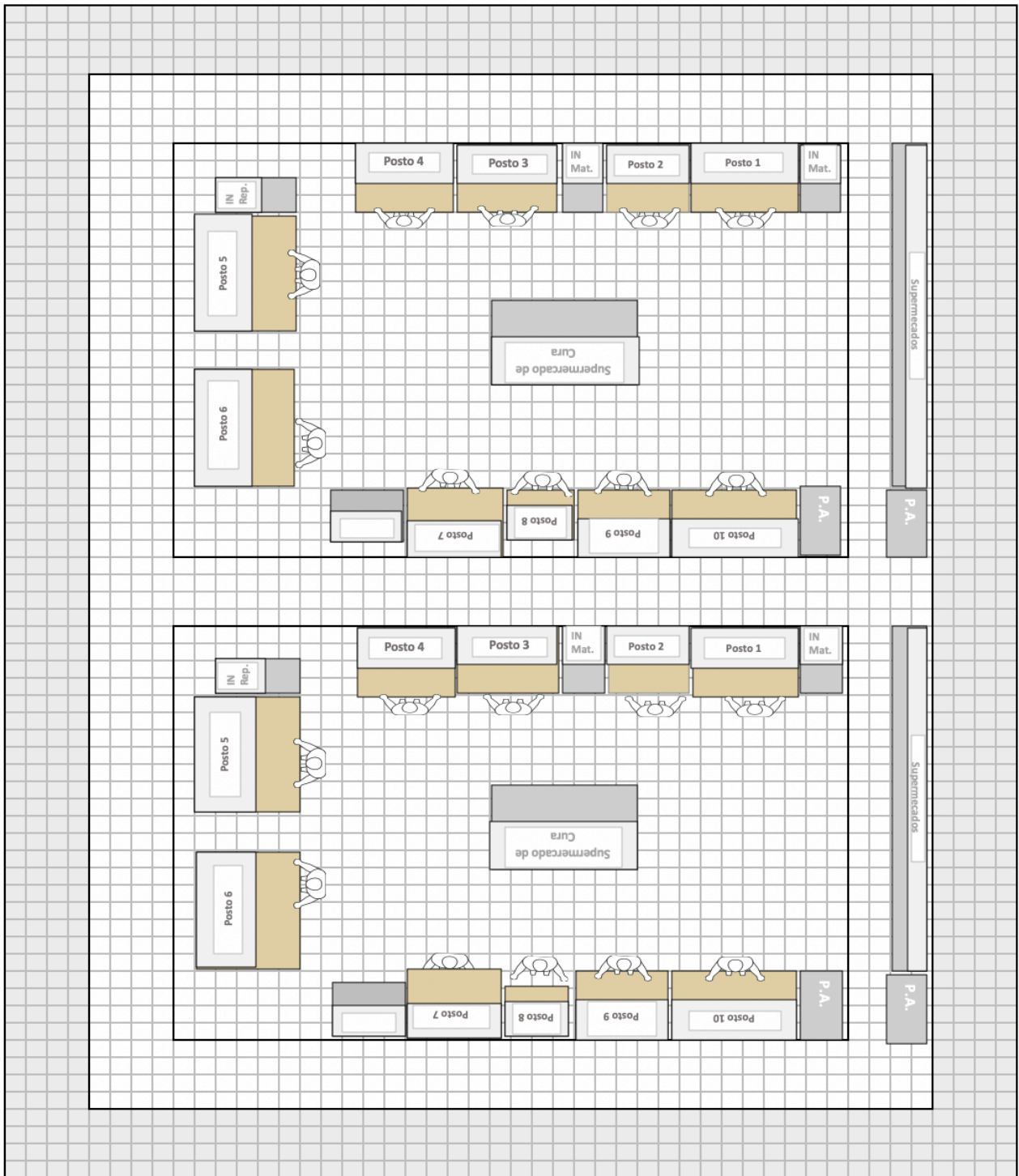


Figura 50 - *Layout* das duas linhas após novo conceito de testes

Ao analisar o *layout* da Figura 50, é notório que existe muito espaço vazio em ambas as linhas, o que significa, o recurso incorreto de área de chão de fábrica, e excessivos movimentos de deslocações por parte dos operadores. No entanto, não existia tempo para

perturbações ou paragens planeadas nas linhas, uma vez que ambas estavam a trabalhar à capacidade máxima, durante 7 dias por semana.

Na Figura 50 pode ver-se um posto a cinzento, onde era feito anteriormente o carregamento de *firmware*. Este posto ficou desocupado, mas manteve-se instalado, para que a sua remoção não perturba se a linha.

O aumento de capacidade foi cumprido, passando agora para uma cadência máxima de 23 peças por hora, ditada pelo novo *bottleneck* da linha, o carregamento de *firmware*, que passou a ter 156,5 segundos devido ao incremento da rotina de impressão de etiquetas. O *throughput time* dos novos testes, ficaram abaixo do tempo estimado, e correspondem a 180,0 segundos cada um.

Na Tabela 9, encontram-se resumidos os VT atualizados dos postos de trabalho.

Tabela 9 - Lista de postos das duas linhas VT associado

Posto	Descrição	VT (s) V. Indoor			VT (s) Outdoor		
		Operador	Máquina	Throughput time	Operador	Máquina	Throughput time
1	Montagem do suporte da lente e bloco ótico	114,9		114,9	114,9		114,9
2	Montagem no sistema <i>pan e tilt</i>	103,9		103,9	103,9		103,9
3	Programador	5,25	85	90		85	90
3	Teste funcional	5,25	140	145,25		140	145,25
4	Montagem da base	125,63		125,63	125,63		125,63
5	Teste Funcional 1	94	86	180	94	86	180
6	Teste Funcional 2	94	86	180	94	86	180
7	Montagem				85,4		85,4
7	Colagem	90,73		90,73	66,4		66,4
8	Teste de fuga				7,98	11,96	19,9
9	Montagem final	54,65		54,65	91,19		91,19
10	Carregamento de <i>FirmWare</i>	10,63	145,9	156,5	10,63	145,9	156,5
10	Embalagem	89,78		89,78	113,63		113,63

Uma vez que os testes funcionais não são o *bottleneck*. Deixa de ser necessário que eles trabalhem à cadência máxima:

$$\text{Cadência máxima testes funcionais} = \frac{3600}{\frac{180}{2}} = 40 \text{ pç/h}$$

Fez-se um estudo do tempo em que o operador tinha de intervir no teste, e do tempo automático (em que o teste não precisava da presença do operador) e obteve-se o diagrama da Figura 51, onde a cor de laranja estão descritos os VT de operador e a verde os VT de máquina.

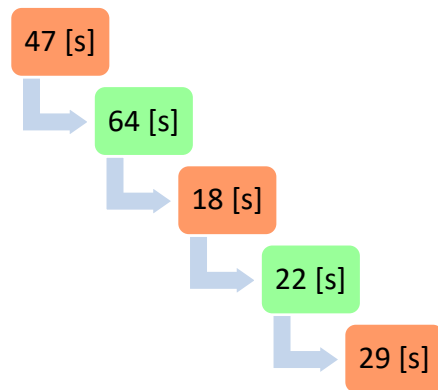


Figura 51 – Sequência de tempos de operador e máquina nos testes funcionais

Após esta análise, foi criado um diagrama de balanceamento por forma a verificar qual seria o VT associado se um só operador operasse os dois testes. O diagrama encontra-se na Figura 52.

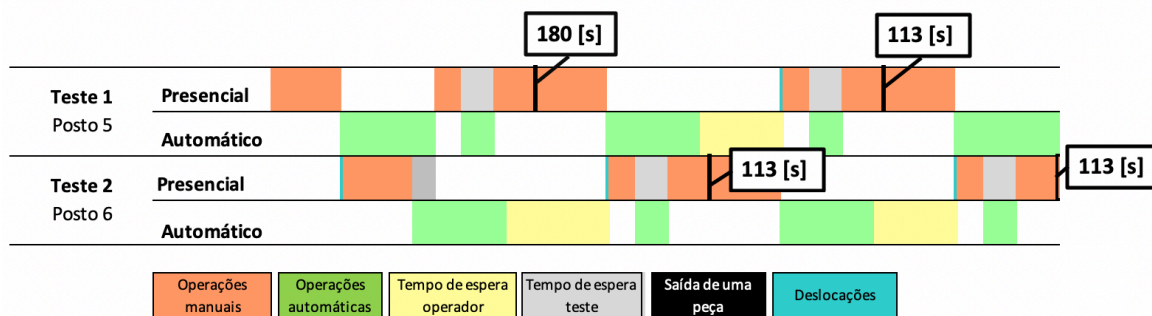


Figura 52 - Diagrama de balanceamento dos testes funcionais

Verifica-se que operando os dois testes em paralelo por um só operador, a primeira peça testada está pronta ao final de 180 segundos (*throughput time* do teste). Após esse ciclo, a cada 113 segundos sai uma peça testada. Este exercício permite otimizar a carga dos operadores sem comprometer o *bottleneck* (156,5 segundos).

Seguidamente foram criados novos gráficos de balanceamento para ambas as diversidades (Figura 53 e Figura 55), e por consequência novos diagramas de atribuição de postos (Figura 54 e Figura 56).

