



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Sofia Pinto Sampaio

Integração de Práticas *Lean* na Indústria de
Produção de Pneus: Estudo de Métodos e Tempos

outubro de 2024



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Sofia Pinto Sampaio

Integração de Práticas *Lean* na Indústria de Produção de Pneus: Estudo de Métodos e Tempos

Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professora Doutora Celina Maria Godinho da Silva Pinto Leão
Professora Doutora Susana Raquel Pinto da Costa

outubro de 2024

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização da presente dissertação.

Às minhas orientadoras, Professora Doutora Celina Maria Godinho da Silva Pinto Leão e Professora Doutora Susana Raquel Pinto da Costa, pelo acompanhamento, disponibilidade e todo o apoio ao longo da realização da dissertação.

À equipa da Continental Mabor, em especial ao Engenheiro Nuno Rodrigues, pela ajuda incansável e por todos os ensinamentos que me passou ao longo dos últimos meses, ao Engenheiro Paulo Figueiredo, pelo apoio constante, e aos operadores da Preparação a Quente. Agradeço, também, a todos os colegas da Direção de Engenharia Industrial por me terem acolhido tão bem na equipa e ajudado e motivado sempre que precisei.

Aos meus pais e padrinhos, pelo amor incondicional e por acreditarem sempre em mim, desde os meus primeiros passos.

Ao meus amigos, por estarem sempre disponíveis nos melhores e piores momentos e por tornarem o meu percurso académico tão bonito. Guardarei para sempre as nossas memórias numa caixinha especial dentro do meu coração.

Ao Mateus, o pilar essencial na minha vida, por todo o carinho, amor e pelo apoio incondicional em todos os momentos.

A todos, o meu profundo agradecimento.

Veni, vidi, vici.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, Guimarães, setembro de 2024

Ana Sofia Pinto Sampaio

Integração de Práticas *Lean* na Indústria de Produção de Pneus: Estudo de Métodos e Tempos

RESUMO

O presente projeto foi realizado na Continental Mabor e aborda a integração de práticas *Lean* na indústria de produção de pneus, com foco na análise de métodos e tempos de trabalho para aumentar a eficiência do processo produtivo. O problema identificado consiste na presença de ineficiências no processo de produção, nomeadamente no tempo não produtivo elevado no setor de aplicação de cunha em talão (Apex), resultando em perdas significativas. Neste sentido, o presente projeto pretende estudar e reduzir essas mesmas ineficiências, propondo melhorias no método de trabalho e implementando ferramentas *Lean*.

O objetivo do estudo é reduzir as ineficiências identificadas através de melhorias no método de trabalho e da implementação de ferramentas Lean, como o SMED (*Single Minute Exchange of Die*), a introdução de uma ferramenta de simulação e o estudo da viabilidade de novas máquinas automáticas para aplicação de cunha em talão. A abordagem metodológica inclui a aplicação dos princípios do *Lean Manufacturing* e a integração de práticas ergonómicas, garantindo um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente.

Este estudo é importante porque a otimização dos processos produtivos na indústria de pneus contribui para a melhoria da eficiência operacional, redução de desperdícios e, conseqüentemente, o aumento da competitividade da empresa. Ainda, a aplicação conjunta de conceitos *Lean* e Ergonomia pode servir de modelo para outras unidades fabris do grupo que enfrentam desafios semelhantes. As melhorias propostas resultaram numa redução até dois pontos do risco de lesões músculo-esqueléticas, aumento até 10% na capacidade produtiva do setor e redução até 59% no tempo de *setup*, demonstrando impactos positivos na segurança dos trabalhadores e na organização do ambiente de trabalho.

Neste sentido, a implementação das melhorias recomendadas tem o potencial de eliminar as ineficiências identificadas, aumentar a capacidade produtiva e servir como referência para a aplicação de práticas similares em outras unidades de produção do grupo.

PALAVRAS-CHAVE

Ergonomia e Fatores Humanos; Estudo de Tempos; Estudo do Trabalho; *Lean Manufacturing*; Melhoria Contínua.

Integration of Lean Practices in the Tire Production Industry: Study of Methods and Times

ABSTRACT

This project was carried out at Continental Mabor and deals with the integration of Lean practices in the tire production industry, focusing on the analysis of working methods and times to increase the efficiency of the production process. The problem identified is the presence of inefficiencies in the production process, namely high non-productive time in the bead wedge application sector (Apex), resulting in significant losses. With this in mind, this project aims to study and reduce these inefficiencies by proposing improvements to the working method and implementing Lean tools.

The aim of the study is to reduce the inefficiencies identified through improvements in the working method and the implementation of Lean tools such as SMED (Single Minute Exchange of Die), the introduction of a simulation tool and the feasibility study of new automatic machines for applying wedges to beads. The methodological approach includes the application of Lean Manufacturing principles and the integration of ergonomic practices, guaranteeing a safer and more efficient working environment.

This study is important because optimizing production processes in the tire industry contributes to improving operational efficiency, reducing waste and, consequently, increasing the company's competitiveness. Furthermore, the combined application of Lean and Ergonomics concepts can serve as a model for other factories in the group facing similar challenges. The proposed improvements resulted in a reduction of up to two points in the risk of musculoskeletal disorders, an increase of up to 10% in the sector's production capacity and a reduction of up to 59% in setup times, demonstrating positive impacts on worker safety and the organization of the work environment.

Therefore, the implementation of the recommended improvements has the potential to eliminate the inefficiencies identified, increase production capacity and serve as a benchmark for the application of similar practices in other production units in the group.

KEYWORDS

Ergonomics and Human Factors; Time Study; Work Study; Lean Manufacturing; Continuous Improvement.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas	xiv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xvi
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia de Investigação.....	3
1.4 Estrutura da Dissertação	6
2. Contextualização teórica.....	8
2.1 Estudo do Trabalho	8
2.1.1 Estudo dos Métodos	9
2.1.2 Medida do Trabalho.....	10
2.2 Ergonomia e Fatores Humanos	14
2.2.1 Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho	16
2.2.2 Métodos de avaliação do risco de LMERT.....	17
2.3 <i>Lean</i> Manufacturing	21
2.3.1 Toyota Production System.....	22
2.3.2 Princípios <i>Lean</i>	23
2.3.3 Desperdícios <i>Lean</i>	23
2.3.4 Ferramentas <i>Lean</i>	25
2.4 Análise crítica da contextualização teórica.....	30
3. Apresentação da empresa.....	33
3.1 Continental	33

3.1.1	Divisões.....	33
3.1.2	Localizações em Portugal	34
3.1.3	Missão e Visão	34
3.1.4	Valores.....	35
3.2	Continental Mabor S.A.....	35
3.2.1	Unidades.....	36
3.2.2	Missão e Visão	37
3.2.3	Política da Empresa.....	37
3.3	Direção de Engenharia Industrial	37
3.4	O pneu.....	38
3.5	Processo produtivo.....	39
3.5.1	Departamento I - Misturação.....	40
3.5.2	Departamento II – Preparação	40
3.5.3	Departamento III - Construção	42
3.5.4	Departamento IV - Vulcanização	42
3.5.5	Departamento V – Inspeção Final	42
4.	Descrição e análise crítica da situação atual	43
4.1	Diagnóstico do posto de trabalho.....	46
4.1.1	Análise de acidentes de trabalho.....	46
4.1.2	Avaliação de risco de lesões.....	49
4.1.3	Elaboração de um questionário aos operadores	51
4.1.4	Diagrama de <i>Ishikawa</i>	53
4.2	Estudo de Perturbações	56
4.3	Cálculo do tempo padrão	60
4.3.1	Recolha dos tempos de elementos ciclo.....	61
4.3.2	Recolha dos tempos dos elementos não ciclo.....	63
4.3.3	Determinação do tempo padrão.....	66
4.3.4	Cálculo da capacidade produtiva.....	67
4.4	Estudo de <i>Setups</i>	69

4.4.1	Mudança de feira.....	70
4.4.2	Mudança de jante.....	71
4.4.3	Mudança de composto	72
4.4.4	Tempo padrão de <i>setups</i>	73
5.	Apresentação de propostas de melhoria	75
5.1	Alterações no posto de trabalho.....	75
5.1.1	Cenário A: mantendo a mesa de talões e separadores	75
5.1.2	Cenário B: removendo a mesa de talões e separadores.....	77
5.2	Implementação do SMED	81
5.2.1	Mudança de feira.....	81
5.2.2	Mudança de jante.....	82
5.2.3	Mudança de composto	83
5.2.4	Racionalização de operações	83
5.3	Utilização de ferramentas de simulação	85
5.3.1	Estudo do Método de Trabalho: Análise e melhoria dos processos atuais.....	87
5.3.2	Estudo da Capacidade Produtiva: Avaliação e maximização da produção	89
5.4	Avaliação de máquinas para aplicação automática de cunha em talão	90
6.	Análise e discussão de resultados	95
6.1	Alterações no posto de trabalho.....	95
6.1.1	Cenário A: mantendo a mesa de talões e separadores	95
6.1.2	Cenário B: removendo a mesa de talões e separadores.....	95
6.2	Implementação do SMED	99
6.3	Utilização de ferramentas de simulação	100
6.3.1	Estudo do Método de Trabalho: Análise e melhoria dos processos atuais.....	100
6.3.2	Estudo da Capacidade Produtiva: Avaliação e maximização da produção	101
6.4	Avaliação de máquinas para aplicação automática de cunha em talão	102
6.4.1	Estudo de Perturbações.....	102
6.4.2	Cálculo do tempo padrão.....	105
6.4.3	Estudo de <i>Setups</i>	110

6.5	Síntese de resultados	112
7.	Conclusão	114
7.1	Considerações finais	114
7.2	Trabalho futuro	115
	Referências Bibliográficas	117
	Apêndices	123
	Apêndice 1 – Aplicação da equação NIOSH nas Apex.....	124
	Apêndice 2 – Questionário aos operadores.....	126
	Apêndice 3 – Análise ABC de perturbações.....	128
	Apêndice 4 – Jantes produzidas em cada Apex	129
	Apêndice 5 – Folha de registo de tempos.....	131
	Apêndice 6 – Estrutura do processo das Apex	133
	Apêndice 7 – Cálculo de correções de fadiga	139
	Apêndice 8 – Gráficos de sequência de <i>setups</i>	142
	Apêndice 9 – Gráficos de atividades múltiplas de <i>setups</i>	145
	Anexos	147
	Anexo 1 – Tabelas para cálculo da correção de fadiga.....	148
	Anexo 2 – Área Apex.....	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fases da investigação-ação.	5
Figura 2 - Decomposição da duração total da operação de fabricação de um produto.	8
Figura 3 - Técnicas utilizadas no Estudo dos Métodos.	9
Figura 4 - Escalas de avaliação de rendimento.	13
Figura 5 - Tipos de correções.	14
Figura 6 - Atuação da Ergonomia no sistema produtivo.	16
Figura 7 – Avaliação REBA.	19
Figura 8 - Multiplicador de Pega.	20
Figura 9 - Multiplicador de Frequência.	21
Figura 10 - Casa do TPS.	22
Figura 11 - Etapas e técnicas do SMED.	26
Figura 12 - Diagrama de <i>Spaghetti</i>	28
Figura 13 - Diagrama de <i>Ishikawa</i>	29
Figura 14 - Localizações da Continental a nível mundial.	33
Figura 15 - Visão e Missão da Continental.	34
Figura 16 - Mabor - Manufatura Nacional da Borracha, S.A.	35
Figura 17 - Continental Mabor.	36
Figura 18 - Constituição do pneu.	38
Figura 19 - Etapas da produção do pneu.	40
Figura 20 - Principais etapas do estudo das Apex.	43
Figura 21 - Transformação do talão com cunha.	44
Figura 22 - Esquema representativo da Apex.	45
Figura 23 - Layout atual do posto de trabalho nas Apex.	46
Figura 24 - Acidentes por área de trabalho.	47
Figura 25 - Acidentes por causalidade agente-material.	47
Figura 26 - Acidentes por forma de acidente.	48
Figura 27 - Acidentes por tipo de lesão.	49
Figura 28 - Diagrama de <i>Ishikawa</i>	54
Figura 29 - Análise de Pareto a perturbações.	59
Figura 30 - Gestão visual para colocação de talões no carro.	76

Figura 31 - Representação do sistema de gestão visual.	76
Figura 32 - Layout proposto para Apex.	77
Figura 33 - Estrutura atual da mesa de autocontrolo.	78
Figura 34 - Estrutura proposta para a mesa de autocontrolo.	79
Figura 35 - <i>Template</i> Auditoria 5S.	80
Figura 36 - Método de trabalho proposto.	81
Figura 37 - Instruções de afinação das Apex.	84
Figura 38 - Visão geral do <i>Facility</i> do SIMIO.	86
Figura 39 - Visão geral da simulação do método de trabalho.	88
Figura 40 - Simulação das operações não ciclo.	89
Figura 41 - Visão geral da simulação para estudo da capacidade produtiva.	89
Figura 42 - Tempo de processamento da Apex.	90
Figura 43 - Distribuição de artigos na Apex 6.	90
Figura 44 - Estrutura da XYZ.	91
Figura 45 - Aplicação de cunha em talão na XYZ.	92
Figura 46 - Método de trabalho XYZ.	92
Figura 47 - Etapas para a mudança de jante nas XYZ.	93
Figura 48 - Fluxo de atividades da mudança de jante nas XYZ.	94
Figura 49 - Diagrama de <i>Spaghetti</i> para cenário atual.	97
Figura 50 - Diagrama de <i>Spaghetti</i> para cenário proposto.	97
Figura 51 - Legenda dos movimentos dos diagramas de <i>Spaghetti</i>	97
Figura 52 - Comparação de tempos entre cenário atual e cenário proposto.	98
Figura 53 - Tempo de processamento das máquinas.	102
Figura 54 - Gráfico de Pareto de perturbações.	104
Figura 55 - Diagrama de atividades múltiplas XYZ.	107
Figura 56 - Questionário aos operadores.	127
Figura 57 - Jantes produzidas na Apex 1.	129
Figura 58 - Jantes produzidas na Apex 2.	129
Figura 59 - Jantes produzidas na Apex 3.	129
Figura 60 - Jantes produzidas na Apex 4.	129
Figura 61 - Jantes produzidas na Apex 5.	129
Figura 62 - Jantes produzidas na Apex 6.	129

Figura 63 - Jantes produzidas na Apex 7.....	130
Figura 64 - Jantes produzidas na Apex 8.....	130
Figura 65 - Jantes produzidas na Apex 9.....	130
Figura 66 - Jantes produzidas na Apex 10.....	130
Figura 67 - Jantes produzidas na Apex 11.....	130
Figura 68 - Jantes produzidas na Apex 12.....	130
Figura 69 - Tabela de registo de tempos dos elementos ciclo.	131
Figura 70 – Tabela de identificação da amostra.	132
Figura 71 - Estrutura do processo das Apex 1 e 2.	133
Figura 72 - Estrutura do processo das Apex 3, 4 e 5.	134
Figura 73 - Estrutura do processo das Apex 6 e 11.	135
Figura 74 - Estrutura do processo da Apex 7.....	136
Figura 75 - Estrutura do processo das Apex 8 e 9.	137
Figura 76 - Estrutura do processo da Apex 10 e 12.....	138
Figura 77 - Gráfico de sequência de mudança de fieira.	142
Figura 78 - Gráfico de sequência de mudança de jante.	143
Figura 79 - Gráfico de sequência de mudança de composto.....	144
Figura 80 - Gráfico de atividades múltiplas de mudança de jante.....	145
Figura 81 - Gráfico de atividades múltiplas de mudança de composto.	146
Figura 82 - Tabelas para cálculo da correção de fadiga.	153
Figura 83 - Área Apex.	154

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Avaliação REBA ao posto de trabalho.	50
Tabela 2 - Registo de perturbações.	57
Tabela 3 - Gama de jantes produzidas por Apex.	60
Tabela 4 - Matriz de dados.....	61
Tabela 5 - Elementos da operação "Aplicação da cunha em talão".	62
Tabela 6 - Tempos de ciclo Apex para 100 peças.	63
Tabela 7 - Frequência de abastecimento de talões com cunha no carro.....	64
Tabela 8 - Frequência de abastecimento de nova tira de composto na extrusora.	65
Tabela 9 - Tempos não ciclo Apex para 100 peças.	66
Tabela 10 - Tempos padrão Apex.....	67
Tabela 11 - Registo percentual de paragens em 2024.	67
Tabela 12 - Distribuição percentual dos artigos por Apex.	68
Tabela 13 - Tempo médio ponderado de cada artigo.	69
Tabela 14 - Tarefas comuns a todos os <i>setups</i>	70
Tabela 15 - Etapas da mudança de fieira.	71
Tabela 16 – Etapas da mudança de jante	72
Tabela 17 - Etapas da mudança de composto.	73
Tabela 18 - Tempos padrão dos <i>setups</i>	74
Tabela 19 - Materiais e ferramentas necessários nas Apex.	79
Tabela 20 - Aplicação de SMED na mudança de fieira.	82
Tabela 21 - Aplicação de SMED na mudança de composto.....	83
Tabela 22 - Vantagens e desvantagens da simulação.	85
Tabela 23 - Objetos da biblioteca <i>standard</i> do SIMIO.....	87
Tabela 24 - Considerações da simulação da máquina.	88
Tabela 25 - Avaliação REBA ao cenário A.	95
Tabela 26 - Avaliação REBA ao cenário B.	96
Tabela 27 - Comparação de movimentos.	98
Tabela 28 - Tempo padrão após implementação do SMED.	99
Tabela 29 - Redução do tempo de <i>setup</i>	99
Tabela 30 - Comparação entre tempo atual diário dedicado a <i>setups</i> e tempo proposto.....	100

Tabela 31 - Impacto do rendimento do operador na capacidade da máquina.	100
Tabela 32 - Impacto das tarefas não ciclo na capacidade da máquina.	101
Tabela 33 - Taxa de utilização das máquinas.	101
Tabela 34 - Perturbações das XYZ.	103
Tabela 35 - Análise ABC de perturbações.	105
Tabela 36 - Matriz de dados XYZ.	105
Tabela 37 - Elementos da operação de aplicação de cunha em talão nas XYZ.	106
Tabela 38 - Tempos de ciclo XYZ.	107
Tabela 39 - Tempos não ciclo XYZ.	108
Tabela 40 - Tempo padrão XYZ.	108
Tabela 41 - Planeamento de paragens em 2024 nas XYZ.	109
Tabela 42 - Distribuição percentual dos artigos por XYZ.	109
Tabela 43 - Tempo médio ponderado de cada artigo nas XYZ.	110
Tabela 44 - Duração da mudança de jante nas XYZ.	111
Tabela 45 - Tempo padrão dos <i>setups</i> nas XYZ.	112
Tabela 46 - Síntese de resultados.	112
Tabela 47 - Equação de NIOSH nas Apex - varas de cima.	124
Tabela 48 - Equação de NIOSH nas Apex - varas do meio.	124
Tabela 49 - Equação de NIOSH nas Apex - varas de baixo.	125
Tabela 50 - Análise ABC de perturbações.	128
Tabela 51 - Correção de fadiga Apex.	139
Tabela 52 - Correção de fadiga - Mudança de fieira.	139
Tabela 53 - Correção de fadiga - Mudança de jante.	140
Tabela 54 - Correção de fadiga - Mudança de composto.	140
Tabela 55 - Correção de fadiga – Mudança de jante XYZ.	141

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

C-ITA – Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A.