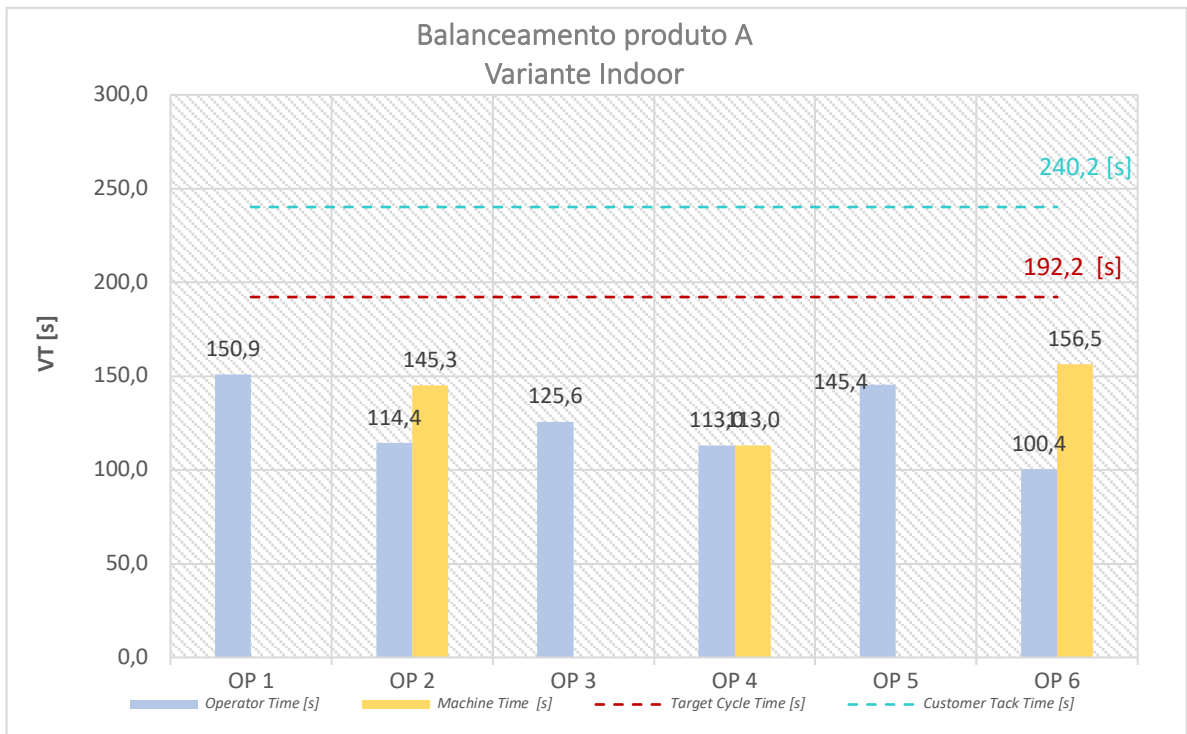


Figura 53 - Gráfico de balanceamento - V. Indoor 6 operadores

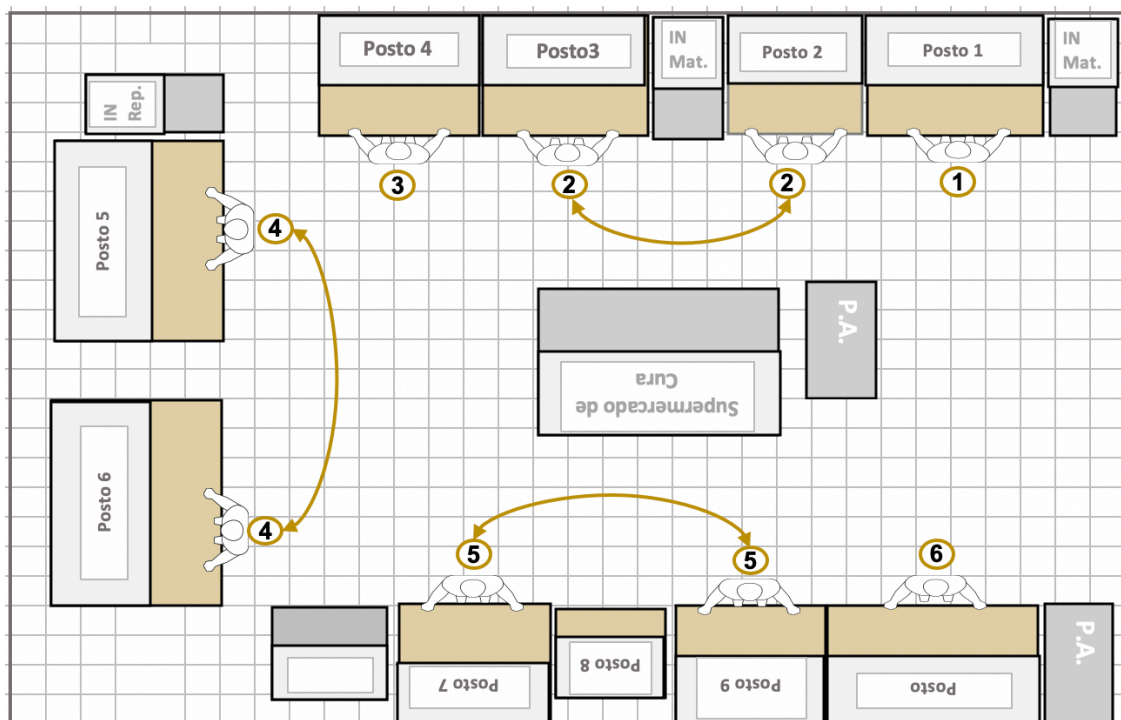


Figura 54 - Diagrama de atribuição de postos - V. Indoor 6 operadores

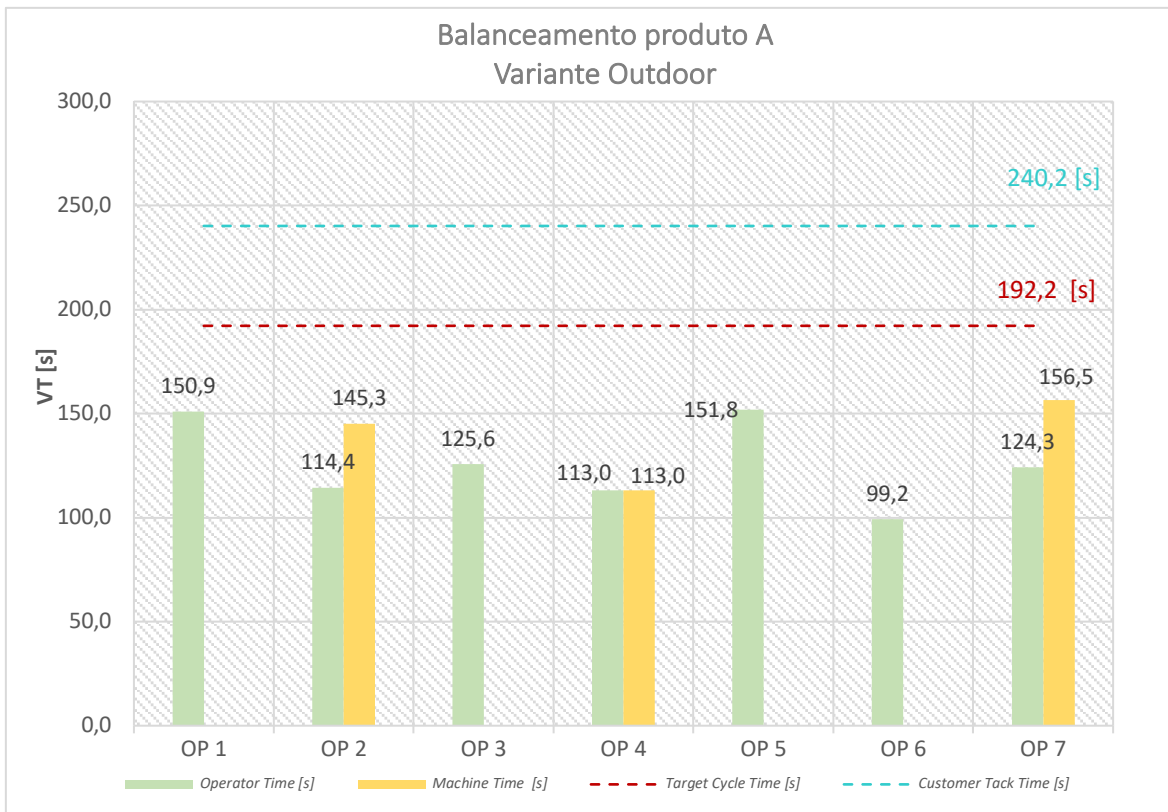


Figura 55 - Gráfico de balanceamento - V. Outdoor 7 operadores

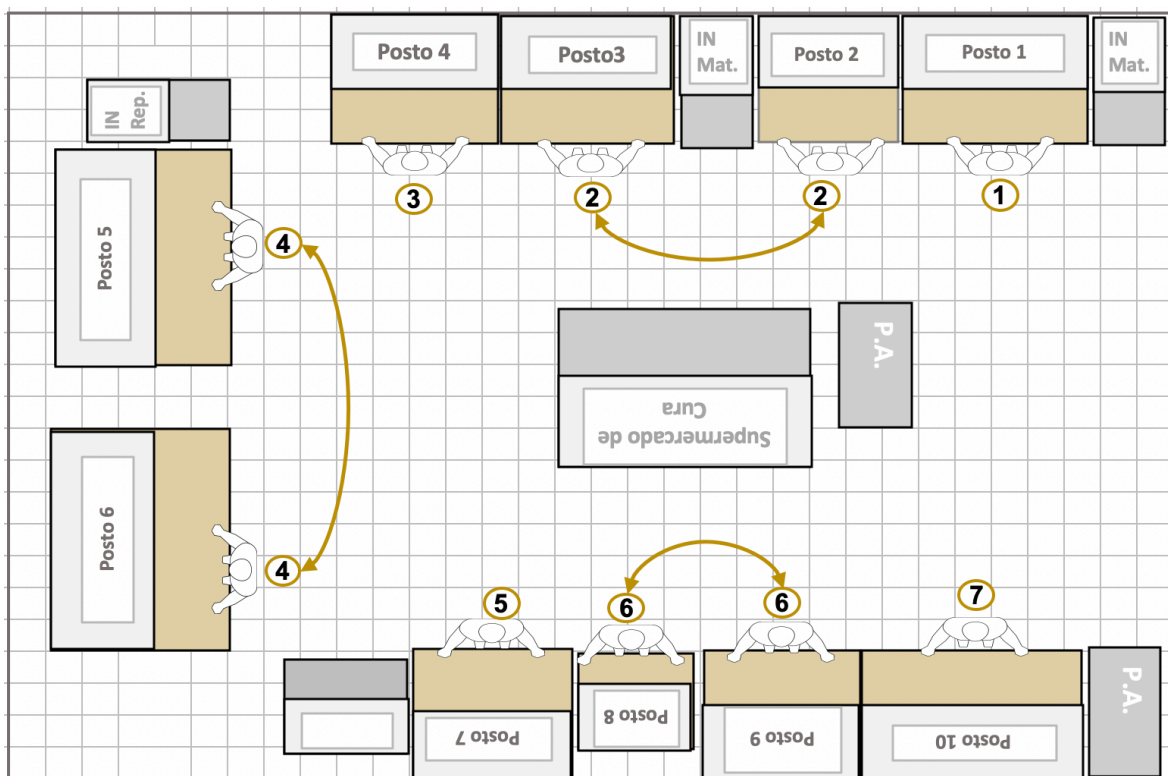


Figura 56 - Diagrama de atribuição de postos - V. Outdoor 7 operadores

Como se verifica no gráfico acima, para além do aumento de 3 peças de capacidade, é possível ainda, na variante indoor, reduzir um operador, passando agora a 6 para o atingimento da máxima cadência.

Os novos standards foram entregues à produção, e durante um mês foram seguidos em sessões de *handover* com a equipa de value stream de forma a mitigar desvios. Sempre que eram encontrados desvios, estes eram identificados e documentados numa plataforma interna, onde é usado o ciclo PDCA.

No final de maio foi possível retomar as análises de processo. Estas análises consistiam em ir para o chão de fábrica e posto a posto identificar desperdícios, desvios e potenciais ganhos. Este trabalho foi realizado em conjunto com a engenharia industrial e engenharia mecânica associadas a estas linhas. No subcapítulo seguinte serão listados todos os pontos identificados bem como as propostas de melhoria.

3.3.4. Tópicos identificados nas análises de processo

Tópico 1: Abastecimento de materiais no posto

Verificou-se que no caso do posto 2, 4, 9 e 10 as bancadas de trabalho eram demasiado largas para a operação (Figura 57), mesmo estando dentro dos limites ergonómicos, a distância que o operador tem de vencer para alcançar os materiais é desnecessariamente grande, o que a torna num desperdício.

Os operadores acabam por retirar os materiais da rampa de entrada e colocam diretamente na bancada, para facilitar a operação, no entanto não é suposto que isto aconteça.



Figura 57 - Bancadas de trabalho demasiado largas

Como proposta de melhoria, sugerimos trocar as rampas de entrada de materiais de chapa por roletos, que facilitam a chegada de materiais, para além disso a rampa de roletos deve ocupar a área da bancada que está em excesso, aproximando assim os materiais do operador.

Tópico 2: Materiais a granel

Maioritariamente nos postos 2,4,10 e 11, existe uma grande diversidade de componentes a granel Figura 58 - parafusos, anilhas, conectores(...). Hoje em dia este tipo de materiais vem a granel dentro de um contentor. Observamos que nestas situações o operador costuma retirar uma quantidade indefinida de cada um destes materiais, coloca na própria bancada, e vai operando.



Figura 58 - Materiais a granel

Acreditamos que a dificuldade está relacionada, não só com a distância ao contentor, mas também com a barreira do contentor que é preciso vencer para pegar do material. O facto de se tratar de material com pequenas dimensões também motiva a solução adotada pelos operadores.

Para melhorar este aspeto, propomos trocar os contentores comuns por calhas de dispensação fixas ao posto. O tipo de calhas escolhidas é o apresentado na Figura 59. Este tipo soluções proporciona uma grande flexibilidade de posicionamento e empilhamento e facilita consideravelmente a retirada de material por parte do operador.

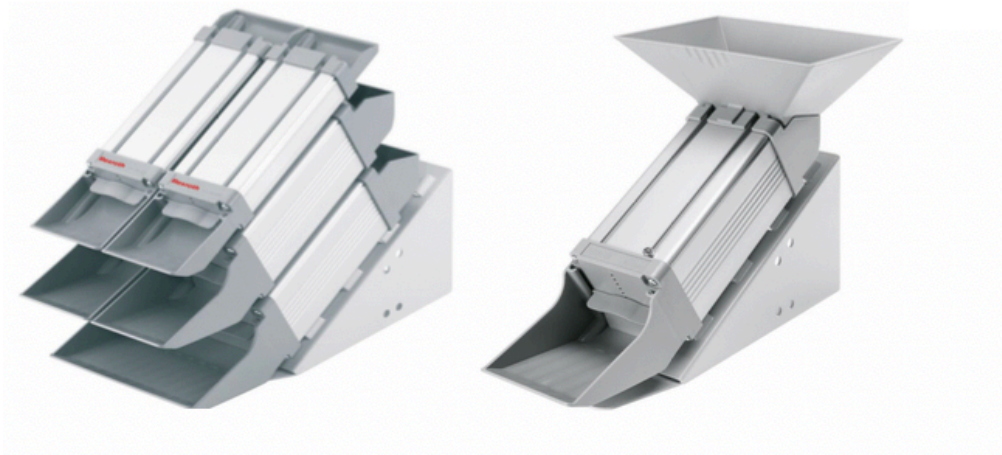


Figura 59 - Calhas de dispensação

Tópico 3: Abastecimento

Em ambas as linhas os materiais são abastecidos por um operador logístico (PoUP – *Point of User Provider*) que retira os materiais dos supermercados que estão junto às linhas e coloca em cada posto. Por sua vez o supermercado é abastecido por um outro recurso logístico, chamado de *milk run*.