CLCA – Continental Lemmerz – Componentes para Automóveis, Lda.

CMIP – Continental Mabor - Indústria de Pneus, S.A.

CPP – Continental Pneus (Portugal), S.A.

CST – *Commercial Specialty Tires*

CT – Centro de Talão

JIT – *Just in Time*

KM – *Karcass Machine*

LMERT – Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho

NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health*

OTR – *Off the Road*

PLR – Peso Limite Recomendável

PI – Pergunta de Investigação

PIB – Produto Interno Bruto

PLT – *Passenger & Light Truck Tires*

PU – *Pressure Unity*

REBA – *Rapid Entire Body Assessment*

RSI – *Revised Strain Index*

RULA – *Rapid Upper Limb Assessment*

SMED – *Single Minute Exchange of Die*

SUV – *Sport Utility Vehicle*

TM – Tempo Máquina

TO – Tempo Operador

TPS – *Toyota Production System*

WIP – *Work In Progress*

1. INTRODUÇÃO

No primeiro capítulo, começa-se por realizar um breve enquadramento do projeto realizado. De seguida, são determinados os objetivos do projeto, a metodologia de investigação adotada e termina-se com a descrição da estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento

O presente projeto tem lugar na Continental Mabor, uma empresa de referência na indústria automóvel dedicada à produção de pneus para veículos, oferecendo soluções inovadoras e de alta qualidade para promover a segurança e o desempenho nas estradas. Na verdade, a indústria automóvel tem enfrentado uma situação económica desafiante e, de acordo com dados revelados pelo site Statista, o volume de vendas de carros, que havia aumentado exponencialmente desde 2015, sofreu uma queda em 2018 (Bastos et al., 2021). Além disso, a crise causada pelo Covid-19 agravou a situação, com novas previsões apontando para uma queda de 20% nas vendas.

Para responder a esses desafios, as empresas do setor automóvel precisam ser cada vez mais competitivas e implementar sistemas de gestão eficazes para mitigar fatores que influenciam negativamente a produção, como falhas nas máquinas que levam a paragens indesejadas, falta de qualificação de recursos humanos que atrasam a produção e causam acidentes de trabalho, *layouts* ineficientes, entre outros (Pinto et al., 2019). Face a estes desafios, Bastos et al. (2021) referem que a implementação de filosofias como o *Lean Thinking* e de métodos para redução de custos e aumento da produtividade torna-se indispensável neste setor. O *Lean Manufacturing* foi desenvolvido pela Toyota no seu processo de manufatura, substituindo a produção em massa, e consiste num procedimento para eliminar desperdícios através da melhoria contínua nas indústrias, com o objetivo de aumentar a eficiência (Ewnetu & Gzate, 2023). Efetivamente, os seus aspetos chave consistem em eliminar todas as atividades que não acrescentam valor do ponto de vista do cliente e na adoção do pensamento em melhoria contínua, fazendo mais com menos – menos esforço humano, menos stock, menos tempo, menos transporte, entre outros (V. L. Bittencourt et al., 2021).

Contudo, para que a implementação do *Lean Manufacturing* seja realmente eficaz, é essencial que haja uma integração com os conceitos de Ergonomia e Fatores Humanos e o Estudo do Trabalho. Embora as práticas *Lean* se concentrem na otimização de processos e na redução de desperdícios, é crucial assegurar que as melhorias na produtividade não comprometam a saúde e a segurança dos operadores.

A Ergonomia e Fatores Humanos desempenham um papel vital ao garantir que o ambiente de trabalho se adapta às capacidades físicas e mentais dos operadores, prevenindo Lesões Músculo-Esqueléticas relacionadas com o trabalho (LMERT), que são comuns em ambientes industriais, especialmente em atividades repetitivas e exigentes (Gan et al., 2024). Apesar de as empresas investirem cada vez mais na automação e na mecanização, Gan et al. (2024) indicam que existem pesquisas que revelam que muitos trabalhadores continuam a ser submetidos a condições exigentes de trabalho, tais como a manipulação de cargas, movimentos repetitivos e posturas corporais inadequadas. Deste modo, a avaliação ergonómica torna-se crucial na indústria automóvel, não só porque as licenças médicas e os acidentes de trabalho geram custos, mas também pelo seu impacto na produção.

Na União Europeia, o impacto das LMERT é significativo, como demonstram os exemplos da Alemanha, que em 2016 sofreu uma queda de produção de 17,2 mil milhões de euros, resultando num decréscimo do Produto Interno Bruto de 30,4 mil milhões de euros, e da Grã-Bretanha, que em 2013/2014 revelou um custo social de 2,3 mil milhões de libras devido a estas lesões (González-Alonso et al., 2024).

Na verdade, estes desafios remetem para a importância do conceito de Estudo do Trabalho na indústria automóvel. Este permite uma análise pormenorizada aos processos de trabalho de uma organização, identificando quaisquer ineficiências e tem como principais objetivos desenvolver e implementar métodos mais eficazes para executar tarefas, aumentando a produtividade e a qualidade do trabalho realizado, e promover um ambiente mais seguro para os funcionários. Uma das técnicas utilizadas no âmbito do Estudo do Trabalho consiste no estudo de tempos. Este foi desenvolvido no século XX com o propósito de determinar tempos-padrão para os processos (Lopes et al., 2022).

Deste modo, a integração dos conceitos de *Lean Manufacturing*, Ergonomia e Fatores Humanos, e Estudo do Trabalho é fundamental para criar sinergias que aumentem a eficiência operacional, melhorem a qualidade de vida dos trabalhadores e promovam um ambiente de trabalho mais seguro.

Concluindo, reconhece-se que o setor dentro da fábrica alvo deste estudo possui máquinas antigas que dependem da manipulação do homem, o qual está sujeito a movimentos repetitivos e desgastantes. Apesar de as máquinas terem sido alteradas e melhoradas ao longo dos anos, essas condições ainda exigem atenção. Por este motivo, é necessário realizar o presente estudo para identificar as ineficiências do processo e melhorar o desempenho da área, aproveitando a sinergia entre *Lean Manufacturing*, Ergonomia e Fatores Humanos, e Estudo do Trabalho, para otimizar o desempenho operacional e o bem-estar dos trabalhadores.

1.2 Objetivos

O presente estudo tem como objetivo analisar o processo produtivo do pneu, com um foco específico na etapa de preparação a quente. Deste modo, a investigação é guiada pelas seguintes duas perguntas de investigação (PI):

- PI1 – Como podem os princípios do *Lean Manufacturing* ser aplicados de forma eficaz no processo de preparação a quente na produção de pneus?
- PI2 – Como é possível reduzir a variabilidade no processo de preparação a quente na produção de pneus, para melhorar a consistência e a qualidade dos produtos fabricados?

Para responder as estas duas perguntas de investigação, estabelecem-se objetivos específicos que permitam uma análise profunda do processo de fabricação de pneus:

- Determinação dos tempos-padrão dos vários subprocessos produtivos através das metodologias de tempos e métodos;
- Definição dos elementos de ciclo críticos ao processo;
- Validação estatística para assegurar a precisão dos dados recolhidos;
- Análise de perturbações que impactam a eficiência produtiva;
- Identificação de desperdícios ao longo da preparação a quente;
- Identificação de potenciais melhorias no processo.

Assim, com base nos objetivos estabelecidos para a concretização do projeto com sucesso, esperam-se os seguintes resultados:

- Eliminação de desperdícios, contribuindo para um processo mais *Lean*;
- Redução da variabilidade do processo, resultando em produtos mais consistentes e de maior qualidade;
- Obtenção de dados produtivos fidedignos para suportar a tomada de decisão;
- Gestão eficaz dos recursos disponíveis, melhorando a utilização de materiais e mão de obra;
- Redução de tempos de *setup*, aumentando a eficiência operacional.

1.3 Metodologia de Investigação

A metodologia principal adotada ao longo do presente projeto consiste na investigação-ação, uma vez que o projeto é realizado em ambiente empresarial. Esta metodologia permite uma abordagem prática e interativa ao problema em estudo, facilitando intervenções diretas no ambiente da empresa e

possibilitando ajustes em tempo real conforme os resultados vão sendo observados. Introduzida pela primeira vez por Kurt Lewin em 1946 (Susman & Evered, 1978), a metodologia investigação-ação visa não apenas resolver preocupações práticas dos indivíduos numa situação problemática imediata, mas também promover os objetivos das ciências sociais. Portanto, existe um compromisso em estudar o sistema em colaboração com os seus membros, aplicando mudanças na direção desejada (O'Brien, 1998). Na verdade, O'Brien (1998) identifica seis princípios-chave da investigação-ação que são cruciais para a aplicação eficaz desta metodologia em contextos empresariais:

1. **Crítica refletiva** – garante que os indivíduos refletem sobre os processos e deixam explícitas as suas interpretações e pressupostos baseados em julgamentos, possibilitando a origem de considerações teóricas baseadas em práticas observadas;
2. **Crítica dialética** – segundo O'Brien (1998), os diferentes fenómenos são conceptualizados em diálogo e, portanto, é necessária uma crítica dialética para compreender as relações entre o fenómeno, os seus elementos e o seu contexto;
3. **Recurso Colaborativo** – as ideias de todos os indivíduos que participam no projeto são igualmente significativas e representam um recurso para criar categorias interpretativas de análise;
4. **Risco** – desenvolver a mudança nos processos consiste num risco, uma vez que questiona a forma como as coisas são feitas, criando insegurança nos participantes do estudo e, desta forma, é necessário envolvê-los, salientando que o objetivo do estudo é a aprendizagem;
5. **Estrutura Plural** – uma vez que a investigação considera vários pontos de vista, é necessário um texto plural para o relatório, atuando como suporte para discussão contínua entre os envolvidos;
6. **Teoria, Prática e Transformação** – segundo O'Brien (1998), a teoria fornece informação para a prática e a prática melhora a teoria, resultando numa transformação contínua, cabendo aos envolvidos explicitar as conclusões teóricas e analisar as aplicações práticas.

A investigação-ação é ideal para contextos empresariais, pois promove a melhoria contínua dos processos através de um ciclo iterativo de planeamento, ação, observação e reflexão, que se alinha perfeitamente com as dinâmicas de inovação e otimização frequentemente requeridas nas empresas. De acordo com Susman e Evered (1978), existem cinco fases no processo cíclico da metodologia, representadas na Figura 1.

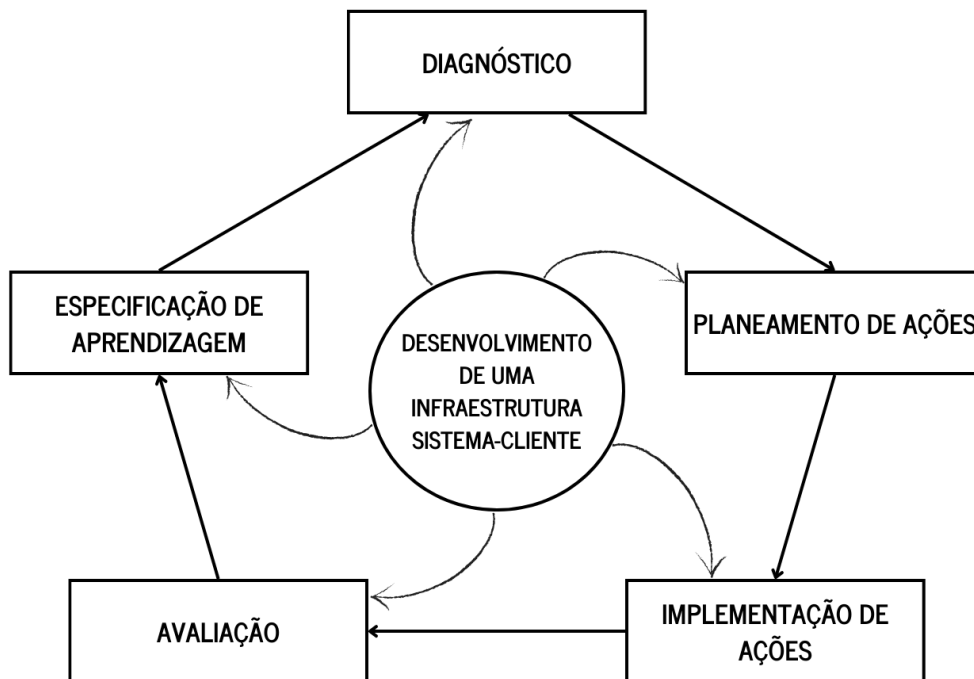


Figura 1 - Fases da investigação-ação.

Adaptado de Susman e Evered (1978).

Começando pelo diagnóstico, é necessário identificar o principal problema a ser estudado e, assim, realizar uma análise crítica da situação atual. Esta fase consiste na mais longa, uma vez que envolve uma recolha de dados intensiva, como os tempos de produção das máquinas para diferentes artigos. Esta análise é realizada recorrendo a técnicas de observação direta, à avaliação REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) e à equação de NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*), bem como diversas ferramentas, como o Diagrama de *Ishikawa*, análise ABC, fluxograma, diagrama de *spaghetti*, entre outros.

De seguida, passa-se para a fase de planeamento de ações, onde se consideram ações a seguir através de propostas de melhoria para a resolução do problema, tais como a implementação do SMED, 5S e *Standard Work* no posto de trabalho, a alteração do método de trabalho, entre outras estratégias para melhorar a eficiência do processo.

A próxima fase consiste na implementação de ações, considerando o plano que resulta em melhores indicadores de desempenho, seguindo-se a fase de avaliação dessas mesmas ações de melhoria. Nesta fase, através de análises de comparação entre o cenário atual e cenário proposto, verificam-se melhores

valores de capacidade produtiva e um menor risco de lesões músculo-esqueléticas, resultado da implementação de estratégias que visam um método de trabalho mais eficiente.

Finalmente, termina-se com a fase de especificação da aprendizagem, em que é desenvolvida a presente dissertação, bem como são sugeridas propostas para trabalho futuro no âmbito da melhoria contínua.

Além da aplicação prática da investigação-ação, o projeto inclui uma pesquisa bibliográfica que, embora não exaustiva, foi suficiente para a contextualização teórica, demonstrando a importância de cada um dos conceitos de *Lean Manufacturing*, Ergonomia e Fatores Humanos, e Estudo do Trabalho, não só de forma isolada, mas também destacando as vantagens da sua aplicação em sinergia. Esta revisão permitiu fundamentar as práticas adotadas, oferecendo uma base sólida para a implementação de melhorias no ambiente empresarial e assegurando que as mudanças promovam tanto a eficiência quanto um ambiente de trabalho seguro e saudável.

1.4 Estrutura da Dissertação

O presente documento encontra-se dividido em sete capítulos, cada um deles apresentando os aspectos principais considerados na execução do projeto.

O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao projeto, onde se começa por realizar um breve enquadramento do tema e, posteriormente, evidenciar os objetivos e resultados esperados com a execução do mesmo. De seguida, é apresentada a metodologia de investigação utilizada e, finalmente, termina-se com a explicação da estrutura da dissertação.

O segundo capítulo aborda uma contextualização teórica sobre os conceitos principais abordados na execução do presente projeto, começando pelo Estudo do Trabalho e seguindo-se a Ergonomia e Fatores Humanos. Posteriormente, elabora-se o conceito de *Lean Manufacturing* e termina-se com uma análise crítica à aplicabilidade destes conceitos no tema do projeto.

O terceiro capítulo foca-se na apresentação da empresa, a Continental, com foco na unidade fabril onde é realizado o presente projeto, a Continental Mabor. Aqui, são também apresentados os valores do grupo, a sua missão e visão, os seus produtos e, finalmente, o processo produtivo do pneu.

O quarto capítulo apresenta uma descrição e análise crítica da situação atual, começando pela realização de um diagnóstico ao posto de trabalho em estudo e, de seguida, um estudo das perturbações que causam ineficiências no processo. Para terminar a análise, é determinado o tempo-padrão, juntamente com a capacidade produtiva do setor, e é realizado um estudo dos *setups* que ocorrem na área.

O quinto capítulo detalha as propostas de melhoria que surgem como resultado da análise do capítulo anterior, que passam por alterações do posto e método de trabalho, a implementação do SMED, a implementação de uma ferramenta de simulação e o estudo de uma abordagem automatizada do posto de trabalho atual.

O sexto capítulo apresenta uma análise e discussão de resultados da implementação das propostas de melhoria detalhadas no capítulo anterior. Neste capítulo são analisados indicadores de desempenho cruciais na capacidade produtiva da área e o impacto que as medidas sugeridas têm nos mesmos.

O sétimo, e último, capítulo refere as principais conclusões da execução do projeto, através da análise dos objetivos e resultados esperados no início do mesmo, bem como sugestões para trabalho futuro.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

No segundo capítulo, é realizada uma contextualização teórica sobre os conceitos inerentes à realização do presente projeto, começando pelo Estudo do Trabalho, onde é abordado o Estudo dos Métodos e a Medida do Trabalho. De seguida, é explorado o conceito de Ergonomia e Fatores Humanos, juntamente com as Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT) e os seus métodos de avaliação de risco. Finalmente, é abordado o conceito de *Lean Manufacturing*, com uma breve explicação do *Toyota Production System*, princípios-chave, desperdícios e ferramentas.

2.1 Estudo do Trabalho

O Estudo do Trabalho refere-se a um conjunto de ferramentas e técnicas analíticas destinadas à análise do trabalho humano. Esta disciplina envolve o estudo sistemático de todos os fatores que influenciam a eficácia e a eficiência das atividades realizadas, sendo que o seu objetivo final consiste em promover melhorias através da otimização de processos (Costa & Arezes, 2003). As primeiras aplicações remontam ao final do século XIX, com as contribuições de Frederick Taylor na Midvale Steel Company. Taylor determinou o tempo necessário para a execução de diversos tipos de trabalho e identificou a maneira mais eficiente de os realizar (Francischini, 1997). Na análise de qualquer operação, como demonstrado na Figura 2, consideram-se os tempos associados a cada atividade.



Figura 2 - Decomposição da duração total da operação de fabricação de um produto.

Adaptado de Costa e Arezes (2003).

O Estudo do Trabalho deve ser aplicado de forma cuidada juntamente com uma análise das relações entre o agente de trabalho, ou analista, e os diversos níveis da empresa, considerando que este deve estar ciente de como a sua ação pode afetar os envolvidos e, por vezes, não ser bem recebida (Costa &

Arezes, 2003). Essencialmente, o Estudo do Trabalho abrange duas técnicas principais: Estudo dos Métodos e Medida do trabalho.

2.1.1 Estudo dos Métodos

O Estudo dos Métodos visa tornar o trabalho mais simples e eficiente através do desenvolvimento de métodos mais económicos (Costa & Arezes, 2003) e seguros. Pigage e Tucker (1954) referem que os principais passos a seguir no Estudo dos Métodos são:

1. Analisar a forma como o trabalho é realizado;
2. Questionar a finalidade de cada etapa executada;
3. Eliminar todas as etapas que não são totalmente justificáveis;
4. Implementar e padronizar o novo método de trabalho.

Através dos passos apresentados, é possível aumentar a produtividade de uma organização e dos seus constituintes. A eliminação de trabalho desnecessário e a criação de métodos e procedimentos que sejam mais eficazes, exijam menos esforço e se adaptem às necessidades dos utilizadores, são os objetivos mais importantes do estudo do trabalho (Al-Saleh, 2011), além da criação de condições de trabalho mais favoráveis.

De forma a realizar um estudo eficaz, é importante realizar uma recolha de dados precisa e adequada. Para isso, existem diversas técnicas de registo de dados necessários ao Estudo dos Métodos, que se encontram representadas na Figura 3.

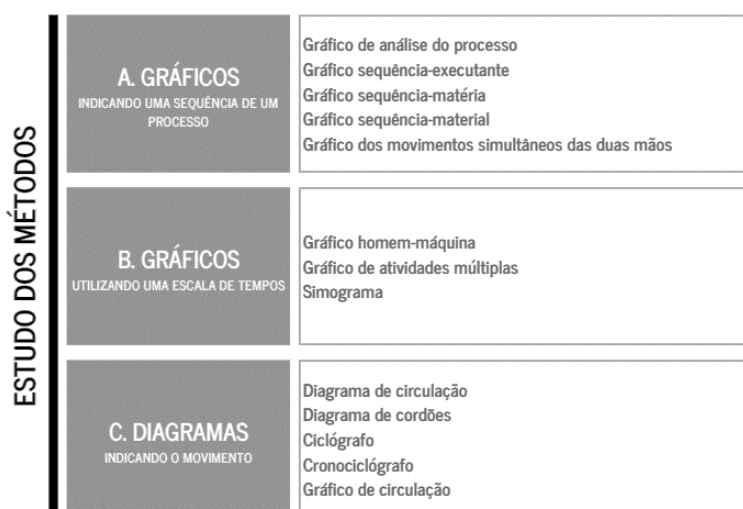


Figura 3 - Técnicas utilizadas no Estudo dos Métodos.

Adaptado de Costa e Arezes (2003).

Salientam-se três categorias principais: A – Gráficos que abordam a representação sequencial de processo; B – Gráficos que utilizam uma escala de tempos; e, por fim, C – Diagramas que indicam movimento. Cada tipo de gráfico ou diagrama é indicado para facilitar o entendimento de diferentes aspectos do processo de trabalho, desde a análise detalhada de movimentos individuais até avaliação da interação entre homem e máquina ou o fluxo de materiais e atividades.

2.1.2 Medida do Trabalho

A Medida do Trabalho tem como objetivo estabelecer o tempo requerido para a execução do trabalho, sob certas condições de medição padronizadas, resultando no tempo padrão (Costa & Arezes, 2003). O tempo padrão consiste no tempo necessário que um trabalhador médio, que desempenha as suas funções a um ritmo normal, leva a realizar uma tarefa seguindo um método de trabalho, incluindo correções para fadiga, necessidades pessoais e atrasos (Maynard, 2004). Na verdade, Weise et al. (2013) referem que as etapas para a determinação do tempo padrão são:

1. Divisão da operação em elementos;
2. Determinação do número de ciclos a serem cronometrados;
3. Verificação da agilidade do operador;
4. Determinação de tolerâncias;
5. Resolução do tempo padrão.

Logo, de acordo com Weise et al. (2013), o tempo padrão é dado por (1):

$$\text{Tempo Padrão} = \frac{\text{Tempo medido} \times \text{Rendimento do operador}}{1 - \text{Fator de tolerância}} \quad (1)$$

Em que,

- *Tempo medido* – tempo real cronometrado;
- *Rendimento do operador* – avaliação de rendimento do operador;
- *Fator de tolerância* – tolerâncias aplicáveis ao tempo padrão.

Existem diferentes técnicas para a determinação do tempo padrão. Cronometragem e amostragem são técnicas de observação direta, enquanto que tempos predeterminados pertencem à categoria de medição indireta (Francischini, 1997). Note-se que o presente projeto recorre exclusivamente a técnicas de observação direta.

Estudo de tempos ou Cronometragem

O estudo de tempos, ou cronometragem, consiste numa técnica de observação direta intensiva. Aplica-se a um grande número de trabalhos de produção industrial e considera-se a técnica mais adequada para tarefas manuais ou semiautomáticas de ciclos curtos e repetitivos (Costa & Arezes, 2003).

O primeiro passo para o estudo de tempos consiste na definição da atividade a estudar. Para isso, é necessário registar as informações sobre a operação e o operador em estudo. De acordo com Costa e Arezes (2003), as informações a recolher devem-se inserir nas seguintes categorias:

- Identificação do estudo;
- Identificação do artigo e atividade em análise;
- Identificação do processo, método, instalação ou máquina;
- Identificação das condições ambientais no local de trabalho;
- Identificação do executante;
- Identificação da duração do estudo.

De seguida, de acordo com Felipe et al. (2012), uma das etapas do estudo de tempos consiste na subdivisão do ciclo de trabalho em elementos de forma a obter uma descrição detalhada e sistemática do método. Outras razões para subdivisão em elementos consistem na possibilidade de uma reconstituição do método, a verificação da regularidade dos tempos em cada elemento, a avaliação do rendimento do operador e a padronização de tempos numa mesma sequência de movimentos. Pigage e Tucker (1954) indicam que os elementos de um ciclo de trabalho devem cumprir os seguintes requisitos:

- O conteúdo de cada elemento deve ser o mais homogéneo possível;
- Os tempos do operador e da máquina devem ser colocados em elementos diferentes;
- Cada elemento deve ser ou um elemento com tempo constante ou um elemento com tempo variável;
- Cada elemento deve ter um ponto de início e um ponto de fim bem definidos;
- Costa e Arezes (2003) acrescentam, ainda, que cada elemento deve ser identificável e ter uma duração curta.

Posteriormente, é possível realizar a cronometragem. Dependendo do equipamento utilizado, é possível recorrer a três tipos de cronometragem. De acordo com Lehn et al. (2018), são eles:

- **Cronometragem contínua** – a contagem começa no início do primeiro elemento e termina quando a operação chega ao fim;

- **Cronometragem com retorno a zero** – a contagem começa no início do primeiro elemento, voltando a zero no fim de cada elemento;
- **Cronometragem de leitura fixa** – o cronómetro é constituído por dois ponteiros que começam a contagem no início do primeiro elemento e, quando este termina, é pressionado um disparador, causando a paragem de um dos ponteiros enquanto o outro avança.

Finalmente, é necessário determinar o número de observações necessárias para os diferentes elementos, uma vez que existem diferenças nos tempos registados para o mesmo elemento causadas por alterações no rendimento do operador ou outras condições. Costa e Arezes (2003) determinam que o número de observações necessárias para um elemento (N') é dado por (2):

$$N' = \left(\frac{Z \times s}{\varepsilon \times m} \right)^2 \quad (2)$$

Em que,

- Z – obtido a partir da tabela da distribuição normal e diretamente relacionado com o nível de confiança pretendido, geralmente equivalente a 95%;
- s – desvio padrão das observações;
- ε – precisão, geralmente equivalente a $\pm 5\%$;
- m – média das observações.

Aquando do estudo dos tempos, é possível verificar alterações no ritmo do executante e essas alterações refletem-se na determinação do tempo padrão. Deste modo, é necessário realizar uma avaliação do grau de rendimento do operador, que também pode ser designado de julgamento da atividade. Este processo consiste na comparação do desempenho observado com o desempenho esperado para uma determinada tarefa, considerando um operador qualificado, que segue o método correto e trabalha sob condições específicas (Pigage & Tucker, 1954).

Para classificar o rendimento dos operadores, existem diversas escalas, cada uma delas com um valor associado à atividade referência, ou seja, aquele que corresponde ao ritmo de trabalho normal. Estas encontram-se representadas na Figura 4.

Escala				Descrição da actividade	Velocidade de marcha compatível (km/h)
60-100	75-100	100-133	0-100		
0	0	0	0	Actividade nula	0
40	50	67	50	Actividade muito lenta: movimentos inábeis e hesitantes; o executante parece estar meio a dormir e não se interessa pela sua tarefa	3,2
60	75	100	75	Actividade compassada, sem pressa, como a de um trabalhador não remunerado à peça, sob vigilância apropriada; parece lenta, mas sem qualquer desperdício deliberado de tempo durante a observação.	4,8
80	100	133	100 (actividade de referência)	Gestos vivos e precisos de um trabalhador medianamente qualificado, remunerado à peça; os requisitos de qualidade e de precisão são atingidos sem hesitações.	6,4
100	125	167	125	Muito rápida: o executante demonstra uma segurança, destreza e coordenação de movimentos muito superiores à de um trabalhador mediano experiente.	8
120	150	200	150	Excepcionalmente rápida: a actividade exige um esforço e concentração intensos e não poderá, provavelmente, ser mantida durante muito tempo; requer num nível de "perito", que só alguns trabalhadores excepcionais podem atingir.	9,6

Figura 4 - Escalas de avaliação de rendimento.

Retirado de Exertus (2003).

Na Figura 4, é possível identificar a linha correspondente à actividade referência preenchida a cinzento, com uma velocidade de marcha compatível de 6,4 km/h. Para cada escala, a pontuação, ou fator de actividade, atribuída aumenta com o aumento da velocidade de marcha compatível, sendo que 0 diz respeito a actividade nula. A partir da escala seleccionada, é possível atribuir um fator de actividade à observação. Deste modo, é possível determinar o tempo normal (3):

$$\text{Tempo Normal} = \text{Tempo Observado} \times \frac{\text{Fator de Actividade}}{\text{Actividade Referência}} \quad (3)$$

Finalmente, para obter o tempo padrão final, é necessário aplicar as devidas correções. É possível encontrar os diferentes tipos de correções representados na Figura 5.

aspectos como a postura, design de ferramentas e organização do espaço. Os Fatores Humanos ampliam o foco da Ergonomia, abordando aspectos cognitivos como a tomada de decisão, percepção, memória e carga mental, considerando também as dimensões psicológicas e sociais do trabalho, para garantir a adequação física e mental dos operadores.

Através do conhecimento das ciências humanas, é responsável por adaptar tarefas e sistemas às capacidades físicas e mentais do ser humano (W. Bittencourt et al., 2011), aplicando teoria, princípios e métodos para melhorar o seu bem-estar e o desempenho dos sistemas. W. Bittencourt et al. (2011) acrescentam, ainda, que a Ergonomia adequa o ambiente de trabalho ao ser humano, desde a postura, movimento, fluxo de informação, posto de trabalho, entre outros fatores.

De acordo com Ogedengbe et al. (2023), o conceito de Ergonomia tem origem nas palavras gregas “*ergon*” (trabalho) e “*nomos*” (normas) e a sua definição tem vindo a evoluir ao longo dos anos. A crescente pesquisa realizada tem gerado importantes conhecimentos sobre as ferramentas de produção e ambiente de trabalho, visando prevenir o desconforto e doenças nos trabalhadores, reduzindo o absentismo e aumentando a qualidade e quantidade dos produtos. Note-se que a aplicação incorreta de princípios ergonómicos afeta negativamente a produtividade e aumenta a exposição dos trabalhadores a lesões e desconforto. Segundo Wilson (2000), a história da Ergonomia remonta à Grécia antiga, com registos na Polónia e na Alemanha há cerca de 100 anos, contudo, a Ergonomia moderna começou a ser desenvolvida na Segunda Guerra Mundial. Wilson (2000) acrescenta que, no Reino Unido, por exemplo, a integração de conhecimentos de Anatomia, Fisiologia, Psicologia, Medicina Industrial, Higiene Industrial, Engenharia de Design, Arquitetura e Engenharia de Iluminação levou à criação da Ergonomia dividida em dois grupos: Anatomia/Fisiologia e Psicologia Experimental. Já nos Estados Unidos, o desenvolvimento de Fatores Humanos foi devido a contribuições de Psicologia e Engenharia. Wilson (2000) acrescenta, ainda, que na Alemanha, Países Baixos e Escandinávia, a Ergonomia se desenvolveu a partir de Medicina e Anatomia Funcional, enquanto que no resto da Europa teve por base a Industrialização.

Na verdade, a Ergonomia vai além da saúde e segurança, apoiando os objetivos estratégicos das empresas para que estas se mantenham competitivas no mercado e, segundo a *International Ergonomics Association*, “está preocupada com a compreensão das interações entre humanos e outros elementos de um sistema, visando otimizar o bem-estar humano e o desempenho geral do sistema” (Dul & Neumann, 2009). Lida e Buarque (2021) mencionam que a Ergonomia estuda os fatores que influenciam o sistema produtivo, procurando reduzir o impacto negativo que os mesmos têm no operador, tal como se pode observar na Figura 6.

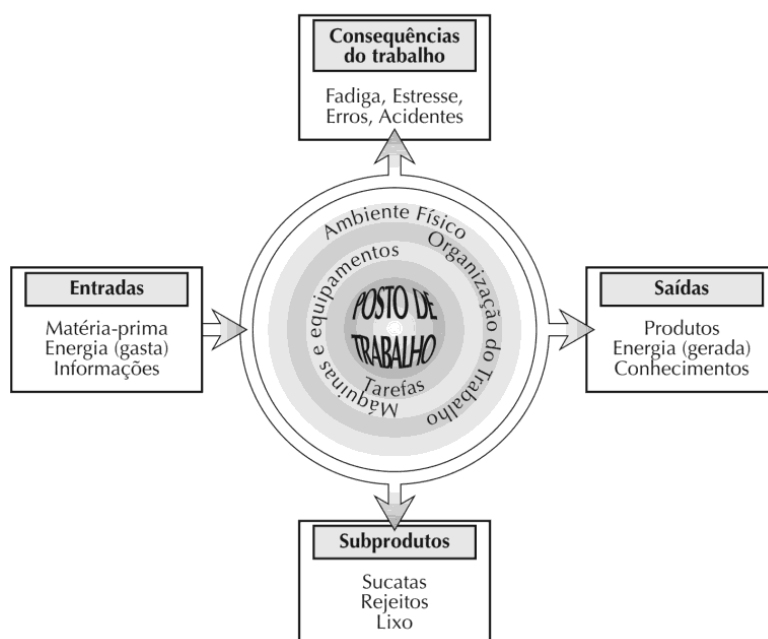


Figura 6 - Atuação da Ergonomia no sistema produtivo.
Adaptado de Lida e Buarque (2021).

De acordo com Lida e Buarque (2021), os objetivos da Ergonomia são essencialmente:

- **Saúde e segurança** – são preservadas quando as exigências do trabalho não excedem as limitações físicas e cognitivas dos trabalhadores;
- **Satisfação** – resulta do atendimento das necessidades dos trabalhadores;
- **Eficiência e produtividade** – devem ser impostos limites de forma a que o seu aumento não represente um impacto negativo no bem-estar dos trabalhadores.

2.2.1 Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho

As Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho (LMERT) referem-se a lesões em músculos, tendões, nervos e ligamentos decorrentes de atividades laborais que afetam uma ou várias estruturas em simultâneo, podendo ou não estar acompanhadas de outros sintomas (Castelôa et al., 2019). Segundo Fonte et al. (2020), as LMERT representam 53% do total de doenças ocupacionais registadas na União Europeia, estimando-se que o custo da perda de produtividade possa chegar a 2% do Produto Interno Bruto (PIB).

De acordo com Colim et al. (2020), o desenvolvimento de LMERT está relacionado com três fatores:

- **Riscos profissionais** – posturas desconfortáveis, tarefas repetitivas, manuseamento de cargas pesadas e até mesmo desconforto térmico;
- **Características individuais** – referem-se a limitações ou problemas de saúde;

- **Fatores sociais** – problemas familiares e económicos que podem prejudicar a motivação e a atenção no trabalho, bem como a pressão no trabalho, baixa autonomia e insatisfação profissional.