Analisaram-se as BoM (*Bill of Material*) de todos os códigos. Agruparam-se por posto todos os materiais que podem ser associados. A cada material foi atribuído a classificação de set up/ não setup consoante o material fosse específico de uma diversidade ou não. Paralelamente foram também identificados todos os materiais que poderiam ser abastecidos por calhas.

Proposta de melhoria: Para os materiais que não sofrem *setup*, ou seja, que independentemente da variante a produzir estão fixos no posto, eliminar a operação da PoUp, e fazer com que sejam abastecidos diretamente por *milk run*.

Tópico 4: Colagem

No posto 7 são feitas 2 tipos de colagens, com uma cola (Figura 60) que requer um tempo de cura (tempo de espera para que a cola seque) de 4 horas.

- Tipo 1: Para ambas a versões, é encaixada uma borracha numa peça plástica e são aplicados 3 pontos de cola. A cola usada necessita de um dispensador, e dada a sua toxicidade obriga ao uso de óculos e máscara de proteção.



Figura 60 - Cola usada

Após a aplicação, as peças têm de ficar a aguardar 4 horas, para que a cola seque completamente. Durante as 4 horas as peças ficam no supermercado de cura que está dentro da linha (Figura 61).



Figura 61 - Supermercado de cura

Cada contentor de peças é identificado com um cartão que indica a hora a que foi produzido (Figura 62), o operador que vai buscar material a este supermercado, tem sempre de confirmar a passagem das 4 horas.

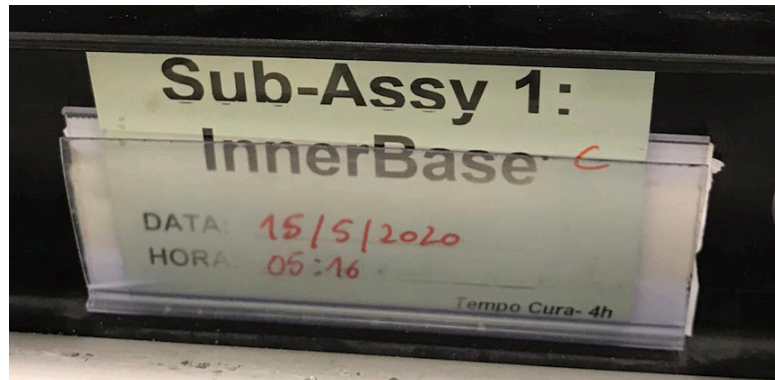


Figura 62 - Cartão do supermercado de cura

- Tipo 2: Apenas para a versão *indoor*, esta cola é ainda usada para colar o microfone. Após a colagem o processo é o mesmo.

A equipa identificou este processo como desperdício, e procurou alternativas. Para a primeira aplicação, sugerimos uma cola de secagem instantânea já existente na fábrica (Figura 63).

Numa primeira fase, esta sugestão não foi aceite pela equipa de R&D, porque este tipo de cola ganha um aspeto esbranquiçado após secar.



Figura 63 - Aplicação da nova cola

Tentamos várias abordagens de aplicação, e encontramos uma, que possibilita a obtenção dos resultados pretendidos. Consiste em aplicar cola na peça plástica em vez de aplicar na borracha. A proposta foi feita, foram realizados testes, e foram enviadas amostras ao R&D que aprovou a solução.

Na Figura 64 podem ver-se as peças já coladas, e sem qualquer vestígio visível da cola.



Figura 64 - Peças coladas com a nova cola

Fizemos também testes de adesividade (Figura 65), para garantirmos que a borracha aguentava a força pretendida, e os resultados foram também favoráveis.

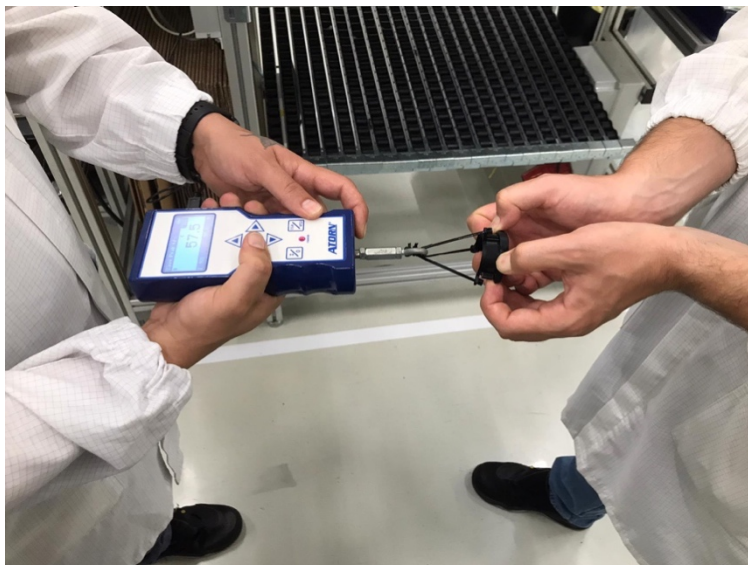


Figura 65 - Teste de adesividade

Apenas esta alteração possibilita a eliminação de metade do supermercado da Figura 61. Para além diminui o risco de troca de materiais, uma vez que estas peças têm diversidade, e também elimina o modo de falha documentado na FMEA, relativamente à possibilidade de um operador utilizar as peças antes do tempo de cura decorrido. Possibilita ainda a colocação desta tarefa em fluxo, visto que anteriormente era feita do lado oposto da linha.

Relativamente à colagem do microfone, a primeira alternativa apresentada foi a aplicação de cola quente. Esta proposta foi recusada, ainda que o microfone seja testado na linha, acredita-se que o pico de temperatura que o microfone atinge aquando a aplicação da cola, pode afetar o seu ciclo de vida. Juntamente com o R&D, contactamos um fornecedor nacional, que nos mostrou alguns exemplos de cola. Após escolhermos a que nos pareceu mais indicada, testamos e enviamos também amostras. Esta sugestão foi também validada. O único aspeto menos positivo nesta abordagem, é que esta colagem ainda carece de uma cura de 30 minutos, no entanto representa uma diminuição do *stock* envolvido.

Tópico 5: Películas

No posto 9, é colocada uma película de proteção em cima da lente. Esta película é comprada em folhas de 3 unidades. Durante as análises de processo, verificamos que os operadores cortam a folha em 3 partes antes de as usarem (Figura 66), para que possam descartar a folha imediatamente a seguir ao consumo da película, para que não fiquem preocupados se retiraram ou não a película.



Figura 66 – Corte de Películas

Esta ação não acrescenta valor ao produto, e é por isso um desperdício. Contactamos o fornecedor com o intuito de perceber se poderíamos passar a comprar este material num rolo, como a resposta foi favorável, percebemos que teríamos uma oportunidade de melhoria e adquirimos o equipamento da Figura 67, que para além de auxiliar na remoção da película, automaticamente recolhe o desperdício.



Figura 67 - Equipamento para remoção de películas

Tópico 6: Esquecimento de acessórios

Como visto anteriormente, o esquecimento de acessórios é uma das falhas mais recorrentes. Para diminuir o risco, implementamos o sistema dos “4 olhos”.

Incluimos no posto de embalagem umas caixinhas de contagem como se pode verificar na Figura 68 . O procedimento instalado, obriga a que o operador deixe as tampas das caixas referentes à diversidade em produção abertas e sugere que sejam preenchidas com as quantidades supostas. Seguidamente o operador deve completar as restantes tarefas e só depois vai buscar os acessórios que preparou anteriormente. Assim sendo, o operador verifica duas vezes se o eu está a fazer é o correto.



Figura 68 - Sistema de contagem de acessórios



Figura 72 - Conceito de suporte de copos de plástico

Tópico 9: Caixas coletivas

Após todo o produto pronto embalado, a caixa é colocada numa caixa coletiva. As caixas individuais são específicas de cada uma das diversidades (*indoor e outdoor*), já a caixa coletiva é a mesma. O desperdício detetado deve-se ao facto de a caixa coletiva não ser otimizada para nenhuma das versões o que implica a colocação de *bubble bags* (Figura 73) para preencher o espaço vazio.



Figura 73 - *Bubble bags*

Na diversidade *indoor*, a caixa coletiva leva 5 unidades, ficando com folga na lateral e na parte de cima. Na diversidade *outdoor* a caixa coletiva leva 4 unidades, ficando otimizada em largura, no entanto em altura continua a apresentar um desperdício, que carece das *bubble bags*. Na Figura 74 encontram-se representada a situação atual nas duas diversidades.



Figura 74 - Caixa coletiva: Esquerda - diversidade *indoor*; Direita diversidade *outdoor*

A colocação dos *bubble bags* para além de um desperdício de movimentos, e de mão de obra, é um desperdício de material, mais concretamente de plástico descartável, que por si só já é um material que devemos evitar para a sustentabilidade do planeta. Na Figura 75 é apresentada uma foto da colocação das *bubble bags* na caixa.



Figura 75 - Colocação de *bubble bags*

Para melhorar este processo, tentamos 3 abordagens juntamente com a equipa de R&D responsável pelas embalagens.

A primeira foi a de encontrar ou conceber uma só caixa coletiva otimizada às duas versões. Tecnicamente não era possível devido às dimensões das duas caixas individuais.

A segunda passou por verificar a possibilidade de usar a mesma caixa individual para as duas versões, e depois encontrar uma coletiva ajustada. Era possível usar a caixa individual da versão *outdoor* (maior) na versão *indoor* (menor), no entanto o molde do fornecedor

dos *inserts* teria de ser alterado para a versão indoor. A alteração do molde é muito dispendiosa, e para além disso íamos colocar mais material desnecessário.

A terceira tentativa passou por encontrar/conceber uma caixa coletiva para cada uma das versões, que ficasse completamente otimizada.

Para a versão outdoor conseguimos propor uma caixa já existente na fábrica (Figura 76). Simulamos em linha e enviamos as amostras para o R&D, que realizou testes de queda, para validar a solução proposta. A solução foi aprovada.



Figura 76 - Nova caixa coletiva para a versão *outdoor*

Para a versão *indoor*, não tínhamos nenhuma solução na fábrica pelo que a equipa de R&D, concebeu uma nova caixa, que fica otimizada com 8 unidades. Fez-se uma simulação ergonómica para validar se o peso (aproximadamente 6 kilos) não apresentava um desvio e chegamos à conclusão de que se a caixa for colocada numa estrutura com roletos, é possível facilmente ser transferida para o carro de produto acabado, que é depois levado pelo *milk run*.

Tópico 10: Embalagens de fornecedor vs quantidades de SNP dos kanbans

No armazém de matéria prima, os materiais são alocados em prateleiras.

Existem operadores de *repacking* responsáveis por reabastecer os kanbans que as linhas consumiram. É importante que as condições logísticas do fornecedor estejam ajustadas às necessidades da fábrica, de forma a tornar este abastecimento o mais eficiente possível.

Realizou-se uma análise ao armazém de matéria prima, para se avaliarem as condições em que os materiais eram comprados.

Encontramos materiais que cuja quantidade de fornecedor não era ajustada à quantidade do *kanban* e que por isso implicava a contagem por parte do operador. Nestes casos, verificamos se era possível alterar a quantidade do *kanban*, se não fosse, verificamos se possível alterar o tipo de contentor usado (esta verificação passa por validar se o contentor cabe no bordo de linha). Nos casos em que era viável ajustar uma das duas possibilidades, estas condições foram melhoradas.

Encontramos também materiais que traziam proteções desnecessárias. Como é o caso dos das apresentadas na Figura 77.



Figura 77 - Exemplos de peças com demasiadas proteções

Nestes dois casos, o operador de *repacking* tem de pegar em cada uma das peças, retirar o saco plástico e colocar as peças a granel no contentor interno. Como não se trata de peças com requisitos cosméticos, foi proposto ao fornecedor que passasse a enviar estas peças, sem os plásticos envolventes, poupando assim em toda a cadeia de abastecimento.

3.3.4.1. Ergonomia

Uma das responsabilidades da função de engenharia industrial na Bosch, é a realização de análises ergonômicas às linhas de produção.

Neste subcapítulo, para além de uma apresentação teórica sobre como são realizadas as análises ergonômicas na Bosch, é também apresentado os resultados obtidos às análises ergonômicas realizadas.