Geralmente, as partes do corpo mais afetadas são os membros superiores, pescoço, costas e membros inferiores, considerando que a incidência depende da atividade realizada e dos riscos a que o trabalhador está exposto (Fonte et al., 2020).

As LMERT podem ser agrupadas de acordo com a estrutura afetada (Sousa-Uva et al., 2008):

- **Tendinites** – lesões localizadas ao nível dos tendões e bainhas tendinosas;
- **Síndromes canaliculares** – lesão de um nervo;
- **Raquialgias** – lesão osteoarticular e/ou muscular na coluna vertebral;
- **Síndromes neuro vasculares** – lesão nervosa e vascular.

2.2.2 Métodos de avaliação do risco de LMERT

Sendo as LMERT um fator ao qual as empresas devem prestar especial atenção, é importante realizar uma avaliação metódica das mesmas. Para isso, existem diversos métodos de avaliação de risco músculo-esquelético. Alguns exemplos são:

- **Questionário Nórdico Músculo-Esquelético** – questionário que permite a comparação entre resultados de diferentes estudos e consiste numa ferramenta de triagem útil para a identificação e estudo de riscos ergonómicos no ambiente de trabalho (Tang, 2020);
- **Rapid Upper Limb Assessment (RULA)** – desenvolvido por McAtamney e Corlett em 1993, é um método confiável para tarefas repetitivas e não necessita de conhecimentos técnicos para a sua aplicação (Ogedengbe et al., 2023);
- **Revised Strain Index (RSI)** – avaliação simples do risco ocupacional nas extremidades superiores distais para tarefas repetitivas e intensivas nas mãos (Tang, 2020);
- **Rapid Entire Body Assessment (REBA)** – desenvolvido por Sue Hignett e Lynn McAtamney, permite aos utilizadores avaliar posturas extremas, sendo económico e de simples aplicação (Ogedengbe et al., 2023);
- **NIOSH Revised Lifting Equation/Equação de NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)** – apropriado para trabalhos de levantamento de cargas com as duas mãos de forma estável, consiste numa ferramenta de controlo de lesões por esforço excessivo devido a manuseamento e levantamento (Tang, 2020).

No presente projeto, são implementadas as ferramentas REBA e Equação de NIOSH.

REBA

O REBA recorre a um processo sistemático para avaliar as partes superiores e inferiores do sistema musculoesquelético em relação a riscos biomecânicos e LMERT. De acordo com Joshi e Deshpande (2020), o REBA é bastante generalizado e pode ser aplicado em diversos setores.

De acordo com Hignett e McAtamney (2000), os objetivos da ferramenta REBA são:

- Criação de um sistema de análise postural sensível a riscos musculoesqueléticos em diferentes tarefas;
- Segmentação do corpo para codificação individual, com base nos planos de movimento;
- Estabelecimento de um sistema de pontuação para a atividade muscular resultante de posturas estáticas, dinâmicas, de rápida mudança ou instáveis;
- Reconhecimento da importância do acoplamento no manuseamento de cargas;
- Fornecimento da indicação da urgência necessária;
- Criação de um método simples.

O REBA fornece uma pontuação geral que considera todas as partes do corpo, além da carga manuseada e tipo de acoplamento. Através de uma metodologia “passo a passo”, baseia-se em valores de diversas tabelas (Joshi & Deshpande, 2020) e divide o corpo em dois grupos principais: Grupo A (tronco, pescoço e pernas) e Grupo B (braços, antebraços e pulsos), que se encontram representados na Figura 7.

Tal como se pode verificar na Figura 7, para cada grupo, é atribuída uma avaliação a cada segmento conforme as características da postura corporal. Começa-se pela atribuição de uma pontuação aos segmentos do Grupo A e daqui resulta a pontuação do Grupo A. A esta pontuação, é adicionada uma correção de carga/força obtendo-se, então, a Pontuação A. Quanto ao Grupo B, após a avaliação individual dos seus segmentos, aplica-se uma correção de ligação/ *coupling*, obtendo-se a Pontuação B. A Pontuação A e a Pontuação B consolidam-se numa Pontuação C e, de seguida, é aplicada uma correção de atividade (devido a partes do corpo estáticas, ações repetidas ou alterações rápidas à postura), resultando na Pontuação REBA.

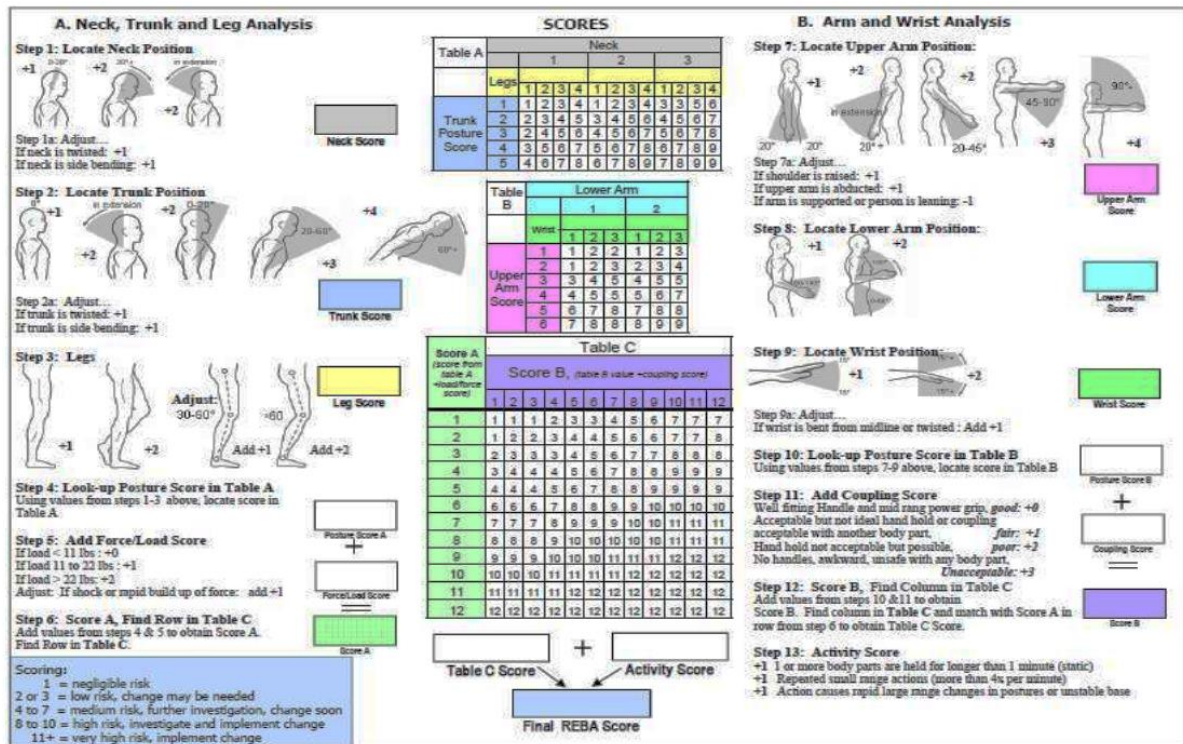


Figura 7 – Avaliação REBA.

Adaptado de Al Madani e Dababneh (2016).

Esta avaliação pode gerar uma pontuação que varia entre 1 e 15 e essa mesma pontuação estabelece um nível de risco e uma ação (Al Madani & Dababneh, 2016):

- 1 – Nível de risco negligenciável, ação não necessária;
- De 2 a 3 – Nível de risco baixo, ação pode ser necessária;
- De 4 a 7 – Nível de risco médio, ação necessária a médio prazo;
- De 8 a 10 – Nível de risco alto, ação necessária a curto prazo;
- De 11 a 15 – Nível de risco muito alto, ação necessária já.

Equação de NIOSH

A equação de NIOSH teve a sua primeira publicação em 1981 e a sua revisão em 1994 e constitui uma das ferramentas mais utilizadas na avaliação de tarefas de levantamento de cargas (Fox et al., 2019). Através da aplicação de correções a uma constante de carga, é possível obter o valor de Peso Limite Recomendável (PLR) para manipulação e levantamento de cargas. De acordo com Arjmand et al. (2015), a equação de NIOSH é dada por (4):

$$PLR = CC \times MH \times MV \times MA \times MD \times MP \times MF \quad (4)$$

Em que, segundo Waters et al. (1994):

- CC – Constante de Carga, correspondente a 23kg;
- MH – Multiplicador Horizontal, dado por (5), em que H corresponde à distância horizontal entre as mãos e a vertical, passando pelos tornozelos, e está relacionado com L , que corresponde à profundidade da carga;

$$MH = \frac{25}{H} \quad (5)$$

- MV – Multiplicador Vertical, dado por (6), em que V corresponde à altura inicial da elevação;

$$MV = 1 - 0,003 \times |V - 75| \quad (6)$$

- MA – Multiplicador de Assimetria, dado por (7), em que A corresponde à rotação do tronco;

$$MA = 1 - 0,0032 \times A \quad (7)$$

- MD – Multiplicador de Distância, dado por (8), em que D corresponde à distância percorrida durante a movimentação;

$$MD = 0,82 + \frac{0,45}{D} \quad (8)$$

- MP – Multiplicador de Pega, obtido através de P , que corresponde à qualidade da pega (boa, aceitável ou má), sendo possível obter este valor a partir da tabela presente na Figura 8;

Coupling Type	Coupling Multiplier	
	$V < 30$ inches (75 cm)	$V \geq 30$ inches (75 cm)
Good	1.00	1.00
Fair	0.95	1.00
Poor	0.90	0.90

Figura 8 - Multiplicador de Pega.

(Waters et al., 1994)

- MF – Multiplicador de Frequência, obtido através de F , que corresponde à frequência do movimento, e T , que corresponde à duração do período de elevação. É possível obter F e T através da tabela presente na Figura 9.

Frequency Lifts/min (F) [†]	Work Duration					
	≤1 Hour		>1 but ≤2 Hours		>2 but ≤8 Hours	
	V<30 [‡]	V≥30	V<30	V≥30	V<30	V≥30
≤0.2	1.00	1.00	.95	.95	.85	.85
0.5	.97	.97	.92	.92	.81	.81
1	.94	.94	.88	.88	.75	.75
2	.91	.91	.84	.84	.65	.65
3	.88	.88	.79	.79	.55	.55
4	.84	.84	.72	.72	.45	.45
5	.80	.80	.60	.60	.35	.35
6	.75	.75	.50	.50	.27	.27
7	.70	.70	.42	.42	.22	.22
8	.60	.60	.35	.35	.18	.18
9	.52	.52	.30	.30	.00	.15
10	.45	.45	.26	.26	.00	.13
11	.41	.41	.00	.23	.00	.00
12	.37	.37	.00	.21	.00	.00
13	.00	.34	.00	.00	.00	.00
14	.00	.31	.00	.00	.00	.00
15	.00	.28	.00	.00	.00	.00
>15	.00	.00	.00	.00	.00	.00

[†]Values of V are in inches.

[‡]For lifting less frequently than once per 5 minutes, set F=2 lifts/minute.

Figura 9 - Multiplicador de Frequência.

(Waters et al., 1994)

2.3 Lean Manufacturing

O *Lean Manufacturing* consiste num método de melhoria contínua com o objetivo de melhorar a produtividade e a eficiência das organizações, resultando na melhoria da qualidade e na diminuição de custos de produção. Este surgiu através do *Toyota Production System* (TPS), desenvolvido por Taiichi Ohno para melhorar a competitividade da Toyota no Japão, no final da Segunda Guerra Mundial (Lai et al., 2022). Após uma visita às instalações da Ford, em Detroit, Ohno percebeu que não tinha mercado suficiente para a produção em massa para replicar o mesmo modelo e, portanto, inspirou-se nos supermercados dos Estados Unidos da América para desenvolver o TPS através da implementação do *just-in-time* (Maia et al., 2011).

Esta filosofia tem subjacente o *Lean Thinking*, cujo objetivo consiste na procura da eliminação de desperdícios no âmbito da melhoria contínua (*kaizen*). O conceito *kaizen* ganhou popularidade nos anos 80 e, atualmente, encontra-se estruturado como um processo de melhoria contínua baseado na inovação e envolvendo toda a organização (Maia et al., 2011).

2.3.1 Toyota Production System

Na época em que surgiu o *Toyota Production System* (TPS), após a Segunda Guerra Mundial, a indústria japonesa enfrentava uma enorme falta de recursos e tinha uma produtividade muito baixa, o que foi um impedimento para a adoção de um modelo de produção em massa. Esta situação conduziu à criação da produção *Lean* implementada no sistema TPS (W. Bittencourt et al., 2011).

Deste modo, o TPS não deve ser descrito como um conjunto de práticas de produção, mas sim como um conjunto de conceitos que formam a fundação de práticas de produção (Reke et al., 2022) e os seus elementos encontram-se representados na Figura 10.



Figura 10 - Casa do TPS.

Adaptado de Liker e Morgan (2006).

A 'casa' do TPS, representada na Figura 10, assenta em dois elementos fundamentais. O primeiro consiste no foco nas pessoas e no trabalho em equipa (*People & Teamwork*), considerando que a sua seleção criteriosa e a definição de objetivos comuns. O segundo elemento é a redução de desperdícios (*Waste Reduction*) através de técnicas de *problem solving*. A combinação destes dois elementos conduz à melhoria contínua (*Continuous Improvement*), elemento central na 'casa' do TPS (Kehr & Proctor, 2017).

De seguida, existem dois pilares que seguram a estrutura da 'casa' do TPS. Começando pelo *Just-In-Time*, este consiste na produção da quantidade certa de material no momento certo, enquanto que *Jidoka*, menos conhecido e mais complexo, representa a deteção automática de desvios do que é considerado *standard* e, após isto, parar e aguardar pela sua reparação (Liker & Morgan, 2006).

Na base da casa do TPS, tem-se os conceitos de produção nivelada (*Heijunka*) e de processos normalizados e estáveis (*Stable and Standardized Processes*). A ideia de *heijunka* representa a fundação da estabilização da produção do TPS, permitindo a redução de inventários e a melhoria de processos de forma a corresponder às expectativas do cliente (Kehr & Proctor, 2017).

Todos os elementos referidos acima contribuem para os objetivos principais do TPS, que constituem o telhado da casa do TPS: melhor qualidade (*Best Quality*); menos custos (*Lowest Cost*); menor prazo de entrega (*Shortest Lead Time*); melhor segurança (*Best Safety*) e maior moral (*High Morale*).

2.3.2 Princípios *Lean*

Segundo Womack e Jones (1996), existem cinco princípios fundamentais da filosofia *Lean* que funcionam como um “antídoto contra o desperdício”:

- **Especificação do valor** – O valor é definido apenas pelo cliente, sendo que tudo aquilo que o cliente não está disposto a pagar deve ser eliminado;
- **Identificação da cadeia de valor** – A cadeia de valor consiste em todas as ações que acrescentam valor ao produto e a sua identificação tem o objetivo de eliminar as atividades que não acrescentam valor e, portanto, os desperdícios;
- **Criação de fluxo** – Transformar as atividades que acrescentam valor num fluxo contínuo, evitando quaisquer paragens e evitando tempos não produtivos;
- **Produção *pull*** – Produzir o necessário no tempo necessário, sendo a procura do cliente a ditar o ritmo de produção, reduzindo acumulação de stocks;
- **Procura pela perfeição** – Melhorar continuamente (*kaizen*) através da eliminação de desperdícios de forma cíclica.

Deste modo, é importante que estes princípios sejam seguidos aquando da implementação da filosofia *Lean* para que a mesma seja realizada de forma eficiente, aumentando a qualidade dos bens ou serviços e reduzindo a utilização de recursos.

2.3.3 Desperdícios *Lean*

Taiichi Ohno apercebeu-se de três categorias de desperdícios que afetavam a produtividade na *Toyota Motor Company*: *muda*, *mura* e *muri*. *Muda* consiste nos desperdícios que podem ser encontrados no processo de produção, refletindo a utilização não eficiente de recursos, enquanto que *mura* se refere à inconsistência e irregularidade dos processos e *muri* à sobrecarga de equipamentos e operadores (S. Smith, 2014).

A eliminação de desperdícios é uma das maneiras mais eficazes de aumentar o lucro nas empresas, considerando que os seus processos podem acrescentar valor ao bem ou serviço, ou constituir um desperdício. De forma a eliminar desperdícios, é importante reconhecê-los e, deste modo, é possível determinar sete desperdícios *Lean* (Sheikh-Sajadieh et al., 2013):

- **Sobreprodução** – Consiste em produzir acima do que é pedido. Para colmatar este defeito, deve ser mantida uma produção *pull*, produzindo só e apenas a quantidade necessária quando é necessária (Kilpatrick, 2003). Este desperdício pode gerar a acumulação de stocks e o uso desnecessário de recursos;
- **Tempos de espera** – De forma a evitar esperas por informação, equipamentos ou material, os recursos devem ser fornecidos numa base *just-in-time* (Kilpatrick, 2003). Este desperdício possui como principal efeito a acumulação de *work in progress* (WIP);
- **Transportes** – O material deve ser entregue diretamente no seu ponto de utilização, em vez de ser transportado do fornecedor para um local de receção, processado, transportado para um armazém e só depois para a linha de montagem (Kilpatrick, 2003);
- **Inventário** – Inventário excessivo impacta de forma negativa os lucros da empresa e consiste na utilização desnecessária de espaço (Kilpatrick, 2003), gerando elevados custos de armazenamento e aumentando tempo de atravessamento dos produtos, impactando diretamente o prazo de entrega;
- **Sobreprocessamento** – A identificação de processos que não acrescentam valor pode ser facilmente alcançada através da técnica *Value Stream Mapping* (Kilpatrick, 2003) de forma a evitar movimentações e atividades desnecessárias;
- **Movimentações** – Movimentações desnecessárias podem ser causadas pela falta de métodos de trabalho, layout não eficiente, fluxo de trabalho não eficiente, entre outros. Neste caso, também se pode recorrer à técnica *Value Stream Mapping* (Kilpatrick, 2003);
- **Defeitos** – Por último, mas não menos importante, a ocorrência de defeitos, quando o bem ou serviço não corresponde às expectativas do cliente, gera retrabalho, que tem custos associados, e impacta diretamente os prazos de entrega.

Na verdade, existe quem considere um oitavo defeito: o desperdício do talento humano. Isto é, não aproveitar o potencial das pessoas, colocando-as a realizar atividades não essenciais e desnecessárias (S. Smith, 2014), o que pode levar a perdas de oportunidades de crescimento.

2.3.4 Ferramentas *Lean*

Para auxiliar na implementação da filosofia *Lean*, existem uma série de ferramentas baseadas nesta filosofia que são utilizadas para a eliminação de desperdícios. De acordo com Dara et al. (2024), alguns exemplos de ferramentas *Lean* para eliminar as atividades que não acrescentam valor consistem em:

- ***Just-in-Time (JIT)*** – visa reduzir o tempo de produção e minimizar o tempo de resposta entre o fornecedor e o cliente final através de uma abordagem para a redução do desperdício e gestão eficaz de materiais;
- ***Six sigma*** – melhoria da qualidade através da eliminação de defeitos e minimização da variabilidade do processo, tendo a capacidade de alcançar uma qualidade de processo de 99.98%;
- ***Kaizen*** – incorpora a filosofia japonesa de produção centrada na melhoria contínua de forma a melhorar a qualidade e eficiência e reduzir desperdícios nos fluxos de trabalho;
- **Total Quality Management (TQM)** – alinhado com os objetivos da organização para atender às expectativas do cliente.

Nesta secção, são exploradas de forma mais aprofundada as ferramentas *Lean* utilizadas no presente projeto, nomeadamente *Standard Work*, SMED, 5S, Diagrama de *Spaghetti* e Diagrama de *Ishikawa*. Estas ferramentas são escolhidas pela sua relevância na melhoria de processos, redução de desperdícios e melhoria contínua, alinhadas com os objetivos específicos do estudo.

Standard Work

O *Standard Work*, ou Trabalho Normalizado, é uma ferramenta utilizada no *Lean Production* e foi desenvolvida em 1950 por Taiichi Ohno (Bragança & Costa, 2015), consistindo no estabelecimento de procedimentos específicos para a realização do trabalho num determinado processo de produção. Este permite definir os melhores métodos de trabalho e, assim, reduzir a variabilidade do mesmo para diferentes operadores (Ballard & Feng, 2008).

De acordo com Bragança e Costa (2015), onde não existe normalização, não existem melhorias e, assim, o *Standard Work* é composto por três elementos chave:

- **Tempo de ciclo normalizado** – consiste no tempo que leva a produzir uma unidade, desde o seu início até ao seu fim;
- **Sequência de trabalho normalizada** – diz respeito ao conjunto de tarefas sequenciadas que representam a forma mais segura e produtiva de realizar o trabalho, sendo realizadas por cada operador de forma repetida;

- **Work-in-progress (WIP) normalizado** – representa a quantidade mínima de stock que deve ser mantido para que seja possível uma produção contínua sem perturbações e tempos não produtivos.

As operações e procedimentos normalizados permitem uma produção mais eficiente com diminuição de desperdícios através da utilização de métodos e regras eficazes. Tendo acesso a uma descrição clara das operações, é possível que os operadores sejam polivalentes, pois têm acesso a toda a informação e podem aprender a realizar novas tarefas, promovendo um sistema de produção mais flexível (Bragança & Costa, 2015).

SMED

O termo SMED, acrónimo para *Single-Minute Exchange of Die*, consiste num conjunto de teorias e técnicas para realizar operações de *setup* em menos de dez minutos, ou seja, num número de minutos expresso num único dígito (Shingo, 1983). Segundo Ulutas (2011), o SMED é um dos métodos mais utilizados na redução de desperdícios nos processos de manufatura, sendo constituído por quatro etapas:

- **Etapa preliminar** – identificar as operações externas (ocorrem com a máquina em funcionamento) e as operações internas (ocorrem com a máquina parada);
- **Etapa 1** – separar as operações internas e externas;
- **Etapa 2** – converter as operações internas em operações externas;
- **Etapa 3** – racionalizar as operações internas e externas.

É possível encontrar uma representação das etapas e técnicas do SMED na Figura 11.

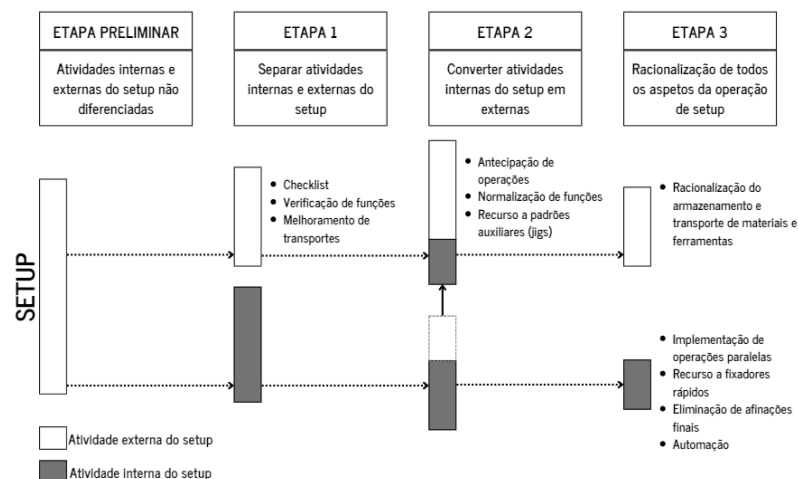


Figura 11 - Etapas e técnicas do SMED.

Adaptado de Ulutas (2011).

Tal como é possível observar na Figura 11, existem diversas técnicas que podem ser utilizadas nas diferentes etapas da implementação do SMED. Na Etapa 1, é possível recorrer a *checklists* para a distinção de operações internas e externas, verificação de funções e melhoria de transportes. Já na Etapa 2, é possível a conversão de operações internas em externas com recurso a antecipação de operações, normalização de funções e recurso a padrões auxiliares. Finalmente, na Etapa 3, é realizada a racionalização das operações externas através da racionalização do armazenamento e transporte de materiais e ferramentas e, ainda, a racionalização das operações internas através da implementação de operações paralelas, recurso a fixadores rápidos, eliminação de afinações finais e automação.

5S

De acordo com W. Bittencourt et al. (2011), a técnica 5S consiste na implementação de cinco palavras japonesas: *Seiri* (triagem), *Seiton* (organização), *Seiso* (limpeza), *Seiketsu* (normalização) e *Shitsuke* (autodisciplina). A implementação dos 5S consiste na primeira etapa da aplicação do TPS, uma vez que visa a motivação das pessoas para a melhoria do seu posto de trabalho. W. Bittencourt et al. (2011) mencionam, ainda, que um ambiente de trabalho limpo e organizado reduz o esforço, fadiga e stress na procura de peças ou ferramentas. Desta forma, é gerada uma melhor comunicação entre postos de trabalho e um aumento da qualidade e da produtividade.

Michalska & Szewieczek (2007) descrevem as etapas do 5S da seguinte forma:

- ***Seiri*** – eliminação das ferramentas e materiais desnecessários para a redução de riscos e da desordem que interfira com o trabalho produtivo;
- ***Seiton*** – organizar as ferramentas e materiais de forma a facilitar o seu acesso e manter o local de trabalho, ou seja, “deve haver um lugar para tudo e tudo deve estar no seu lugar”;
- ***Seiso*** – limpeza e arrumação rotineira do posto de trabalho para evitar a acumulação de resíduos;
- ***Seiketsu*** – implementação de normas básicas de limpeza de forma a que todos saibam exatamente quais as suas responsabilidades, resultando em regras constantes de organização, armazenamento e limpeza;
- ***Shitsuke*** – manutenção dos padrões de arrumação e limpeza, mantendo as instalações limpas dia após dia, promovendo a eficiência dos processos.

Para garantir o sucesso da implementação do 5S, é importante ter em consideração algumas ações fundamentais, como por exemplo a preparação e constante atualização de um catálogo de normas 5S e a definição das tarefas e responsabilidades da equipa 5S, responsável pelo projeto. Ainda, a formação

dos operadores e a realização da auditoria 5S de acordo com o padrão definido são cruciais para uma implementação bem sucedida da ferramenta, bem como a elaboração de fichas de normalização de trabalho e a melhoria contínua dos processos (Filip & Marascu-Klein, 2015).

Diagrama de *Spaghetti*

O diagrama de *Spaghetti* consiste numa representação visual que traça o percurso de uma determinada atividade através uma linha de fluxo contínuo. Desta forma, é possível identificar desperdícios no fluxo de trabalho, como movimentos desnecessários, e determinar melhorias para otimizar o processo (Raikar et al., 2015).

Na execução do diagrama, é possível utilizar diferentes cores para diferentes movimentos, que podem ser de um operador ou material e decorrer numa área de produção, parte de um edifício ou numa oficina (Senderska et al., 2017). Na Figura 12, é possível encontrar um exemplo de um diagrama de *Spaghetti*.

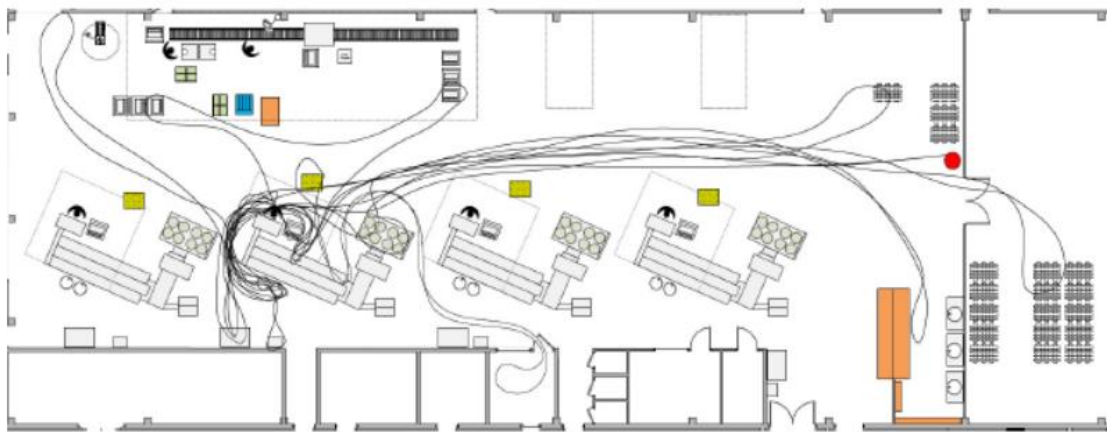


Figura 12 - Diagrama de *Spaghetti*.
(Senderska et al., 2017)

Após a análise, é possível identificar a duração e o número de movimentos, movimentos de sobreposição e de cruzamento e as suas características. Deste modo, é possível determinar ineficiências e adaptar o número de trabalhadores, bem como efetuar alterações na organização do trabalho e na disposição dos postos de trabalho (Senderska et al., 2017). Na verdade, Raikar et al. (2015) mencionam que os principais objetivos do diagrama de *Spaghetti* são:

- Identificação de desperdícios no fluxo de trabalho;
- Redução do tempo de deslocação para operações frequentes;
- Identificação das causas de atrasos (caminho crítico);
- Aumento da moral da equipa de trabalho.

Diagrama de *Ishikawa*

O diagrama de *Ishikawa*, ou diagrama de causa-efeito, consiste numa representação gráfica que demonstra a relação entre um resultado, ou efeito, e os fatores que o influenciam (Botezatu et al., 2019). Inventado por Kaoru Ishikawa, o diagrama de *Ishikawa* é considerado uma das ferramentas básicas de gestão da qualidade, sendo, também, conhecido como diagrama de espinha de peixe devido à sua forma, em que a 'cabeça do peixe' representa o problema principal, enquanto as 'espinhas' indicam as potenciais causas do problema, resultantes de sessões de *brainstorming* ou pesquisa (Wong, 2011). Os modelos mais conhecidos são o 4M, 5M e 6M, cada “M” representando uma categoria diferente para as causas envolvidas (Liliana, 2016):

- **Material** – referente a matéria-prima ou material utilizado;
- **Método** – procedimentos e métodos de trabalho;
- **Mão de Obra** – erros das pessoas que executam o processo;
- **Máquina** – falhas nas máquinas que executam o processo;
- **Meio** – ambiente interno e externo da empresa;
- **Medida** – métricas utilizadas.

É possível encontrar um exemplo de uma representação de um diagrama de *Ishikawa* na Figura 13.

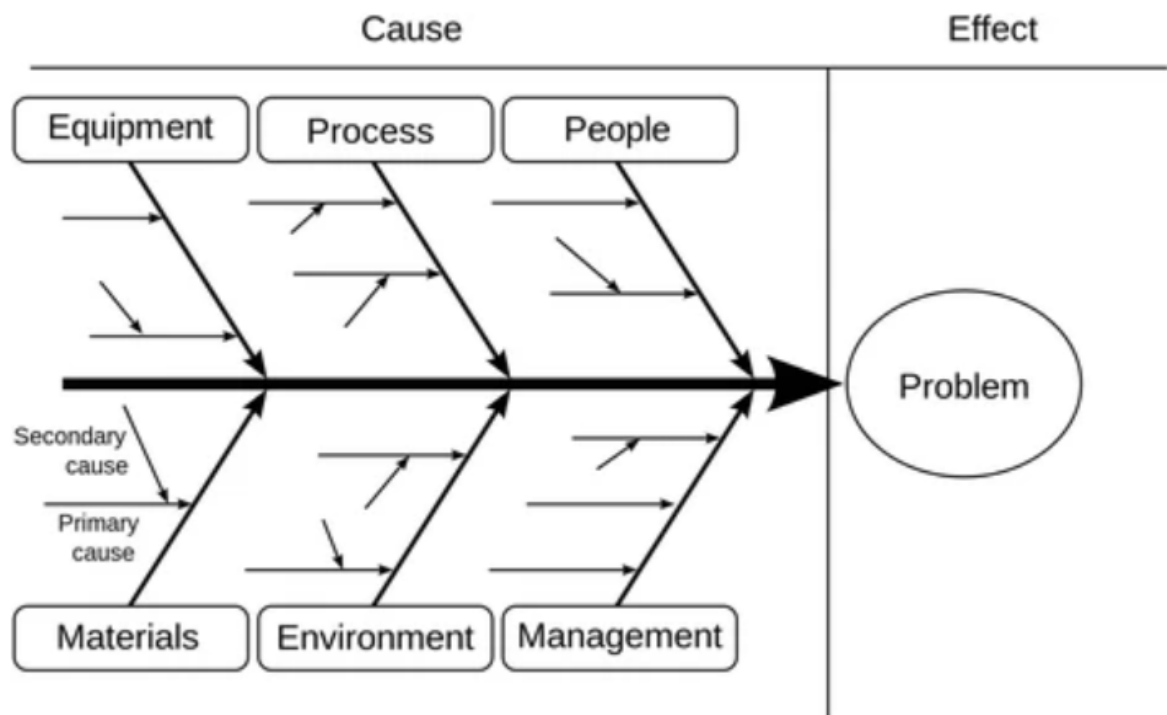


Figura 13 - Diagrama de *Ishikawa*.

(Gartlehner et al., 2017)

As etapas principais a seguir na elaboração do diagrama de *Ishikawa* são (Botezatu et al., 2019):

1. Definição do problema;
2. Elaboração da representação gráfica;
3. Análise das informações do diagrama para a identificação dos fatores críticos;
4. Desenvolvimento do plano de ação.

2.4 Análise crítica da contextualização teórica

Ao longo da presente secção, foram abordados os principais conceitos considerados essenciais para o desenvolvimento do projeto, com a finalidade de fornecer uma base teórica sólida e relevante. A contextualização teórica revelou-se crucial para a identificação e compreensão dos tópicos fundamentais que sustentam as práticas aplicadas ao longo da dissertação.

A integração dos conceitos de Estudo do Trabalho, Ergonomia e Fatores Humanos e *Lean Manufacturing* demonstrou ser essencial para aumentar a eficiência operacional e melhorar a qualidade de vida dos operadores, promovendo uma cultura de melhoria contínua que envolve todos os níveis da organização. Deste modo, a sinergia entre estes três conceitos é fundamental para responder à competitividade do mercado, onde a excelência operacional deve coexistir com a responsabilidade social. Esta abordagem integrada é estratégica, uma vez que a sinergia entre estes conceitos permite responder de forma mais abrangente aos desafios impostos pela competitividade do mercado e na melhoria dos processos produtivos (Hussain et al., 2024).

O Estudo do Trabalho é fundamental na identificação e eliminação de ineficiências através da padronização de tarefas (Groover, 2007), estabelecendo uma base sólida para a implementação contínua de melhorias. A Ergonomia e Fatores Humanos também são considerados fundamentais uma vez que abordam o impacto das condições de trabalho na saúde e segurança dos operadores, assegurando que o aumento da produtividade não resulte em um ambiente prejudicial para os operadores (Dul & Weerdmeester, 2008). Por outro lado, o *Lean Manufacturing*, centrado na melhoria contínua, garante que a melhoria dos processos seja sustentável e orientada para a excelência operacional. De acordo com Alves et al. (2019), é essencial integrar conceitos ergonómicos na formação de equipas *Lean* para que estas possam identificar riscos e aplicar soluções ergonómicas no desenvolvimento de projetos. Deste modo, é possível reduzir erros, melhorar a produtividade e diminuir o risco de LMERT, que elevam os custos de compensação dos operadores. Essas práticas também ajudam a evitar *muri* e *mura*, ambos considerados desperdícios *Lean*, e o envolvimento dos trabalhadores é crucial para o sucesso das intervenções *Lean*, dado que estes entendem melhor os desafios operacionais associados. Deste modo,

com a integração de *Lean Manufacturing* com Ergonomia e Fatores Humanos, é possível não só melhorar a produtividade e as condições de trabalho, mas também reduzir o absentismo, promovendo, assim, a eficiência e segurança operacionais, além de proporcionar uma melhor qualidade de vida para os trabalhadores (Colim et al., 2021). Assim, a integração dos conceitos cria uma abordagem equilibrada ao problema apresentado.