Para realizar as análises ergonômicas usamos uma ferramenta interna denominada *Ergocheck*, que em cada posto de trabalho, avalia os 4 grupos que serão explicados se seguida.

No grupo 1 é avaliada a postura corporal, que o posto de trabalho obriga ou permite que seja utilizada.

Na Tabela 10 são apresentadas as questões que têm de ser respondidas em cada posto de trabalho.

Tabela 10 - *Ergocheck* - Grupo 1

1. Postura corporal e dimensões do Posto de Trabalho	Sim	Não
1.1 O tipo de ferramentas de trabalho e a postura corporal correta são adequadas para a tarefa em questão?		
1.2 As dimensões do posto de trabalho estão de acordo com a recomendação da “Carta Azul” (páginas 1 e 2)?		
1.3 São evitadas posturas corporais desfavoráveis regulares?		
1.4 É possível alternar entre cargas de trabalho?		
- Em postos de trabalho sentados, sentados e em pé, ou apenas em pé: o posto de trabalho permite a mudança da postura corporal/ carga de trabalho?		
- Em linhas de produção com alternância entre em pé/caminhar: os critérios de “ <i>stand-walk</i> ” são seguidos?		

A pergunta 1.1 é avaliado se o posto de trabalho é adequado ao tipo de tarefa que lá é realizada. Nomeadamente se é necessário estar de pé, ou sentado, e se isso é refletido na prática.

Na pergunta 1.2 são avaliadas as dimensões do posto de trabalho. Os valores de referência segundo a “carta azul” para a altura de trabalho são entre 920 e 1165 mm.

Para a pergunta 1.3 são avaliadas as posturas corporais com base nos critérios exemplificados na Figura 78.

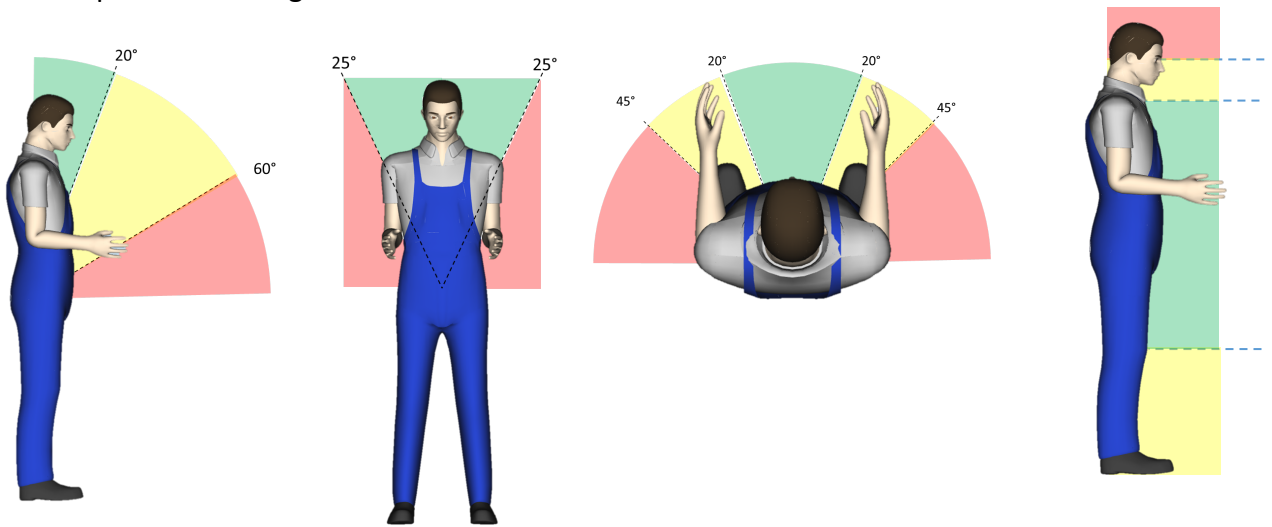


Figura 78 – Critérios de avaliação das posturas corporais

Na questão 1.4 é questionado se o trabalho pode ser alternado entre sentado e de pé. No decorrer desta questão, e para os casos em que o trabalho é sempre feito de pé, é necessário realizar o estudo do *stand walking criteria*. Este estudo consiste em detalhar cada *loop* do operador e descrever sequencialmente:

- tempo que ele fica de pé no mesmo sítio;
- Tempo de ele passa a andar;
- Nº de rotações do tronco nas suas movimentações;

Para a realização deste estudo necessitamos de preencher uma tabela como a da Figura 79.

Department/Shopfloor		Work system								
		Data Loop 2								
		TG of Loop from CAPP [s] using L=100% (please input)							157,18	
		Calculated waiting time [s] (Difference to bottle neck)							1,3	
		Ground time without turn body of loop [s] (Sum Standing+Walking+Side step)							157,6	
		Standing				Walk W-		Side step SS-		Turn Body TBC-
		$\Sigma \geq 4 \text{ Sek. [s]}$		151,1		$\Sigma W- [s]$		$\Sigma SS- [s]$		4
		$\Sigma < 4 \text{ Sek. [s]}$		0,0						
Descrição	QTY	TMU	s	Time value	Add waiting time here [x]	TMU	s	TMU	s	Quantity
Posto 4						0		0		0
Assemblagem			62,52	62,5		0		0		0
TBC	2					0		0		2
Passo	6					90	3,2	0		0
Posto 9						0		0		0
Assemblagem			88,57	88,6		0		0		0
TBC	2					0		0		2
Passo	6					90	3,2	0		0

Figura 79 - Excerto de uma tabela de *stand walking Criteria*

A análise do *stand walking criteria* é feita ao *loop* do operador e não ao posto. Significa que o posto pode não apresentar nenhum desvio, mas se o *loop* do operador que o opera não estiver conforme, o posto fica com um desvio associado.

Fez-se a simulação com o balanceamento mais usado em linha, depois das melhorias, com 6 operadores na produção da variante indoor. Os resultados são os apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados obtidos na análise de *stand walking criteria*

<i>Proportion of "Standing ≥ 4 s" to "Ground time without turn body"</i>	
OP 2	95%
OP 3	96%
OP 4	98%
OP 5	97%
OP 6	98%

O operador 1 não consta na análise porque se trata de um posto de trabalho sentado, os restantes operadores apresentam uma taxa de tempo de permanência em pé, igual ou superior a 95%, o que significa que existe um desvio associado.

Após esta análise, conseguimos responder ao grupo 1 de questões.

Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 12

Tabela 12 - Ergocheck - Resultados obtidos Grupo 1

Posto/Questão	1.1	Altura de trabalho (mm)	1.2	1.3	1.4
1	Sim	1130	Sim	Sim	Sim
2	Sim	1100	Sim	Sim	Não
3	Sim	1120	Sim	Sim	Não
4	Sim	1010	Sim	Sim	Não
5	Sim	1000	Sim	Sim	Não
6	Sim	1000	Sim	Sim	Não
7	Sim	1060	Sim	Sim	Não
8	Sim	1100	Sim	Sim	Não
9	Sim	1120	Sim	Sim	Não
10	Sim	1100	Sim	Sim	Não

Verificamos que apenas o posto 1 não apresenta já um desvio.

No grupo 2 são avaliados os alcances dos materiais e a visibilidade. A Tabela 13 resume as questões realizadas neste grupo.

Tabela 13 - Ergocheck - Grupo 2

2. Área de alcance e campo de visão	Sim	Não
2.1 O local e os itens de trabalho estão no centro da área de trabalho e em frente ao colaborador?		
2.2 Os recipientes, ferramentas, atuadores, peças e botões usados de forma cíclica estão dentro da área de alcance do colaborador?		
2.3 As posturas desfavoráveis das articulações são sempre evitadas?		
2.4 O colaborador tem uma boa visualização da área de trabalho?		
2.5 Os requisitos legais (de visão) de iluminação, contraste, brilho estão de acordo com a recomendação da “Carta Branca”?		

As perguntas 2.1 a 2.3, estão relacionas com o alcance dos materiais e as posturas inerentes a este alcance. A Figura 80 ilustra o raio de aceitável onde devem estar os materiais e atuadores.

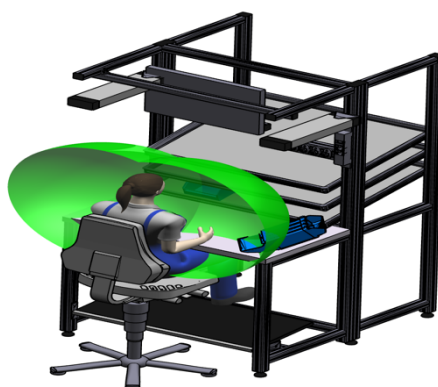


Figura 80 - Critérios de avaliação de alcance de materiais

As questões 2.4 e 2.5 estão relacionadas com o campo de visão. A primeira avalia se o operador precisa inclinar o tronco para conseguir visualizar materiais e atuadores. A Figura 81 auxilia na avaliação destes ângulos, onde os a vermelho são definidos os limites aceitáveis.

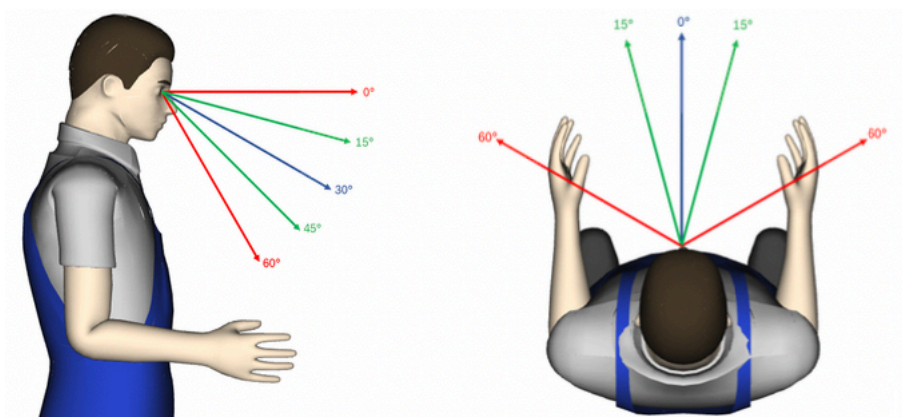


Figura 81 - Critérios de avaliação de campos de visão

A segunda prende-se com a quantidade luminosa existente no local, face aquela que é exigida pelo tipo de tarefa. É usado um luxímetro para fazer esta avaliação. A carta branca menciona intervalos de valores aceitáveis que variam desde os 300 lx para atividades que não precisam de grande atenção como é o caso de testes automáticos, passando pelos 750 lx para atividades de montagem não muito precisa e embalagem, e até aos 1500 lx para atividades que exigem um grande detalhe e precisão, como inspeções e soldaduras.

Para estas questões os resultados ergonómicos obtidos nos postos, foram os apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Ergocheck - Resultados obtidos Grupo 2

Posto/Questão	2.1	Alcance (mm)	2.2	2.3	2.4	2.5	Luminosidade (lx)
1	Sim	550	Sim	Sim	Sim	Sim	1300
2	Sim	500	Sim	Sim	Sim	Sim	600
3	Sim	300	Sim	Sim	Sim	Sim	930
4	Sim	500	Sim	Sim	Sim	Sim	1000
5	Sim	500	Sim	Sim	Sim	Sim	530
6	Sim	500	Sim	Sim	Sim	Sim	530
7	Sim	400	Sim	Sim	Sim	Sim	950
8	Sim	300	Sim	Sim	Sim	Sim	1140
9	Sim	400	Sim	Sim	Sim	Sim	800
10	Sim	400	Sim	Sim	Sim	Sim	1100

Neste grupo, todos os valores apresentados encontram-se dentro da legislação, pelo que nenhum desvio é identificado.

No grupo 3 por sua vez, é avaliada a presença de monitores e botões, e a sua avaliação é análoga ao conjunto de características dos dois grupos anteriores. Na Tabela 15, estão resumidas as questões associadas a este grupo.

Tabela 15 - Ergocheck - Grupo 3

3. Informação, atuadores e dispositivos operacionais	Sim	Não	N/A
3.1 Os atuadores e ferramentas são adequados para as operações e são usados de forma intuitiva e de acordo com os requisitos?			
3.2 Posturas desfavoráveis da cabeça e do olho ou movimentos são evitados durante a operação devido à posição do monitor ou painéis de controlo?			
3.3 A informação presente nos painéis, monitores ou instruções é passível de uso, lógica e limitada ao que é necessário?			