Em contrapartida, a integração de *Lean Manufacturing*, Estudo do Trabalho e Ergonomia e Fatores Humanos pode apresentar limitações significativas e alguns desafios. A implementação de *Lean Manufacturing* tem alguns problemas associados, tais como o aumento do ritmo de trabalho e a falta de tempo para recuperação, causando uma maior carga músculo-esquelética. Efetivamente, de acordo com Colim et al. (2021), estudos revelam que o *Lean Manufacturing* pode impactar negativamente a autonomia dos trabalhadores e a sua saúde psicossocial, dado que muitas empresas que implementam esta metodologia tendem a negligenciar os fatores ergonômicos, levando a condições de trabalho inadequadas. Dul & Weerdmeester (2008) referem, por sua vez, que o Estudo do Trabalho foca no aumento da produtividade por meio da análise de tarefas e tempos, e, se não estiver corretamente alinhado com os princípios ergonômicos, pode negligenciar aspetos humanos, como o conforto e segurança, e custos elevados devido ao aumento do desgaste físico dos operadores. Quanto à Ergonomia e Fatores Humanos, a sua implementação pode ser complexa e dispendiosa e a falta de formação adequada pode limitar a eficácia das soluções implementadas, resultando em falhas na redução do risco de lesões (Karwowski, 2006).

A integração de *Lean Manufacturing* e Ergonomia é apoiada por Oliveira et al. (2018) que demonstram, através de exemplos práticos, que a implementação simultânea de ferramentas de produção *Lean* e considerações ergonômicas pode resultar em melhorias significativas tanto na produtividade da empresa quanto nas condições de trabalho. Os autores enfatizam que o envolvimento dos trabalhadores no processo de melhoria foi um fator determinante para o êxito das soluções implementadas, sendo que a integração das considerações ergonômicas no processo *Lean* foi crucial para a otimização simultânea da produtividade e do bem-estar dos trabalhadores. No entanto, conforme sublinhado por Alves et al. (2019), resultados ainda mais substanciais poderiam ter sido obtidos com uma abordagem mais sistemática, integrando ferramentas ergonômicas desde o início, em vez de considerar os fatores ergonômicos apenas numa fase posterior do processo. Esta perspetiva reforça a importância de uma integração antecipada e contínua das considerações ergonômicas na implementação do *Lean Manufacturing*, de modo a maximizar os benefícios em termos de produtividade e bem-estar dos

trabalhadores. Estes elementos são cruciais para garantir que as práticas *Lean* sejam verdadeiramente sustentáveis e benéficas a longo prazo, tanto para as organizações quanto para os seus colaboradores. Concluindo, para superar as limitações e desafios da integração dos três conceitos, é importante investir na formação contínua e na atualização constante de conhecimentos, promovendo também a colaboração interdisciplinar entre ergonomistas e engenheiros de gestão industrial. Em termos de investigação futura, recomenda-se explorar abordagens híbridas, como a simulação digital ou modelação biomecânica, devido à sua capacidade de fornecer dados precisos sobre o impacto das medidas na segurança dos operadores e na produtividade. Esta abordagem é particularmente relevante para o contexto da indústria de produção de pneus, onde a integração eficaz das práticas *Lean*, alinhada com métodos de medição de tempos e processos, pode resultar numa melhoria significativa da eficiência operacional e na redução de desperdícios.

- **Transmissão** – realiza sistemas de controlo de motor, sistemas de transmissão, veículos híbridos elétricos, atuadores e sensores para aplicação da transmissão, gestão e sistemas de combustível;
- **Pneus** – produz pneus de veículos ligeiros para mercado de origem e mercado de substituição, pneus de veículos comerciais e pneus de motociclos e bicicletas;
- **ContiTech** – responsabiliza-se por sistemas de suspensão, tecnologia de compostos, grupo de correias e sistemas de transmissão, revestimentos de elastómeros, tecnologia de fluidos, grupo de sistemas de transmissão e controlo de vibração.

3.1.2 Localizações em Portugal

Em Portugal, a Continental está presente em seis localizações. Começando pela *Continental Mabor – Indústria de Pneus, S.A. (CMIP)*, esta é a empresa na qual tem lugar o presente projeto e está localizada em Lousado, Vila Nova de Famalicão, tal como a *Continental Pneus (Portugal), S.A. (CPP)*, responsável pela comercialização dos pneus produzidos pela Continental AG, e a *Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A. (C-ITA)*, produção de artigos têxteis para a indústria de borracha. A *Continental Advanced Antenna*, fabrico de antenas para automóveis, está localizada em Vila Real, enquanto que a *Continental Lemmerz – Componentes para Automóveis, Lda. (CLCA)* e a *Continental Teves – Sistemas de Travagem, Lda* estão localizadas em Palmela.

3.1.3 Missão e Visão

Deste modo, a Continental foca-se em criar valor para um melhor amanhã e, tendo isso em conta, desenvolve a sua Visão e Missão, presentes na Figura 15.



Figura 15 - Visão e Missão da Continental.

(Continental AG, 2024)

A Visão da Continental consiste em *“Creating Value”* no sentido em que tudo o que fazem é com o objetivo de, não só criar valor financeiro para os seus acionistas, mas também criar valor para os seus clientes e trabalhadores. *“A Better Tomorrow”* contempla o objetivo da Continental de tornar o mundo cada vez melhor com os seus produtos e serviços, tornando-o mais seguro e sustentável.

3.1.4 Valores

Na Continental, todos os trabalhadores partilham quatro valores fundamentais:

- Confiança – Preservar o sucesso e a fiabilidade;
- Paixão por Vencer – Alcançar resultados excecionais;
- Liberdade para Agir – Pôr a inovação em movimento;
- Uns pelos Outros – Trabalho com uma equipa verdadeiramente internacional.

3.2 Continental Mabor S.A.

A Continental Mabor, localizada no concelho de Vila Nova de Famalicão, resulta da união entre a empresa portuguesa Mabor, manufatura nacional de borracha, e a Continental AG. A Mabor (Figura 16) iniciou a sua laboração em 1946 e foi a primeira fábrica de pneumáticos em Portugal.



Figura 16 - Mabor - Manufatura Nacional da Borracha, S.A.

Em 1989, a Continental comprou 60% da Mabor e surge, então, a Continental Mabor, apresentada na Figura 17, sendo que em julho de 1990 inicia-se o programa de reestruturação das antigas instalações na fábrica mais moderna das atuais 21 do grupo. Em 1993, a Continental passou a deter 100% da unidade de Lousado por aquisição da participação da Mabor. Esta teve um crescimento exponencial, partindo de uma produção média diária de 4 790 pneus para 19 000 pneus por dia em 1995.



Figura 17 - Continental Mabor.

Atualmente, a empresa possui uma produção muito variada em que mais de 98% se destina à exportação, produzindo um total de 56 000 pneus por dia em média. Em termos de expansão da unidade industrial, em 1990 a Continental Mabor possuía uma área coberta de 38,736m², enquanto que atualmente ascende a 258,760m² e é constituída por diversos edifícios fabris, edifícios de armazenagem e edifícios de apoio (administrativos, sociais e de utilidades). Ainda, de acordo com a Diretiva Seveso, a Continental Mabor é considerada um estabelecimento de nível superior, pela armazenagem de substâncias perigosas.

3.2.1 Unidades

A Continental Mabor dedica-se à fabricação de dois grandes tipos de pneus: *Passenger & Light Truck Tires* (PLT) e *Comercial Specialty Tires* (CST). Na unidade PLT, produzem-se pneus para veículos comerciais ligeiros, para SUV's (*Sport Utility Vehicles*), pneus ContiSeal – vindos da produção aos quais é aplicado um selante que visa evitar a perda de ar quando perfurados por objetos com diâmetro inferior a 5mm – , pneus ContiSilent – neste caso, o selante aplicado apenas funciona como camada adesiva de uma espuma especialmente desenvolvida para absorver o ruído do pneu em rolamento – e pneus de Ultra Alta Performance, em diferentes medidas, tipos e marcas. A sua gama de fabrico inclui pneus de jante 14" a jante 22" e o seu arranque industrial em Lousado deu-se a 2 de julho de 1990. Note-se que o presente projeto terá lugar nesta unidade.

Já na unidade CST, produzem-se pneus agrícolas – sendo a Continental Mabor a única unidade do Grupo com produção deste tipo de pneus – e pneus OTR (*Off the Road*) e o seu arranque industrial em Lousado deu-se a 5 de setembro de 2017.

Além disso, a Continental Mabor possui um Centro de Avaliação e Testes de pneus agrícolas e industriais. No âmbito das tecnologias, inaugurou um Centro de Desenvolvimento de soluções de informação que, após o seu teste em Lousado, são replicadas para outras fábricas do Grupo (*Continental Mabor, 2024*).

3.2.2 Missão e Visão

A sua Visão reside em ser LÍDER no setor de pneus da Continental, sendo isto um acrónimo que se traduz no seguinte:

- Lousado eficiente;
- Inova e antecipa as necessidades dos clientes;
- Desenvolve produtos de alta tecnologia;
- Excelente no conhecimento e nos processos;
- Rentável de forma sustentada.

Tendo isto presente, a Missão da Continental Mabor consiste em:

- Criar valor e crescer de forma sustentada e socialmente responsável;
- Satisfazer os clientes com produtos, serviços e soluções de alta tecnologia;
- Priviligiar a melhoria contínua com vista à eficiência, qualidade, flexibilidade e inovação;
- Promover a competência, motivação e excelência dos nossos colaboradores.

3.2.3 Política da Empresa

Por fim, a Política da Continental Mabor assenta nos Valores do Grupo, na sua Visão e na sua Missão. São ainda os seus compromissos:

- Cumprir as obrigações legais em vigor e outras aplicáveis;
- Proporcionar condições de trabalho saudáveis e seguras, através da eliminação de perigos e redução de riscos;
- Prevenir e controlar os acidentes graves envolvendo substâncias perigosas;
- Garantir a proteção do ambiente incluindo a prevenção da poluição e o uso sustentável dos recursos;
- Consultar e envolver os colaboradores no âmbito da saúde e segurança;
- Disponibilizar os meios humanos, tecnológicos e financeiros para implementar e manter os diversos sistemas de gestão.

3.3 Direção de Engenharia Industrial

O presente projeto está a ser realizado sob orientação da equipa de Direção de Engenharia Industrial. Esta possui várias responsabilidades, como o estudo e cálculo dos tempos-padrão, elaboração de métodos de trabalho, liderar atividades de definição de layout fabril em conjunto com outras direções,

calcular capacidades dos equipamentos e indicadores fabris e propôr sistemas de prêmios e fazer o seu cálculo. Ainda, é responsável por determinar as necessidades dos meios de produção (operadores e equipamentos) para melhorar a eficiência, efetuar estudos sobre os processos produtivos e participar em projetos de melhoria com outras áreas, bem como liderar o sistema de sugestões da empresa.

A Direção de Engenharia Industrial tem como Visão “Ser referência da Engenharia Industrial no Grupo Continental” e como Missão:

- Paixão por vencer através da eficiência, garantindo investimentos e projetos sustentados;
- Dar mais confiança aos dados, indicadores e incentivos;
- Cooperar uns pelos outros através de melhorar as condições dos postos de trabalho, otimizando a organização do espaço e fluxos de meios produtivos e logísticos;
- Contribuir para o espírito inovador na Melhoria Contínua, proporcionando a todos a liberdade para Agir.

3.4 O pneu

Os pneus PLT possuem uma estrutura complexa, sendo constituídos por dois componentes principais: o piso e a carcaça. O piso consiste na parte que entra em contacto direto com o pavimento e a carcaça é o que confere a estrutura ao pneu. Assim, é possível observar os diferentes constituintes do pneu na Figura 18.

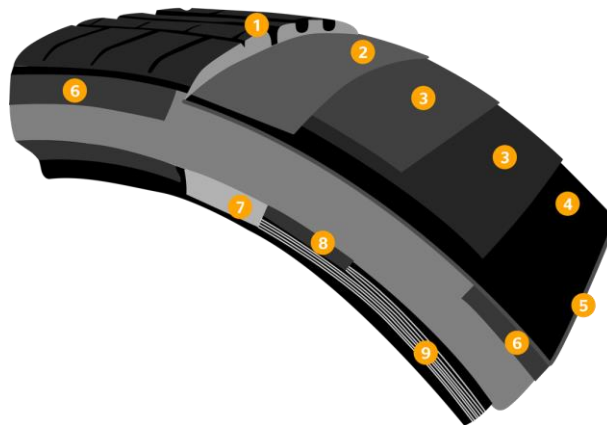


Figura 18 - Constituição do pneu.

(Continental Tires, 2024)

Passando a elaborar e caracterizar cada elemento constituinte do pneu (Continental Tires, 2024):

1. **Piso** – Feito de borracha sintética e natural, assegura expulsão da água, elevada quilometragem e boa aderência na estrada, conferindo uma condução segura. Possui três áreas distintas:

- a. **Piso** – Parte do pneu com maior contacto com a estrada, proporcionando aderência, resistência ao desgaste e estabilidade direcional;
 - b. **Base** – Por baixo do piso, existe uma segunda camada de borracha, a base, que reduz a resistência ao rolamento e os danos na estrutura interna do pneu - a carcaça;
 - c. **Ombros** – Estas são as zonas limítrofes entre o piso e as paredes laterais do pneu.
- 2. **Cinta têxtil** – Consiste num cordão de nylon, revestido com borracha e permite conduzir a altas velocidades sem perder a estabilidade e fica diretamente por baixo do piso, girando em espiral à volta da circunferência do pneu sem se sobrepor.
 - 3. **Cinta metálica** – Proporcionam ao pneu rigidez para estabilizar a sua forma, aumentando a fixação da forma, estabilidade direcional e desempenho da quilometragem do pneu e reduzindo a resistência ao rolamento.
 - 4. **Carcaça têxtil** – Camada de tecido que controla a pressão interna do pneu, suporta a carga e mantém a sua forma.
 - 5. **Revestimento interior** – Camada de borracha com a função de vedar a câmara interior do pneu cheia de ar, controlando a sua pressão, e atuar como uma câmara de ar nos pneus radiais para automóveis que não a contêm.
 - 6. **Ombro** – Feito de borracha natural, protege a carcaça das condições atmosféricas e de dados externos, sendo a principal ligação entre a parede lateral e o piso.
 - 7. **Reforço do talão** – Fibra sintética feita de nylon ou aramida. É forte e resistente ao calor, reforçando a estabilidade direcional e atribuindo uma direção mais precisa.
 - 8. **Vértice do talão (Apex)** – Calço estabilizador em borracha sintética que executa as mesmas tarefas que o reforço do talão, atribuindo um conforto de direção adicional.
 - 9. **Centro do talão** – Constituído por fios de aço revestido a borracha e assegura que o pneu assenta firmemente na jante.

3.5 Processo produtivo

O processo produtivo de pneus começa com a aquisição e armazenamento de matéria-prima, seguindo-se a produção do pneu (que acontece em cinco departamentos) e terminando com o armazenamento e expedição de produto acabado. É possível encontrar uma representação das etapas da produção do pneu na Figura 19.

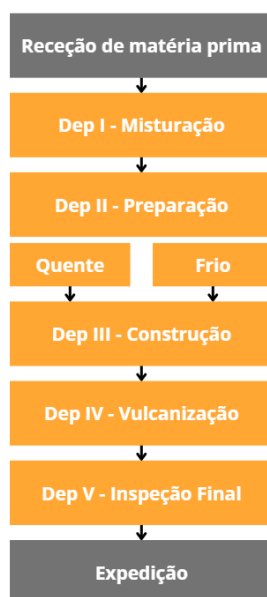


Figura 19 - Etapas da produção do pneu.

Note-se que existem três termos técnicos para descrever desperdícios existentes ao longo do processo produtivo: *rework* representa borracha sem mistura de composto que pode ser reaproveitada; *workoff* consiste em borracha com mistura de mais do que um composto que pode ser reaproveitada e *scrap* diz respeito a artigos não conformes que não são reaproveitados.

3.5.1 Departamento I - Misturação

Na Misturação, primeira fase do processo produtivo, acontece a misturação da matéria-prima em misturadores, resultando em dois tipos de composto: composto Master e composto Final. O composto Master tem como matérias-primas borracha (natural ou sintética), óleos e químicos que, mediante as características do pneu, são adicionadas em determinadas quantidades e seguem para a câmara de misturação. Posteriormente, são adicionados outros químicos e decorre o processamento numa segunda câmara de misturação, resultando daqui o composto Final.

3.5.2 Departamento II – Preparação

Na Preparação, ocorre a transformação dos componentes a ser enviados para a Construção. Este divide-se em duas áreas: Preparação a Quente e Preparação a Frio.

Preparação a Quente

Na Preparação a Quente, são produzidos pisos, paredes e talões com cunha. Começando pelos pisos e paredes, existem seis linhas de extrusão: E01 – extrusão de paredes; E02 – extrusão de paredes e pisos;

E03 e E06 – extrusão de pisos; E04 e E05 – extrusão de pisos (quadriplex). O processo de extrusão de pisos e paredes decorre da seguinte forma:

1. Alimentação e preparação: é colocada a tira de composto na tremonha e esta passa por um detetor de metais ao longo de passadeiras;
2. Extrusão: composto aquecido e homogeneizado até à feira até adquirir estado plástico;
3. Identificação de pisos e paredes: após a saída do cabeçote de extrusão, a borracha é identificada com linhas coloridas conforme receita;
4. Arrefecimento: a borracha passa por água fria para adquirir a consistência desejada;
5. Corte: são adquiridas as dimensões desejadas com recurso a uma lâmina de corte com refrigeração a água;
6. Secagem: para que na construção não haja problemas de adesão que causem posterior separação na vulcanização;
7. Controlo de qualidade: controlo de comprimento, largura e massa;
8. Armazenamento automático: o artigo é colocado nas prateleiras do carro.

Relativamente à produção de talões com cunha, esta começa com a construção de núcleos de talão que pode decorrer em três máquinas: CT1 (Centro de Talão 1); CT2 e CT3. Nestas máquinas, são processadas mesas de composto e bobines de arame, que passam inicialmente pela extrusão e, posteriormente, pelo corte:

1. Extrusão: o composto é extrudido por uma feira e, de seguida, são impregnados os fios de arame;
2. Corte: a tira de talão, resultante da extrusão, é enrolada na jante e cortada, resultando no núcleo de talão, pronto a avançar para a fase seguinte.

Para terminar o processo de produção de talões com cunha, decorre a aplicação de cunha em talão nas Apex, área na qual o presente projeto tem lugar. De uma forma geral, o processo de aplicação de cunha em talão acontece em três fases:

1. Extrusão: o composto é extrudido por uma feira com a largura pretendida para a cunha;
2. Corte: corte do perfil de borracha no centro, que resulta em duas cunhas;
3. Enformação: aplicação das cunhas na jante pretendida.

Preparação a Frio

Na Preparação a Frio, ocorre a produção da camada interna do pneu na *Innerliner*. Ainda, na Calandra, são produzidos fio têxtil e fio metálico impregnados, que posteriormente são processados nas máquinas de corte têxtil e de corte metálico, resultando em tela têxtil e tela metálica, respetivamente.

3.5.3 Departamento III - Construção

Após a Preparação, é possível passar para a Construção dos produtos semiacabados. Primeiramente, é construída a carcaça do pneu na KM (*Karcass Machine*) e, posteriormente, são montadas as telas metálicas, telas têxteis e o piso na PU (*Pressure Unity*). Daqui resulta o “pneu verde”, que é, então, pulverizado e preparado para a Vulcanização.

3.5.4 Departamento IV - Vulcanização

Os pneus verdes resultantes da Construção são transportados para as cabines de pintura, onde são pintados interiormente, existindo a aplicação de uma solução para prevenir a aderência do material nos moldes das prensas. De seguida, os pneus são levados para as prensas de Vulcanização, onde são submetidos a elevadas condições de temperatura e pressão, acontecendo uma reação química e formando um componente único. O vapor é, então, inserido no interior e o molde fecha com pressão e temperatura controladas. O produto final resultante da Vulcanização é o pneu, pronto para ser encaminhado para a Inspeção Final.

3.5.5 Departamento V – Inspeção Final

Terminado o processo de Vulcanização, os pneus são encaminhados para a Inspeção Final. Esta consiste na última fase do processo produtivo e é responsável pela aprovação final dos pneus para comercialização, sendo realizadas verificações visuais e testes às propriedades físicas para garantir a qualidade, seguidas de testes automáticos de geometria e balanceamento. No caso de os pneus serem aprovados, são paletizados e armazenados. Caso os pneus não cumpram com os requisitos e haja necessidade de retoque, são enviados para o mercado de substituição ou então é bloqueada a produção e enviado um alerta para o Departamento de Qualidade. Note-se que a inspeção é realizada a 100%, ou seja, a todos os artigos.

4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DA SITUAÇÃO ATUAL

Terminada a apresentação da empresa, juntamente com a descrição do processo produtivo, é possível passar à descrição e análise crítica da situação atual. O presente projeto tem lugar na Preparação a Quente, nomeadamente na área das Apex, onde acontece a aplicação de cunha em talão. Esta análise divide-se em quatro fases principais, que se encontram representadas na Figura 20.

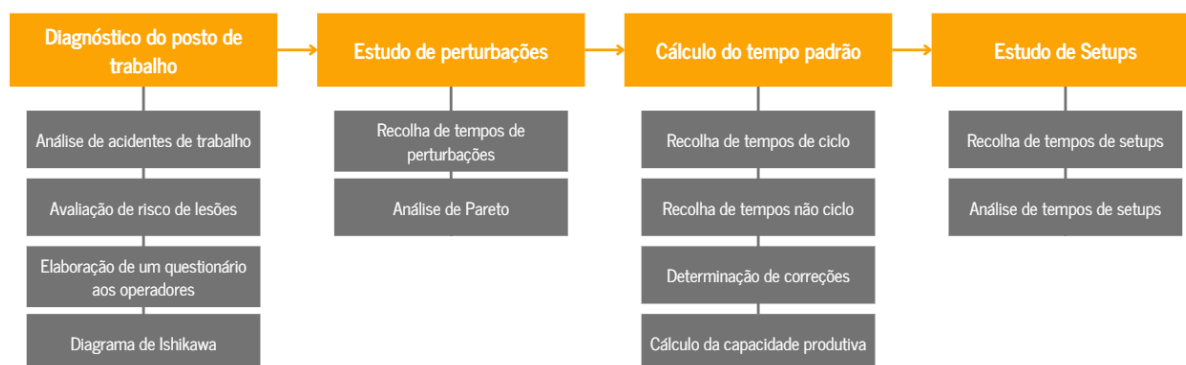


Figura 20 - Principais etapas do estudo das Apex.

Na presente configuração, o parque de máquinas é composto por 12 unidades, cada uma operada individualmente. Adicionalmente, existe um operador ajudante para cada trio de máquinas, totalizando 16 operadores. Uma representação detalhada da área das Apex encontra-se no Anexo 2 – Área Apex. A CMIP organiza esta área em quatro grupos distintos, classificados de acordo com as características e a capacidade de produção das jantes:

- **Grupo 1** – Apex 1 e 2 – diferentes das restantes porque possuem atuação elétrica em vez de atuação pneumática;
- **Grupo 2** – Apex 3, 4, 6 e 11 – adaptadas para produzir as medidas com jante pequena que produzem atualmente;
- **Grupo 3** – Apex 5, 7, 8 e 9 – adaptadas para produzir as medidas com jante média que produzem atualmente;
- **Grupo 4** – Apex 10 e 12 – adaptadas para produzir as medidas com jante grande que produzem atualmente;

Inicialmente, a extrusora é alimentada com composto (tipo A ou tipo B exclusivamente), passando por um detetor de metais que para a máquina no caso de ser ativado. O composto é processado, extrudido por uma fiação e passa a ser conhecido como perfil de borracha, passando posteriormente por uma passadeira. De seguida, o perfil passa pelo rolo de arrefecimento, que funciona como um controlador de temperatura, e pelo sistema de *loops*, passando pela *slitter*, que o divide em duas cunhas. Chegando ao

tabuleiro, as cunhas são cortadas pelas lâminas de corte no comprimento desejado e aplicadas no tambor, onde passam por uma enformação juntamente com os núcleos de talão e separadores da jante respectiva. O processo de transformação do composto em talão com cunha encontra-se representado na Figura 21.

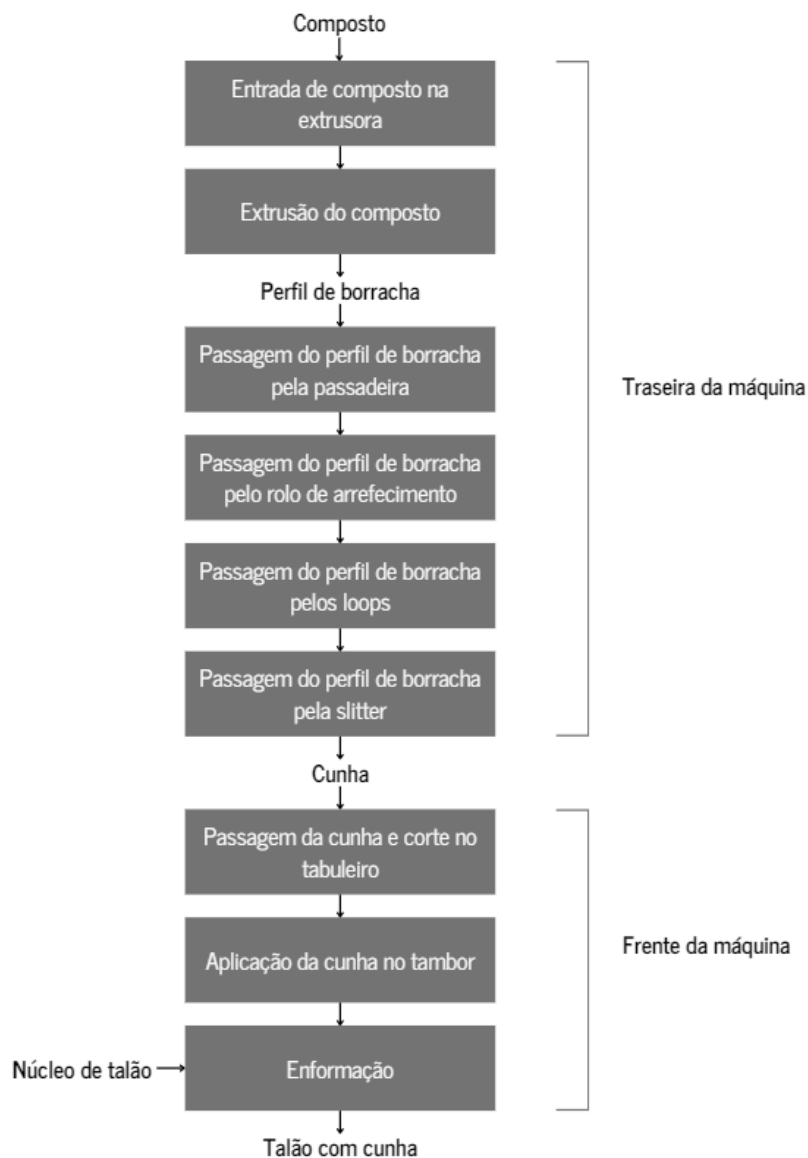


Figura 21 - Transformação do talão com cunha.

Para um melhor entendimento da transformação do talão com cunha, encontra-se presente na Figura 22 um esquema representativo da Apex.

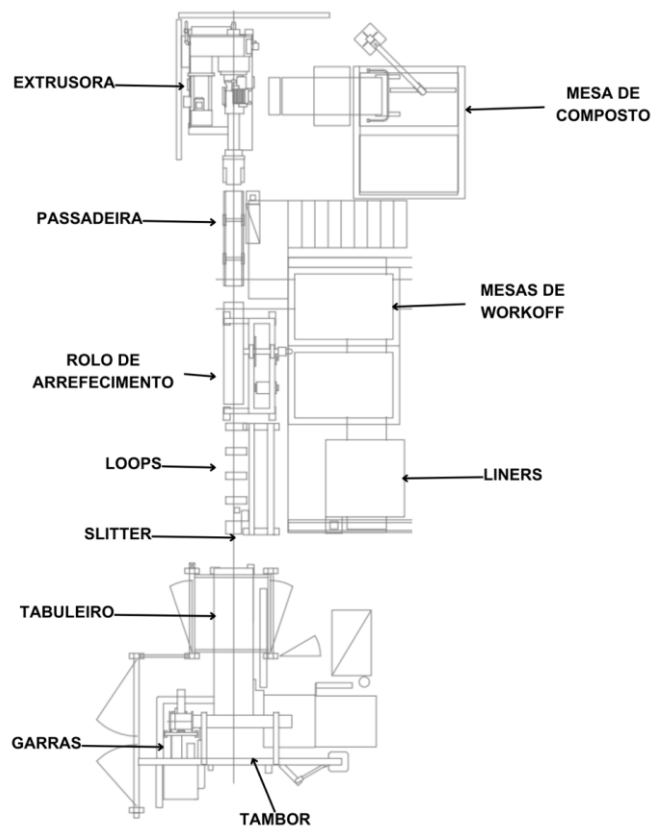


Figura 22 - Esquema representativo da Apex.

Quanto ao operador, este abastece a máquina com núcleos de talão e separadores e, após o processamento do talão com cunha final, faz o abastecimento do semiacabado para o carro, que se encontra posicionado imediatamente em frente à máquina, ao lado do corredor. O carro cheio com talões com cunha finalizados é armazenado no parque segundo um sistema FIFO para posteriormente ser enviado para a Construção pelos operadores transportadores. O *layout* do posto de trabalho nas Apex encontra-se representado na Figura 23.

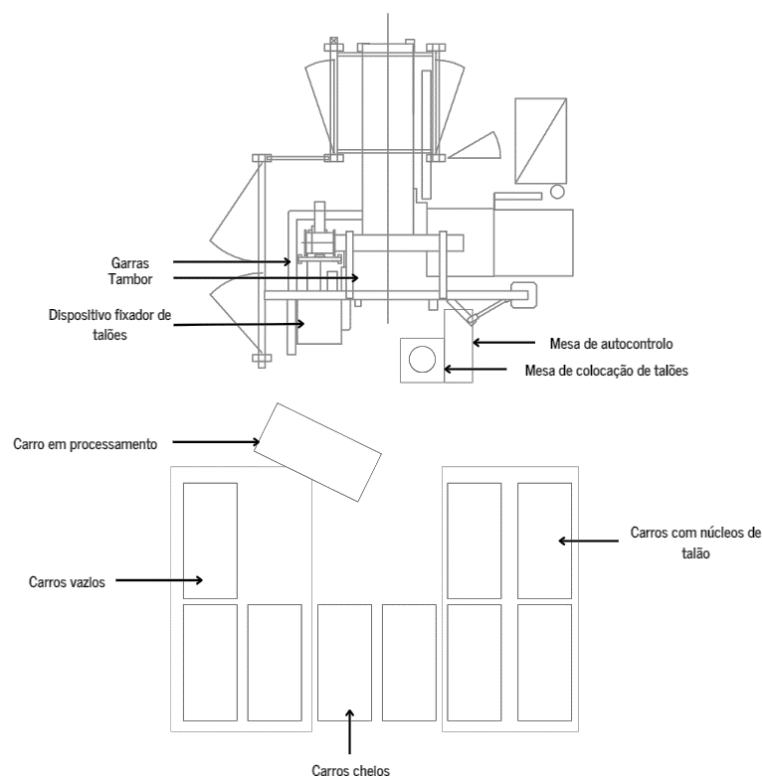


Figura 23 - Layout atual do posto de trabalho nas Apex.

4.1 Diagnóstico do posto de trabalho

Após a compreensão sobre o processo de aplicação da cunha em talão, é possível iniciar o diagnóstico do posto de trabalho. Este inclui a análise de acidentes de trabalho e a avaliação do risco de lesões. Ainda, é elaborado um questionário dirigido aos operadores e desenvolvido um diagrama de *Ishikawa* para identificar e categorizar os problemas encontrados.

4.1.1 Análise de acidentes de trabalho

Os acidentes de trabalho representam um desafio significativo para as empresas que atuam no setor automóvel e representam um risco para a segurança e o bem-estar dos trabalhadores que nele operam. Através de um estudo de dados de acidentes durante o ano de 2023 do Departamento 2 – Preparação a Quente retirados de uma base de dados da empresa, específicos das Apex, é possível identificar áreas de preocupação que requerem atenção imediata. Note-se que as estatísticas apresentadas são resultado de um estudo realizado pelo Departamento de Segurança Industrial e Ambiente da CMIP e que, por motivos de confidencialidade, os dados e gráficos elaborados apenas apresentam percentagens.

O departamento apresenta um número significativo de acidentes de trabalho no ano de 2023. Dos acidentes registrados, 15% ocorreram nas áreas de produção nas Apex, com uma distribuição de 57%

devido a fatores mecânicos e 43% acidentes devido a fatores ergonômicos, consistindo na segunda área do departamento com maior número de ocorrências, imediatamente atrás da Extrusão de pisos (Figura 24).

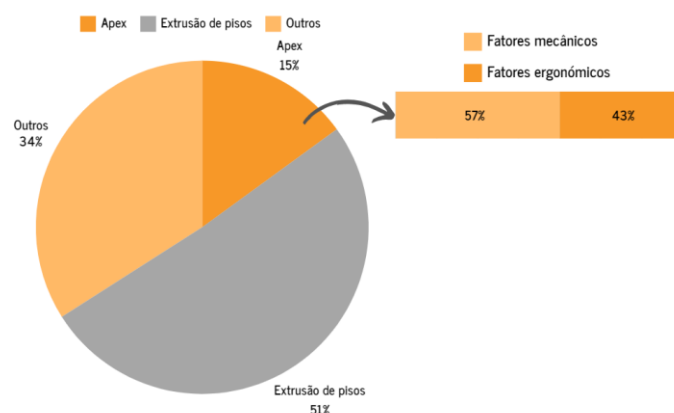


Figura 24 - Acidentes por área de trabalho.

Os locais específicos dentro das Apex com acidentes de trabalho registrados em 2023 são a Apex 1, Apex 4, Apex 6, Apex 9, Apex 10 e Apex 12, realçando a importância de uma avaliação de segurança em toda a área, garantindo que todos os postos das diferentes máquinas estejam protegidos contra riscos de acidentes.

Começando por analisar as ocorrências por causalidade agente-material, a postura de trabalho e os meios de transporte representam as principais causas, cada um representando 29% do total. Deste modo, torna-se evidente a importância de promover boas práticas ergonômicas e de segurança e higiene ocupacional, tanto na postura dos trabalhadores como no transporte de materiais dentro do ambiente de trabalho. Além disso, a presença de acidentes relacionados a produtos/ ferramentas, escadas/degraus e máquinas (cada um deles representando 14,3%) sugere a necessidade de implementação de medidas preventivas específicas para esses elementos (Figura 25).

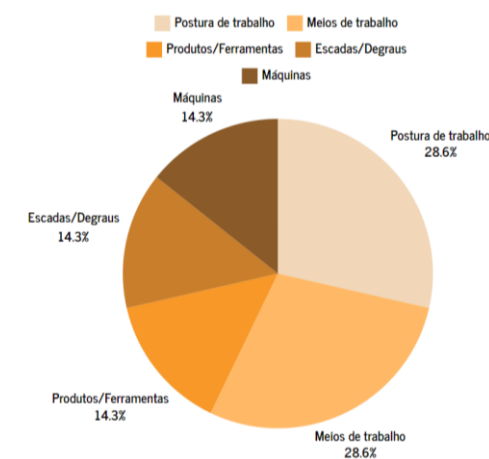


Figura 25 - Acidentes por causalidade agente-material.

A forma como os acidentes ocorrem também é um aspeto crucial a ser considerado. A existência de esforços excessivos é responsável por uma percentagem significativa de acidentes, totalizando 57%, destacando a necessidade de realizar uma revisão ao método de trabalho atual e de oferecer formação adequada aos trabalhadores sobre técnicas de levantamento e manuseamento de cargas para evitar lesões músculo-esqueléticas. Outras formas de acidente, como entalamento/esmagamento, exposição/contacto e quedas de materiais, apesar de menos frequentes, não devem ser negligenciadas e exigem medidas preventivas específicas (Figura 26).