Á semelhança dos grupos anteriores, todos os postos foram avaliados segundo os critérios do grupo 3, e os resultados encontram-se descritos na Tabela 16.

Tabela 16 - Resultados obtidos Grupo 3

Posto/Questão	3.1	3.2	3.3
1	Sim	Sim	Sim
2	Sim	N/A	Sim
3	Sim	Sim	Sim
4	Sim	N/A	Sim
5	Sim	Sim	Sim
6	Sim	Sim	Sim
7	Sim	N/A	Sim
8	Sim	N/A	Sim
9	Sim	N/A	Sim
10	Sim	Sim	Sim

Por fim no grupo 4, é a vez de ser avaliado o esforço físico. Para tal são preenchidas os 3 grupos (A, B,C) da Tabela 17.

Tabela 17 Ergocheck - Grupo 4

A. Existe manuseamento de cargas ≥ 3 kg (manusear, transportar, levantar; ambos os lados, esquerdo e direito, são acumuláveis)?					Sim/Não	
Se sim: inserir o número máximo de carga acumulável por turno						
Cargas simples (kg)	Número por turno (nº/turno)					
	< 25	25 - 125	126 - 250	> 250		
3 - 5 (uma/ duas mãos)						
> 5 - 10 (apenas duas mãos)						
> 10 - 15 (apenas duas mãos)						
>15						

B. São exercidas forças ≥ 30 N (mão/ braço/ corpo) (action forces, empurrar e puxar; ambos os lados, esquerdo e direito, são acumuláveis)?					Sim/Não	
Se sim: inserir o número máximo de carga acumulável por turno						
Nível de Força (N)	Número por turno (nº/turno)					
	< 25	25 - 125	126 - 250	> 250		
30 - 50						
> 50 - 100						
> 100 - 150						
> 150						

C. Tarefas repetitivas dos membros superiores: existem sequências > 10 ações reais/ minuto (apenas o membro mais requisitado)?					Sim/Não	
Se sim: inserir o nível máximo de força para o número acumulado de ações reais por minuto						
Nível de Força (N)	Número de ações reais dinâmicas por minuto [nº/min.]					
	10< n \leq 20	20< n \leq 25	25< n \leq 30	n >30		
0-5						
>5-20						
>20-30						
> 30						

No caso de algumas destas perguntas tiver como resposta “Sim”, é necessário fazer uma avaliação “IGEL”. O IGEL é um *software* da Bosch para validar a carga de trabalho dos operadores. Na sua interface são apresentados todos os métodos de avaliação disponíveis. Cada um deles é mais apropriado para um determinado tipo de situações. De uma forma genérica a Tabela 18, descreve o método a utilizar para avaliar diferentes situações.

Tabela 18 - Resumo dos métodos IGEL

Situações	Tarefa única	Várias tarefas
Manusear cargas ≥ 3 kg com uma mão	<i>EN1005-2</i>	<i>EAWS</i>
Manusear cargas ≥ 3 kg com duas mãos	<i>NIOSH</i>	<i>NIOSH</i>
Forças mão/ dedos ≥ 30 N (uma ou duas mãos)	<i>Schultetus</i>	<i>EAWS</i>
Forças braço/ mão ≥ 30 N (uma ou duas mãos)	<i>Schultetus</i>	<i>EAWS</i>
Puxar e empurrar carros ou <i>trolleys</i>	<i>ISO11228-2</i>	<i>EAWS</i>
Transportar uma carga ≥ 3 kg (> 5 m)	<i>ISO11228-1</i>	<i>EAWS</i>
Segurar uma carga ≥ 3 kg (> 5 s)	<i>EAWS</i>	<i>EAWS</i>
Tarefas repetitivas dos membros superiores		<i>EAWS</i>

Chegado ao grupo 4, apenas o posto 10 careceu de uma análise IGEL, devido à incerteza da presença de um desvio na remoção dos *inserts*.

Utilizou-se um dinamómetro (Figura 82) para aferir a força necessária para desencaixar um *insert*, tendo-se obtido o valor de 100 N.



Figura 82 - Medição da força exercida na remoção dos *inserts*

Utilizou-se o método *Schultetus* para avaliar o *stress* físico causado pela tarefa ao longo de um turno de trabalho. Na Figura 83, é apresentado o resultado da análise.

The screenshot shows the Schultetus software interface. It is divided into two main sections: 'Task data' and 'Task analysis'.

Task data section:

- Time:** Duration of the task is 8 Hours.
- Reference force / torque:** Upper extremities are set to 'Arm system'. Actual-Action Force is 89 N.
- Task:** Force (to be) exerted is 'dynamic'. Muscular work is 'heavy dynamic'. Number of forces (to be) exerted is 23 per hour.
- Operator oriented data:** Age is 30 Years, Fitness level & skills is 1.0, and Gender is 'Females and Males'.

Task analysis section:

- Risk level:** Low risk - recommended, no actions necessary. The risk of illness or injury is negligible or at an acceptable level for all operators in question.
- Maximum recommended limit value:** 257 N.
- A 'Detailed information' link is available.

At the bottom of the interface, there are buttons for 'Calculate', 'Print', and 'Save'.

Figura 83 - Avaliação IGEL - *Schultetus*

Tal como verificado na Figura 83, pelo sinal verde no fundo da página esta ação não apresenta risco para o operador.

Sempre que é instalada uma nova linha, ou sempre que uma linha sofre alterações é necessário realizar uma nova análise ergonómica. Após uma análise ergonómica cada posto é etiquetado com uma etiqueta como a ilustrada na Figura 84 .

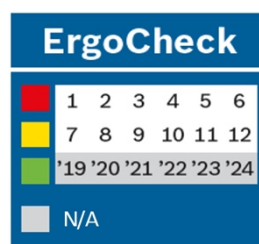


Figura 84 - Etiqueta de *Ergocheck*

Na etiqueta é colocado o estado do posto:

- Verde se não apresentar qualquer desvio
- Amarelo se apresentar um desvio
- Vermelho se apresentar mais do que um desvio

E é também colocada a data limite da próxima revisão se até lá não houver alterações:

- 3 anos se o posto estiver a verde
- 2 anos se o posto estiver a amarelo
- 1 ano se o posto estiver a vermelho

Após a análise realizada, concluiu-se que todos os postos à exceção do posto 1, apresentam um desvio ergonómico associado ao *Stand Walking Criteria*, o que significa que o seu estado corresponde à cor amarela, e que a data limite até a próxima análise, será em 2022.

Este tipo de avaliação (*Stand Walking Criteria*) é uma análise obrigatória que foi instalada recente na fábrica, pelo que ainda não existem muitas soluções para a resolver.

Existem algumas alternativas como, colocação de cadeiras ou encostos, que por vezes não são uma boa escolha porque atrapalham aquando a deslocação ou porque a tarefa não o permite.

Estão também a ser avaliados o uso de tapetes ergonómicos que estimulam a circulação sanguínea e compensam o cansaço derivado do tempo de permanência em pé.

3.3.4.2. *Lean Line Design*

Após realizadas as análises de processo é chegada a hora de organizar *um Lean Line Design* para definir o layout mais favorável aos requisitos pretendidos.

3.3.4.2.1. *Preparação do Lean Line Design*

Para a preparação do workshop de *Lean Line Design* é necessário a recolha e preparação atempada de alguns dados.

É necessário saber as quantidades de vendas previstas. Para tal reuniu-se as quantidades de encomendas realizadas até ao momento (julho), e as previstas até ao final do ano, e sintetizou-se a informação na Tabela 19.

Tabela 19 – Quantidades de unidades encomendadas (k unidades) em 2020

Diver.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Indoor	8,3	11,8	12,6	20,2	19,3	9,7	14,1	10,2	4,8	4,5	4,7	5,6
Outdoor	2,7	2,5	2,3	4,3	5,9	5,8	4,9	6,8	3,9	3,4	3,2	3,9
Total	11,1	14,2	14,9	24,5	25,2	15,5	19,0	17,0	8,7	8,0	7,9	9,5

Organizou-se também a informação no gráfico da Figura 85.

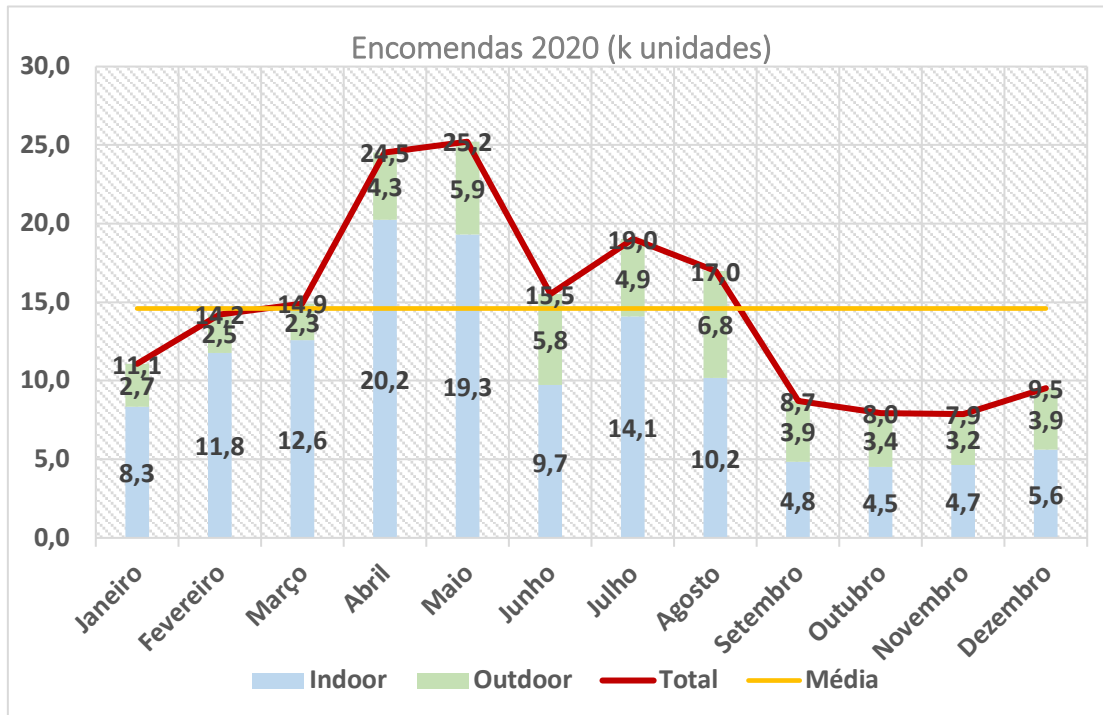


Figura 85 - Gráfico de quantidades de unidades encomendadas em 2020

Após a análise das quantidades verifica-se uma média de 15 000 peças por mês, que está em linha de conta com a última simulação realizada para a obtenção do TKT (*Customer tack time*). Contudo verificou-se um crescimento enorme de encomendas durante o período de abril a julho, e logo de seguida um decréscimo brusco até ao final do ano. Por se tratar de um produto novo na fábrica não conseguimos ainda perceber se existe um fator de sazonalidade que motive este comportamento. Contudo, sabemos que o aumento de quantidades se deveu também ao atrasado das entregas que ficarem pendentes devido à paragem forçada devido à pandemia de *Covid 19*. Relacionado com a pandemia, uma possível justificação para o decréscimo das vendas pode dever-se a desaceleração da economia. Como estes fatores externos são difíceis de controlar e de muitas prever. Em equipa de concordamos em preparar um *Lean Line Design* para 20 000 peças por mês.

Deste modo:

$$TKT = \frac{22,75 * 3600}{910} * 2 = 180,18 [s]$$

Com um OEE já a rondar os 90%:

$$TCT = 180,18 * 0,9 = 162,16 [s]$$

Após esta análise verificaram-se os equipamentos em linha, com o intuito de perceber se algum tinha excesso de capacidade e poderia ser retirado. Não se verificou a existência de nenhum equipamento nestas condições, até porque todos eles estão muito próximos do TCT.

O passo seguinte é trabalhar o layout das linhas e criar possíveis cenários. Estes cenários foram criados e apresentados durante o workshop, de modo a promover a discussão da equipa e a criação de novas e melhores soluções.

3.3.4.2.2. Workshop

O *workshop* foi iniciado com uma breve apresentação da situação atual das duas linhas, seguido das oportunidades de melhoria já identificadas e dos requisitos necessários para o novo layout das linhas.

Como situação atual temos:

- 2 linhas de produção ocupando 104 m²
- Cada linha com 23 m² no seu interior
- Abastecimento total por parte da PoUP.

Como requisitos listados tem-se:

- Diminuir espaço ocupado de chão de fábrica
- Diminuir o espaço entre postos
- Diminuir o alcance dos materiais, utilizando roletos e calhas de dispensação
- Promover o abastecimento direto pelo *milk run* e diminuir o *load* atribuído à *PoUP*
Esta premissa foi avaliada previamente com a análise de *BoM* mencionada anteriormente, tendo-se chegado à conclusão de que todos os materiais que não sofriam *setup* dos postos 2,4,9 e 10, eram abastecidos por *milk run*. Para além desses, todos os materiais que sofriam *setup*, mas que eram abastecidos a granel e poderiam ser abastecidos em calhas de dispensação foram também considerados para abastecimento por *milk run*. Esta última decisão, implica que exista uma ação de 5S muito clara na identificação dos materiais por diversidade, de modo a eliminar o risco de troca de materiais. A Figura 86 esquematiza, por posto, na primeira linha o número de materiais utilizados em cada uma das variantes (a azul da variante indoor, e a verde da variante outdoor), na segunda linha o número de materiais que

não sofrem *set up* e ainda na terceira linha o número de materiais que podem ser abastecidos em calhas de dispensação.

	Posto 1	Posto 2	Posto 4	Posto 7	Posto 9	Posto 10
Nº materiais que fazem Setup:	15 15	4 3	4 4	0 7	3 9	8 14
Nº materiais que não fazem Setup:	3	6	6	2	1	6
Nº materiais que podem ser abastecidos por calhas:	0	3	4	0	6	5

Figura 86 – Resultado da análise das BoM das duas variantes.

- Reduzir supermercados
Com o abastecimento dos materiais diretamente ao posto deixam de ser necessários tantos supermercados. Só é necessário garantir que o posto de trabalho permite acondicionar a quantidade necessária para que não exista rutura de *stock* entre as voltas do *milk run*.

Com estas premissas, foram apresentadas 3 propostas, Figura 87, Figura 88, Figura 89.

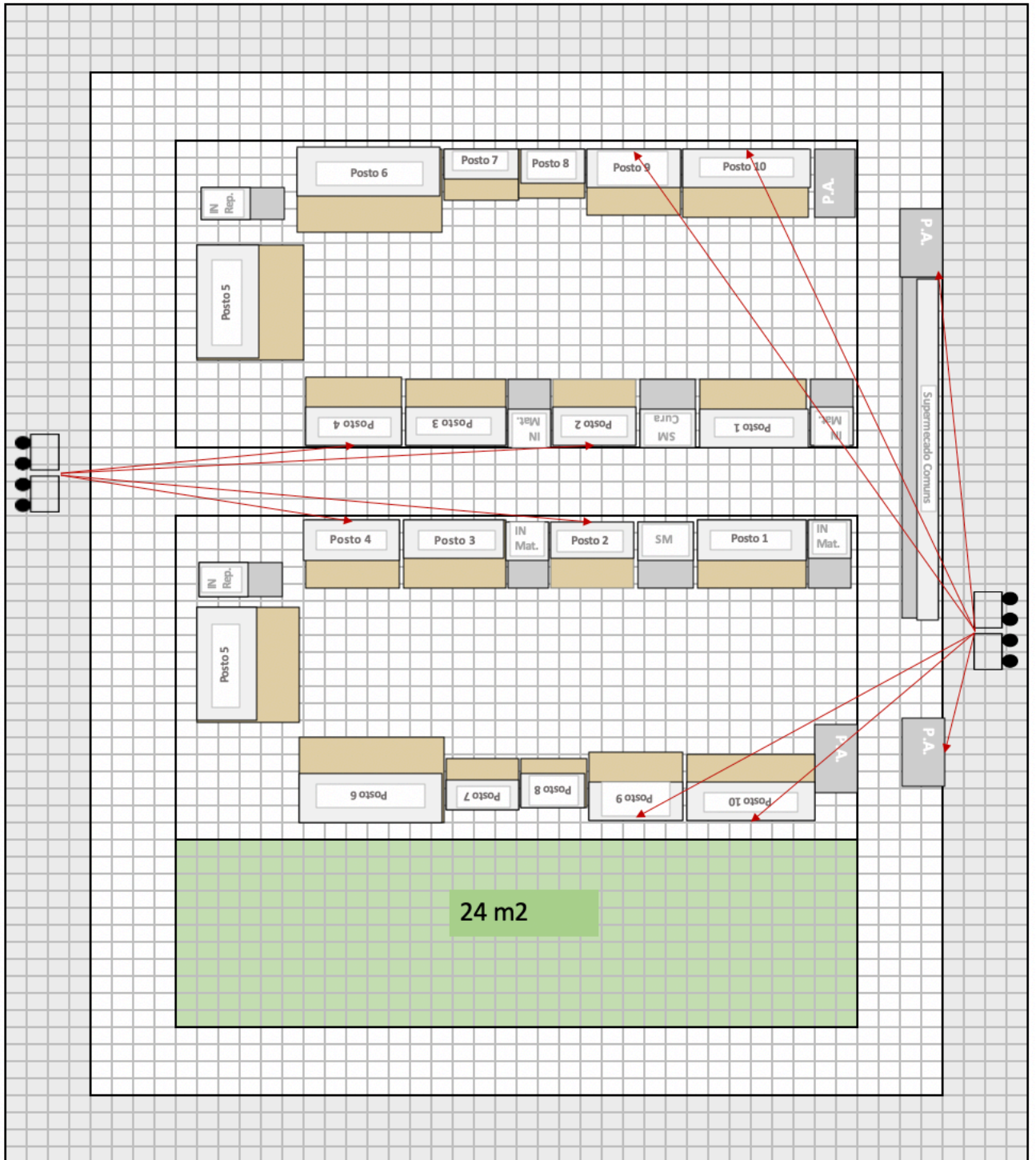


Figura 87 - Proposta 1 de *relay* layout

A proposta 1 apresenta uma excelente redução da área ocupada do chão de fábrica, 24 m². Os postos que devem abastecidos ao *milk run* estão acessíveis, contudo ainda um pouco distantes. A área dentro da linha foi reduzida em cerca de 7 m².

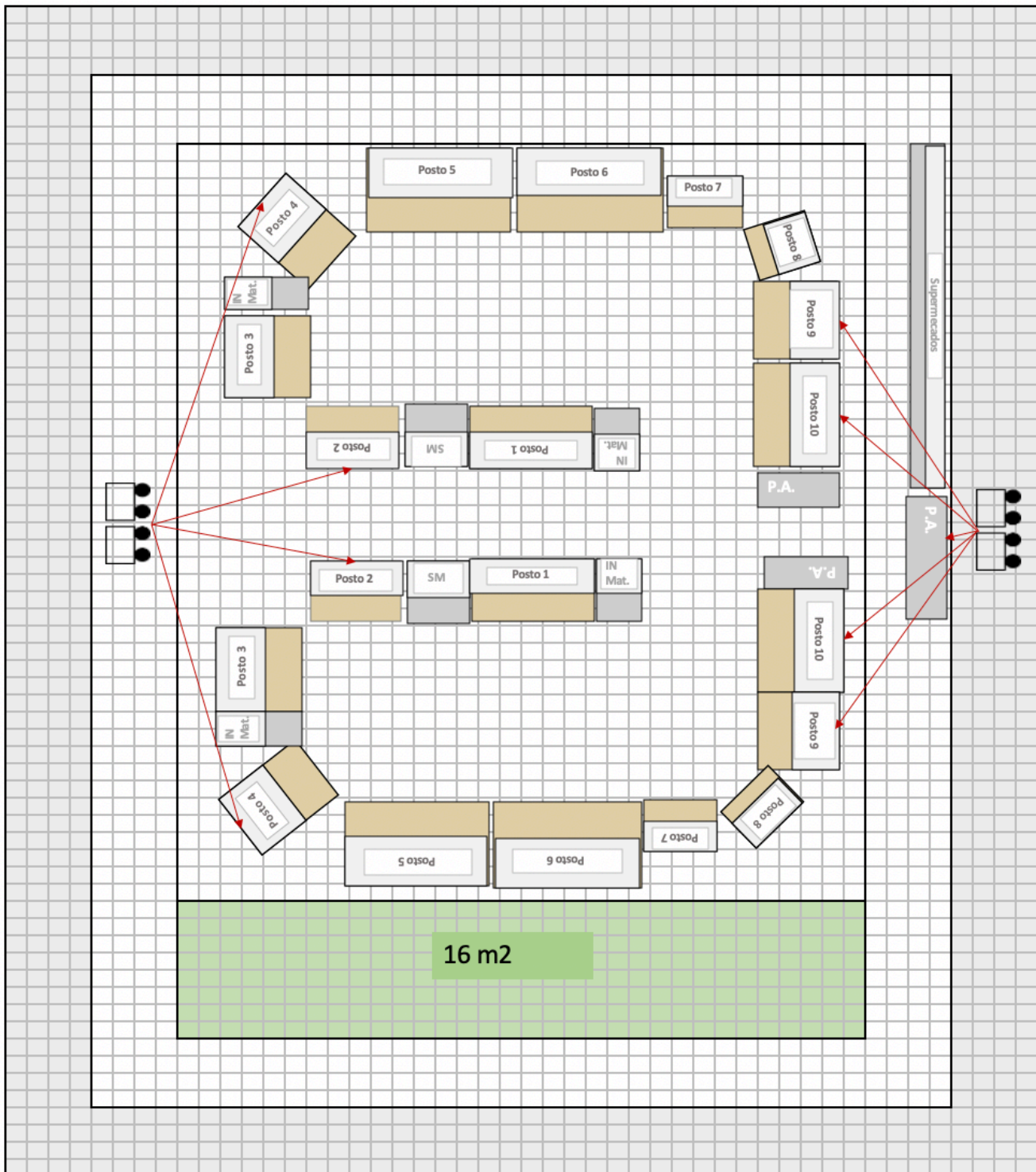


Figura 88 - Proposta 2 de *relayout*

A proposta 2 apresenta também uma boa redução da área ocupada do chão de fábrica, 16m². Os postos a serem abastecidos pelo *milk run*, estão próximos e acessíveis. Um ponto favorável neste layout é a redução de um dos pontos de produto acabado (P.A.) passando a existir apenas 1. A área dentro da linha também foi reduzida em cerca de 7 m².

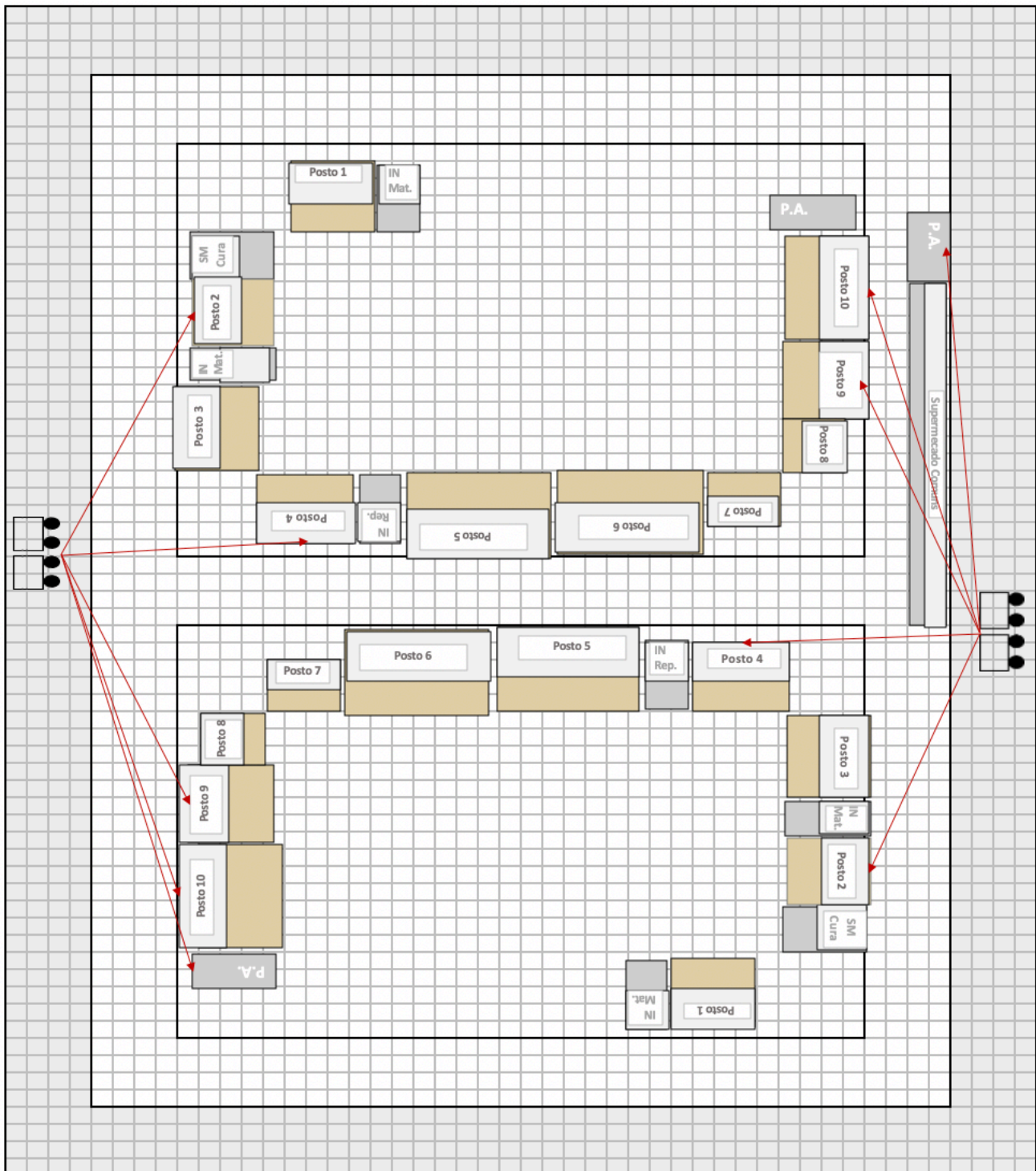


Figura 89 - Proposta 3 de *layout*

A proposta 3 contempla todos os postos a serem abastecidos pelo *milk run* em paralelo com o seu corredor de transporte. Em relação à área ocupada de chão de fábrica, mantém-se inalterada. No que diz respeito à área dentro da linha foi reduzida em cerca de 3 m².

Analisadas as 3 propostas construiu-se uma matriz de decisão, representada na Tabela 20. Cada uma das características foi avaliada numa escala de “-“ e “+” consoante representasse uma má ou uma boa solução respetivamente.

No final fez-se a contabilização do número de “+” e concluiu-se que a proposta 2 era aquela que apresentava mais vantagens num cenário global.

Tabela 20 - Matriz de decisão

Características	Proposta 1	Proposta 2	Proposta 3
Condições favoráveis ao abastecimento pelo <i>Milk Run</i>	-	++	++
Área de chão de fábrica libertada	++ (redução de 24 m ²)	+ (redução de 16 m ²)	- (não houve)
Área dentro da linha	+ (13,5 m ²)	+ (13,1 m ²)	- (20 m ²)
Resultado	3+	4+	2+

Para uma melhor perceção das alterações que serão feitas ao bordo de linha do posto 2,4,9,e 10 atente-se no exemplo do posto 10, onde na Figura 90 encontra-se o estado atual e na Figura 91 o estado futuro.



Figura 90 - Bordo de linha atual do posto 10

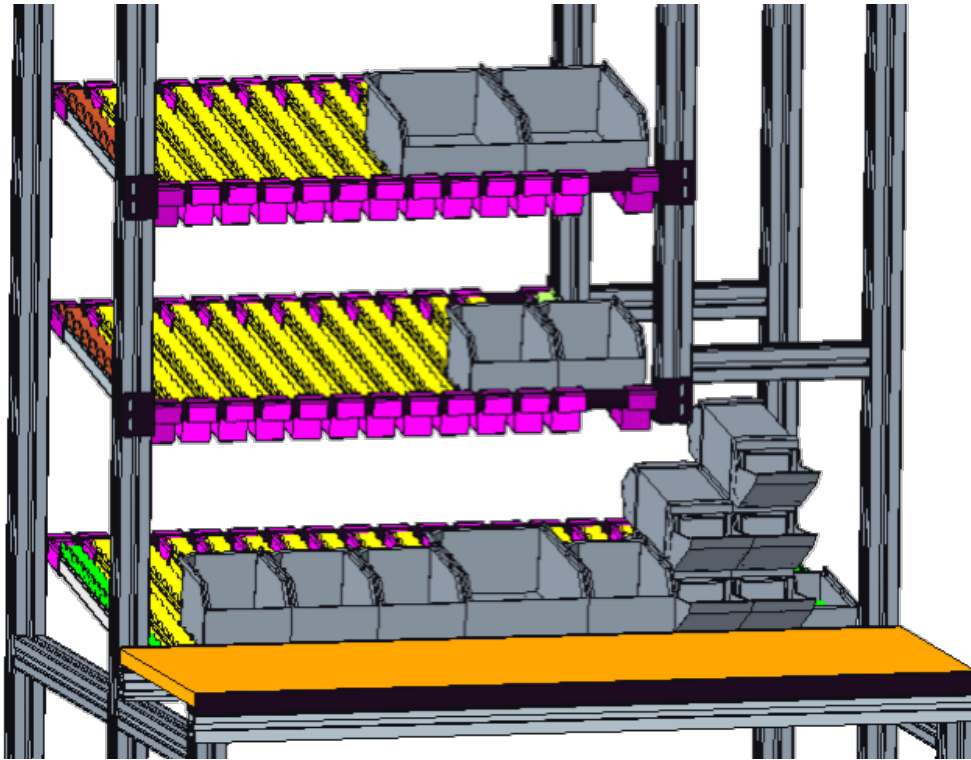


Figura 91 - Bordo de linha futuro do posto 10

4. RESULTADOS OBTIDOS

Após todas as melhorias identificadas e algumas delas já implementadas, são vários os resultados obtidos. Mantendo a distinção entre melhoria contínua e industrialização, podemos de seguida percorrer os resultados do trabalho realizado até ao momento.

4.1. Na área da melhoria contínua

A melhoria continua fez parte de todo o trabalho, e mesmo destacando todas as metodologias inerentes, é de salientar que a sua filosofia é a maior promotora do germinar de melhorias. Seguem-se os resultados obtidos desta metodologia.

O balanceamento da linha de produção

As três iterações do estudo de tempos e métodos permitiram que os *standards* implementados na linha trouxessem um maior equilíbrio à produção. Para cada iteração calculou-se a diferença percentual que cada operador apresentava face ao *bottleneck*.

Relembre-se que na:

- Iteração I - tínhamos 14 postos em linha, e 8 operadores necessários para o atingimento da capacidade máxima de 20 peças por hora
- Iteração II – após as melhorias realizadas pela equipa (junção dos dois primeiros postos num só, eliminação do teste posto sujidade e teste do posto 9), a linha contava com 12 postos e eram necessários 7 operadores para o atingimento da mesma capacidade.
- Iteração III – após o novo conceito de testes, a linha já só tinha 10 postos de trabalho, e a capacidade máxima da linha era de 23 peças por hora, que podiam ser atingidas com apenas 6 operadores na diversidade *indoor*, e os mesmos 7 na diversidade *outdoor*.

Para cada uma das iterações identificou-se o operador *bottleneck* e calculou-se a diferença percentual - desbalanceamento, dos restantes usando a seguinte fórmula:

$$\text{Desbalanceamento } Op_i = \frac{VT Op_{bottleneck} - VT Op_i}{VT Op_{bottleneck}} * 100$$

Organizou-se a informação no gráfico da Figura 92.

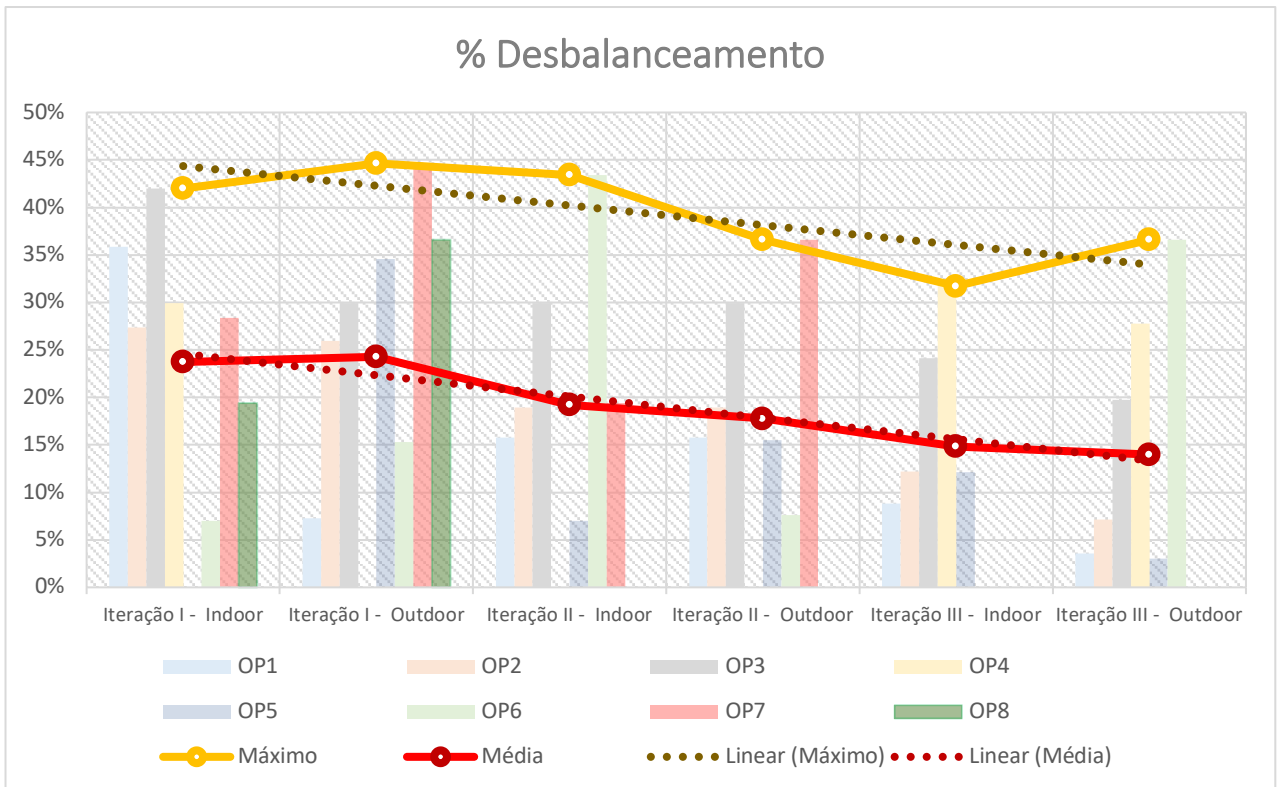


Figura 92 - % Desbalanceamento nas diferentes iterações

Analisando o gráfico verifica-se que para ambas a diversidade a linha de tendência acompanha positivamente a redução de operadores e o equilíbrio da distribuição da carga de trabalho nos operadores.

A redução do custo de mão de obra do produto

O custo de mão de obra de um produto é dado pela expressão:

$$\text{Custo mão de obra} = VT (\text{Bottleneck}) * nr \text{ de operadores} * \text{custo horário}$$

Com um custo horário de 25 € tem-se um custo inicial por peça de:

$$\text{Custo mão de obra} = \frac{179,2}{3600} * 8 * 25 = 9,95 \text{ €}$$

Após as melhorias implementadas obtém-se:

Para a variante indoor uma redução de 34,5%:

$$\text{Custo mão de obra} = \frac{156,5}{3600} * 6 * 25 = 6,52 \text{ €}$$

Para a variante outdoor uma redução de 23,6%:

$$\text{Custo mão de obra} = \frac{156,5}{3600} * 6 * 25 = 7,60 \text{ €}$$

Para a previsão mensal de vendas de 20 000 peças, onde 60% são da variante *indoor*, e 40% são da variante *outdoor*, obtém-se uma poupança de:

$$20\ 000 * 0,6 * (9,95 - 6,52) + 20\ 000 * 0,4 * (9,95 - 7,6) = 59\ 960 \frac{\text{€}}{\text{mês}}$$

Se quisermos extrapolar uma poupança ano:

$$59\ 960 * 12 = 719\ 520 \frac{\text{€}}{\text{ano}}$$

Para um cenário de previsão mensal de vendas de 15 000, onde 60% são da variante *indoor*, e 40% são da variante *outdoor*, obtém-se uma poupança de:

$$15\ 000 * 0,6 * (9,95 - 6,52) + 15\ 000 * 0,4 * (9,95 - 7,6) = 44\ 970 \text{ € /mês}$$

Se quisermos extrapolar uma poupança ano:

$$44\ 970 * 12 = 539\ 640 \frac{\text{€}}{\text{ano}}$$

A redução da área de chão de fábrica

Com as ações de melhoria implementadas e com a realização do *Lean Line Design* reduziram-se 16 m² de área de chão de fábrica.

Com o custo mensal por m² de 2,7 € obtemos uma poupança de:

$$16 * 2,7 * 12 = 518,4 \frac{\text{€}}{\text{ano}}$$

Embora este ganho não seja de elevado valor, é de todo vantajoso para o negócio a disponibilidade de área fabril, de modo a tornar a fábrica disponível para abarcar novos projetos.

Redução da rejeição

Vimos anteriormente que a rejeição nos testes de CAT passou da ordem dos 8,5% para cerca de 2%.

Redução do tempo de PoUP

Com o aumento do abastecimento diretamente à linha pelo milkrun, o tempo de PouP foi reduzido em 60%.

Sabendo que as duas linhas de produção tinham um recurso logístico dedicado, e que o seu custo horário é de 13 €, obtemos a seguinte poupança:

$$1 \text{ operador} * 3 \text{ turnos} * 7,75 \text{ h} * 22 \text{ dias} * 0,6 \text{ ocupação} * 13 \text{ euros} = 2659,8 \frac{\text{€}}{\text{mês}}$$

Extrapolando para a poupança anual:

$$2659,8 * 12 = 31\,917,6 \frac{\text{€}}{\text{ano}}$$

Redução das *bubbles bags*

A alteração das caixas coletivas permite não só reduzir uma tarefa sem valor acrescentado, mas também eliminar o consumo de plástico que entra em linha de conta com a estratégia sustentável da empresa.

Requisitos logísticos

De uma forma não quantitativa, mas sim qualitativa, é de salientar as alterações identificadas e propostas tanto a nível dos fornecedores.

Ergonomia

As análises ergonómicas, não são apenas um *standard* que é obrigatório de ser realizado. É algo muito importante para a saúde dos operadores e que por isso deve ser uma área de grande foco. Sem as condições de trabalho necessárias criadas, não é possível manter os operadores, focados, e motivados no seu trabalho. E sem isso comprometemos todo o restante trabalho.

Neste caso de estudo, a análise ergonómica foi realizada, e é um ótimo sinal “apenas” o *Stand Walking Criteria*, apresentar um desvio.

4.2. Na área da industrialização

A área de industrialização tomou um papel diferente do habitual neste caso de estudo. É expectável que esta área anteceda a produção, e que nela sejam identificados todos os pontos de melhoria que possam ser realizados e assegurados ao nível do *design*, para que

mais tarde não tenha de ser salvaguardado apenas pelo processo, que é muitas vezes dependente do operador.

Como se tratou de uma transferência, primeiramente tivemos a necessidade de produzir, e só depois conseguimos olhar para o processo da industrialização com o objetivo de o melhorar ao nível que era possível. De seguida estão enumerados os resultados obtidos nesta área.

Atualização da FMEA e redução de RPN dos modos de falha

A elaboração da FMEA, é uma atividade que acompanha a industrialização. Neste caso de estudo a FMEA foi transferida e à medida que as alterações foram realizadas esta foi atualizada. Por questões de confidencialidade a FMEA, não pode ser documentada neste documento, contudo, podem ser partilhados os modos de falha que viram reduzidos os seus RPN por via das ações realizadas.

1. Eliminação do tempo de cura do IR *Holder* – Esta alteração permitiu eliminar o modo de falha relacionado com a possibilidade de o operador utilizar uma peça que não estivesse curada.
2. Robustez dos testes finais – A melhoria no processo dos testes finais permitiu a redução do parâmetro da probabilidade do cálculo de RPN, reduzindo assim o seu valor.
3. Carregamento de *Firmware* no posto de embalagem – A passagem do carregamento de *firmaware* para o posto de embalagem diminuiu a probabilidade de existir unidades com etiquetas do produto e de embalagem trocadas.
4. O sistema de contagem da embalagem – A implementação do método dos 4 olhos, permitiu melhorar o parâmetro de deteção, reduzindo também o RPN.

Atualização do DFMEA

Esta ferramenta é da responsabilidade da equipa de R&D, mas a sua atualização só aconteceu graças às melhorias que foram despoletadas pela equipa da fábrica, como a alteração do processo de colagem e embalagem.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

5.1. Conclusões

Fazendo uma retrospectiva do trabalho realizado é de salientar os bons resultados obtidos. Segundo o autor, a excelência pode ser definida como a capacidade de disponibilizar ao cliente um produto com elevada qualidade, com o menor custo possível, do momento em que ele é necessário. É possível afirmar que a excelência assenta em 3 pilares: qualidade, custo, de entrega.

No que diz respeito à **qualidade** foram inúmeras as iterações realizadas para aumentar a o nível de qualidade deste produto. A FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) foi realizada, embora que não pudesse ser partilhada neste documento. Desde o estado inicial até ao momento foram vários os modos de falha onde foi possível reduzir os RPN, quer por via do aumento da deteção, quer por via da diminuição da probabilidade de ocorrência. As falhas de CAT seguem a tendência positiva, apresentada anteriormente.

Ao nível do **custo**, os resultados foram muito satisfatórios. Desde o início do projeto, reduziram-se 4 estações de trabalho, passaram a ser apenas necessários 6 operadores para atingir a capacidade máxima que deixou ser 20 e passou a ser de 23 peças por hora. Apenas esta redução representa para a fábrica uma poupança na ordem do meio milhão de euros. Ao nível dos recursos logísticos as intervenções realizadas, significam uma poupança de cerca de trinta mil euros.

Ao nível das **entregas**, conseguimos responder ao mercado mesmo com todas as adversidades no percurso. Conseguimos aumentar a capacidade máxima para 2*23 peças por hora e fizemo-lo com menos recursos.

Segundo a orientadora da empresa, Engenheira Anabela Neves:

“Com este projeto conseguiu-se implementar de uma forma estruturada diferentes melhorias garantindo o elevado padrão de qualidade, aumentando a satisfação do cliente com o aumento substancial das quantidades produzidas e assim melhorando os nossos índices de competitividade. Todos os ganhos conseguidos oferecem à divisão de negócios uma confiança na otimização de processos e redução de custos, abrindo assim a possibilidade de transferência de outros produtos num futuro próximo.

Gostaria de salientar a forma como se definiram e desenvolveram todas as atividades mesmo durante o período de isolamento profilático a que a empresa foi submetida. O processo de otimização não está ainda terminado, tendo já sido definido um conjunto de melhorias a implementar no próximo ciclo de melhoria contínua.

A Juliana mostra uma atitude de comprometimento e dedicação com a organização, sendo a principal promotora de melhoria contínua nesta área.”

5.2.Limitações e trabalho Futuro

A pandemia de *Covid 19* levou ao atraso considerável deste projeto. Deveria ter sido iniciado após o workshop de *system cip*, e contou com mais de um mês de atraso.

No início de julho, realizou-se já o 3º *workshop* de *system cip*, onde este projeto foi apresentado novamente, com todas as melhorias já identificadas e realizadas. Continuou a ser viável a sua concretização pelo que foi considerado durante o próximo ciclo.

Era uma ambição que o *relayout* da linha ficasse pronto até à entrega deste trabalho, mas tal não foi possível. O *workshop* de *Lean Line Design* só foi realizado na semana 28, e a concretização do *relayout* vai acontecer no início de agosto.

O caminho foi longo até aqui, e o esforço aplicado neste projeto já começa a dar frutos. Ainda assim, há muito trabalho a continuar a ser feito, sempre o objetivo de melhorar continuamente e eliminar os desperdícios.

Como trabalho futuro, após o *relayout*, é necessário que sejam feitas sessões de *handover* para mitigar possíveis desvios, seguindo a filosofia do ciclo PDCA.

Existe ainda uma grande oportunidade de aumento de capacidade se conseguirmos baixar os tempos de teste de carregamento de *firmware* e de teste funcional do PCBA.

Paralelamente a este projeto existe uma equipa que está a trabalhar da digitalização dos meios de apoio à produção, nomeadamente da digitalização das instruções de trabalho. Hoje em dia elas são elaboradas em *word*, e são disponibilizadas em papel nas linhas. A ambição é não só as tornar digitais, mas sim mais eficazes tanto processo de formação como durante a produção normal. É um objetivo a possibilidade de integração de vídeos e de alguma inteligência artificial de forma a garantir específicos *steps* do processo.

REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS

- [1] A. P. M. P. e. Amaro, “Roadmap para implementar o lean thinking,” 2008.
- [2] D. T. J. D. R. James P. Womack, *The Machine That Changed the World*, 2007.
- [3] L. S. B. Farinha, “Lean manufacturing – Uma História de Sucesso em Portugal,” 2015.
- [4] “Kanbanize,” [Online]. Available: <https://kanbanize.com/pt/gestao-lean/valor-desperdicio/o-que-e-valor-lean>.
- [5] S. Seibel. [Online].
- [6] D. Gray. [Online]. Available: <https://www.flickr.com/photos/davegray/6354044779/in/photostream/>.
- [7] “Creatice Safety Supply,” [Online]. Available: <https://www.creativesafetysupply.com/glossary/pdca-cycle/>.
- [8] R. Martins, 2018.
- [9] E. M. d. Silva. [Online]. Available: <https://qualityway.wordpress.com/2017/05/04/a3-passo-a-passo-com-exemplos-reais-por-edson-miranda-da-silva/>.
- [10] S. Ferreira, “Qualitin,” [Online]. Available: <https://www.qualitin.com.br/blog/voce-conhece-a-tecnica-dos-5-porques-descubra-agora-o-que-e-e-como-utiliza-la/>.
- [11] A. Serafim, “Portal da Gestão,” 13 Março 2013. [Online].
- [12] “Meta Consultoria,” [Online].
- [13] “MERO,” [Online]. Available: <https://www.mereo.com/pt/blog/metodologia-5s-saiba-tudo-sobre-esse-conceito>.
- [14] B. W. Jan Dul, *Ergonomia Prática*.
- [15] P. R. Batalha, “A importância da antropometria para a ergonomia”.
- [16] L. G. d. Costa, “ANÁLISE ERGONÓMICA DE POSTOS DE TRABALHO,” Minho .
- [17] [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/ergonomiamovimentacaocargas/3-ergonomia-postura-de-pe>.
- [18] H. H. PINHEIRO, “Uso do Critério de NIOSH para determinação do Limite de Peso Recomendado em uma empresa de Pré-moldados,” 2013.
- [19] J. Ramos, “SafeMed,” [Online].
- [20] J. M. S. D. Santos, “Desenvolvimento de um guião se selação de métodos de para análise de risco de lesões muculo esqueleticas relacionadas com o trabalho.”.
- [21] V. M. D. Santos, “FM2S,” [Online].
- [22] M. Ghosh, “Process Excellence Network,” [Online].

- [23] COLET, "LAYOUT INDUSTRIAL: Análise para MAIOR EFICIÊNCIA e PRODUTIVIDADE," [Online]. Available: <https://coletsistemas.com.br/layout-industrial-analise-para-maior-eficiencia-e-productividade/>.
- [24] V. L. M. Gaspar, "Análise de Tempos e Métodos numa Linha de Produção de Autocarros," Coimbra , 2016.
- [25] K. MOURA, "Engenharia 360," [Online].
- [26] "Bosch," [Online]. Available: <https://www.bosch.pt/noticias-e-historias/1886-1905-da-primeira-oficina-a-fabrica/>.
- [27] "Bosch Bulding Technologies," [Online]. Available: <https://www.boschbuildingtechnologies.com/xc/en/about-us/>.
- [28] N. V. R. N. Chethan Kumar C S, "IMPLEMENTATION OF KANBAN SYSTEM TO IMPROVE THE PRODUCTION EFFICIENCY IN SMALL SCALE INDUSTRIES".
- [29] ConceptDraw, "<https://www.conceptdraw.com/How-To-Guide/value-stream-mapping-for-the-lean-office/>," [Online].
- [30] R. Peralta. [Online]. Available: <https://raperalta.wordpress.com/2009/01/11/antropometria/>.
- [31] R. Assis, "Balanceamento de uma Linha de Produção," 2017.
- [32] "Página facebook - Bosch Portugal," [Online]. Available: <https://www.facebook.com/GrupoBoschPortugal/photos/em-1921-robert-bosch-disse-tenho-agido-sempre-com-base-no-princ%C3%ADpio-de-que-é-mel/178478819019552/>.
- [33] "RELOWISA," [Online]. Available: https://www.ijcrr.com/uploads/1918_pdf.pdf.

ANEXOS