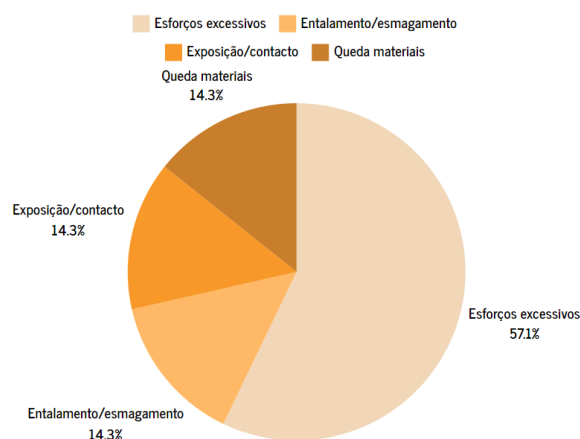


Figura 26 - Acidentes por forma de acidente.

A distribuição dos acidentes ao longo dos meses em 2023 na área das Apex dentro do departamento de Preparação a Quente:

- Março – 12%;
- Maio – 25%;
- Setembro – 17%;
- Outubro – 20%;
- Novembro – 100%;
- Dezembro – 20%.

No que concerne a número de ocorrências por tipo de lesão, é possível verificar 57% por entorse/distensão, 15% por contusão, 14% por corte/ferida e 14% por dor (Figura 27). Estas resultam em, relativamente a classificação de incapacidades, 29% com incapacidade temporária absoluta.

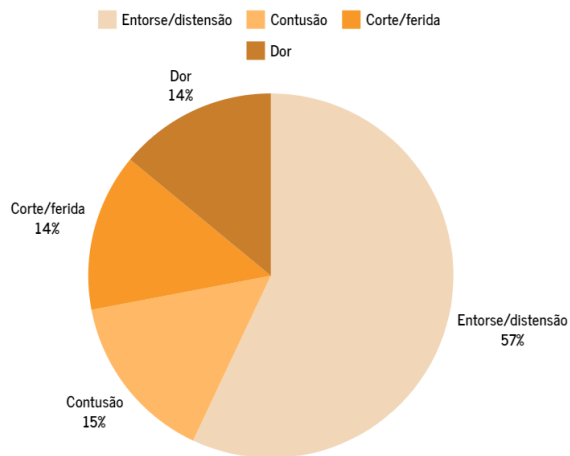


Figura 27 - Acidentes por tipo de lesão.

4.1.2 Avaliação de risco de lesões

Na área das Apex, identificam-se diversos pontos críticos do ponto de vista ergonômico que comprometem o bem-estar, a produtividade e a segurança dos trabalhadores. Um estudo realizado pelo Departamento de Segurança Industrial e Ambiente destaca a importância de uma análise aprofundada, evidenciando que os principais pontos críticos nas Apex incluem:

- **Manipulação manual de cargas** – A manipulação manual de talões com cunha e separadores para as varas do carro é uma atividade que pode resultar em lesões músculo-esqueléticas se não for realizada corretamente, tais como lesões nas costas, ombros e membros;
- **Postura corporal, incluindo postura da cabeça** – A má postura, especialmente da cabeça e do tronco, pode causar tensões musculares e problemas de coluna ao longo do tempo;
- **Carga dinâmica de trabalho muscular** – Sendo um posto com movimentos repetitivos e com posição fixa por longos períodos, o trabalho nas Apex pode levar a fadiga muscular e lesões por esforço repetitivo;
- **Operações de manipulação manual** – A separação de núcleos de talão e sua colocação na máquina juntamente com os separadores, bem como a remoção do talão com cunha do tambor, podem causar lesões devido à sobrecarga nos membros superiores;
- **Condições climáticas - altas temperaturas** – Os trabalhadores estão sujeitos ao risco de exaustão por calor, aumentando o seu stress físico e mental e potenciando outros problemas de saúde relacionados com o calor;
- **Repetitividade** – A repetitividade dos movimentos de colocação de talões juntamente com separadores, a sua remoção do tambor e colocação na mesa pode levar ao desenvolvimento de

lesões por esforço repetitivo, como tendinites ou síndrome do túnel do cárpico. A falta de variedade nas tarefas e pausas para descanso podem agravar esses problemas.

Tendo presente esta informação, procede-se à avaliação ergonómica do posto de trabalho dos operadores das Apex com recurso ao *Rapid Entire Body Assessment* (REBA), presente na Tabela 1.

Tabela 1 - Avaliação REBA ao posto de trabalho.

Grupo A	Grupo B
Tronco: 5	Braços: 5
Pescoço: 2	Antebraços: 2
Pernas: 2	Pulsos: 3
Carga/Força: 2	Ligação - <i>Coupling</i> : 1
Pontuação A: 9	Pontuação B: 9
Pontuação final: 12	

Começando pelo Grupo A, nomeadamente pelo Tronco, existe flexão e extensão até 20° com torção lateral, obtendo uma pontuação de 5, enquanto que no Pescoço, existe flexão e extensão até 20°, traduzindo-se em 2 pontos, e nas Pernas observa-se peso unilateral e uma postura instável, obtendo uma pontuação de 2. Quanto a Carga/Força, o operador manipula lotes de talões com cunha para o carro acima de 10kg, representando uma pontuação de 2. Deste modo, a Pontuação A corresponde a 9.

Quanto ao Grupo B, começando pelos Braços, observa-se uma flexão acima de 90° com elevação do ombro, resultando em 5 pontos, os Antebraços realizam flexão abaixo de 60° e acima de 100°, traduzindo-se em 2 pontos, e nos Pulsos observa-se flexão e extensão acima de 15° com desvio lateral, representando 3 pontos. Quanto à Ligação-*Coupling*, uma vez que a pega é aceitável, mas não ideal, atribui-se uma pontuação de 1. Assim, a Pontuação B corresponde a 9.

Tendo presente a Pontuação A e Pontuação B, e considerando o acréscimo de 1 ponto devido a ações repetidas mais do que quatro vezes por minuto, é obtida uma pontuação final de 12 pontos, pelo que o nível de risco é muito elevado e é necessário agir de imediato.

Sabe-se, ainda, que os operadores, aquando da colocação de lotes de talões com cunha e separadores no carro, manipulam cargas que podem atingir 20 kg, pois várias vezes realizam esta tarefa após vários ciclos e geram lotes elevados. De forma a determinar a carga máxima recomendada para esta atividade, é aplicada a equação NIOSH, presente no Apêndice 1 – Aplicação da equação NIOSH nas Apex. Note-se que esta avaliação está sujeita a alguns fatores, nomeadamente ao tamanho da jante, que está diretamente relacionado com o peso e a profundidade da pega, e a altura da vara do carro onde são

colocados os lotes, que pode ser em baixo, meio ou cima, afetando diretamente a distância da manipulação.

Tal como se pode verificar, a carga máxima recomendada para 99% dos homens e 75% das mulheres é bastante inferior à carga real manipulada pelos operadores, refletindo-se num risco de lesões músculo-esqueléticas elevado.

4.1.3 Elaboração de um questionário aos operadores

Para compreender a perspetiva dos operadores da área das Apex, foi desenvolvido um questionário específico sobre as condições do posto de trabalho. Este questionário de resposta aberta, detalhado no Apêndice 2 – Questionário aos operadores, foi aplicado tanto aos operadores das máquinas quanto aos operadores ajudantes. Os principais temas abordados dividem-se em:

- Fatores técnicos:
 - Rotina;
 - Desafios;
 - Perturbações;
 - Máquina.
- Fatores humanos:
 - Autonomia;
 - Adaptabilidade.
- Espaço para sugestões.

A seleção dos parâmetros do questionário é realizada com o objetivo de recolher uma visão abrangente das condições de trabalho dos operadores, abordando aspetos operacionais e humanos que afetam a segurança no trabalho na área das Apex. Os fatores técnicos foram incluídos para avaliar as tarefas diárias, a repetitividade e o impacto de fatores mecânicos e operacionais no desempenho e na saúde física dos operadores, especialmente no que diz respeito à utilização das máquinas e à eficiência dos processos. Já os fatores humanos foram escolhidos para explorar o nível de independência dos operadores e a sua disposição para lidar com mudanças, características importantes para o sucesso num ambiente de trabalho dinâmico e em constante evolução.

Na verdade, o questionário foi realizado por meio de entrevista a diversos operadores dos diferentes turnos (A, B, C, D e E), sendo recolhidas um total de 22 respostas de operadores de máquinas e 9 respostas de operadores ajudantes.

Começando pelos fatores técnicos, nomeadamente a **rotina**, no caso dos operadores das máquinas, o seu dia-a-dia é passado nas Apex. As suas tarefas passam pela colocação da borracha, mudança de fieiras quando necessário, mudança de temperatura, afinação de parâmetros, controlo das pressões, autocontrolo do material, verificações e manter o espaço de trabalho organizado. No geral, têm uma rotina monótona com movimentos repetitivos. Quanto aos ajudantes, realizam desdobras, abastecimento de materiais, ajudam nos *setups*, ajudam quando há problemas nos compostos e transportam as mesas de *workoff*, tendo uma rotina mais dinâmica que os operadores das máquinas.

No que toca a **desafios**, os operadores enfrentam vários ao longo do dia. Desde a pressão constante para atender às necessidades de produção até à monotonia e repetitividade do trabalho, lidam com o risco de lesões músculo-esqueléticas e demonstram necessidade de uma maior quantidade de intervalos para descanso. Além disso, certos artigos tornam-se problemáticos devido à sensibilidade na afinação da largura, na colocação das garras, na afinação do corte e na produção da quantidade correta. Nas Apex com maior variedade de artigos, os operadores devem prestar especial atenção para evitar erros. Relacionado com o setor a montante, nas CTs, a separação de núcleos de talão é difícil e exige um grande esforço dos operadores, podendo resultar no desgaste prematuro das luvas e em lesões.

No caso dos operadores ajudantes, lidar com a falta de tempo e de materiais representam desafios constantes, juntamente com o risco de lesões músculo-esqueléticas, que consiste numa preocupação devido à postura e ao manuseamento de carros pesados. A troca frequente de artigos faz com que os ajudantes tenham menos tempo disponível para as restantes tarefas, sendo que a mudança de jante, um processo demorado e fisicamente exigente, é particularmente complicada. Adicionalmente, a movimentação numa zona de trabalho potencialmente perigosa aumenta o risco de fadiga física e lesões. Todos os desafios mencionados exigem não apenas habilidade física, mas também resistência e atenção constante por parte dos operadores ajudantes para garantir eficiência e segurança no ambiente de trabalho.

Quando abordados sobre as **perturbações** que afetam suas tarefas, tanto os operadores das máquinas como os operadores ajudantes referem bastantes, tais como problemas recorrentes nos compostos utilizados, a sensibilidade dos sensores de movimento que ocasionalmente bloqueiam as máquinas, e a desregulação dos sensores de temperatura. Além disso, decorrem avarias nas máquinas e falta de materiais essenciais, como núcleos de talão e separadores, ou até mesas de borracha cortadas incorretamente. Ainda, o encravamento da borracha é mencionado como um desafio. Essas perturbações representam obstáculos significativos que exigem uma resposta rápida e eficaz para minimizar o impacto na produção.

Relativamente às **máquinas**, de uma forma geral, os operadores consideram-nas de fácil utilização, até porque vários já têm experiência, apesar de considerarem que no processo de aprendizagem pode ser difícil. Contudo, um operador refere que para determinados artigos é mais difícil devido a encravamentos gerados pelo arrefecimento da borracha. No geral, não costumam haver muitos problemas técnicos.

Passando para os fatores humanos, nomeadamente **autonomia**, todos os operadores são autónomos e realizam as suas tarefas sem necessitar de auxílio, a não ser aquelas que necessitam da colaboração do operador ajudante.

Quanto à **adaptabilidade**, vários operadores se revelam abertos à mudança. Contudo, vários referem a necessidade de ser envolvidos nesse processo de forma a que se possam adaptar melhor. Ainda, todos se mostraram dispostos a aprender coisas novas se for necessário para realizar o trabalho de melhor forma.

Quando questionados sobre **sugestões**, vários operadores não fizeram nenhuma. Apesar disso, foram apresentadas, tanto por operadores como por ajudantes, as seguintes propostas:

- Envolver mais os trabalhadores no processo de mudança – 26% dos operadores que responderam ao questionário realizaram esta sugestão;
- Aumentar o número de operadores ajudantes – 26% dos operadores que responderam ao questionário realizaram esta sugestão;
- Aumentar o número de intervalos e o tempo da pausa para almoço – 26% dos operadores que responderam ao questionário realizaram esta sugestão;
- Variar o trabalho para não ser tão repetitivo – 13% dos operadores que responderam ao questionário realizaram esta sugestão;
- Correções ergonómicas – 13% dos operadores que responderam ao questionário realizaram esta sugestão;
- Balancear o número de jantes por máquina – 10% dos operadores que responderam ao questionário realizaram esta sugestão;
- Alterar as fieiras, pois as existentes são antigas e desatualizadas – 6% dos operadores que responderam ao questionário realizaram esta sugestão.

4.1.4 Diagrama de *Ishikawa*

Finalmente, para terminar o diagnóstico do posto de trabalho, é elaborado um diagrama de *Ishikawa*, presente na Figura 28.

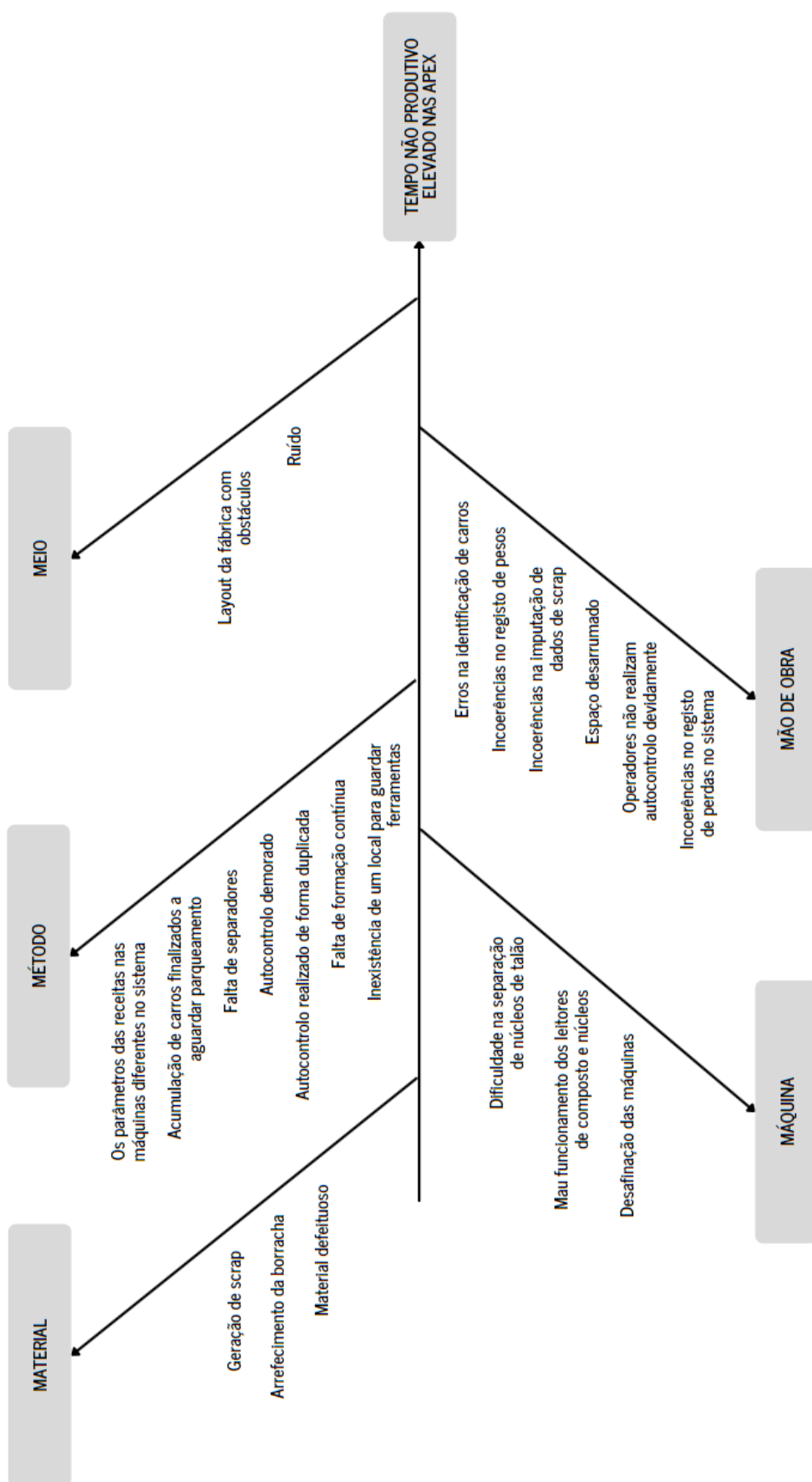


Figura 28 - Diagrama de *Ishikawa*.

Analisando o problema da existência de tempo não produtivo nas Apex, são observadas variadas causas. Começando pelo **Material**, um indicador elevado nas Apex consiste na taxa de *scrap*, o que impacta diretamente a eficiência da produção. Ainda, a borracha consiste num material sensível à temperatura e decorre com frequência o seu arrefecimento, causando encravamentos na máquina e, portanto, perdas. Existem, também, materiais danificados, tais como separadores partidos, causando risco de acidente, e mesas de composto cortadas de forma incorreta, causando a paragem das máquinas.

Quanto ao **Método**, uma causa recorrente consiste nos parâmetros das receitas nas máquinas que são diferentes dos parâmetros no sistema, o que faz com que os operadores tenham que fazer a sua alteração manualmente. Observa-se, também, a acumulação de carros finalizados a aguardar parqueamento, que causa obstrução das áreas de movimentação e desarrumação do espaço de trabalho, e a paragem de máquinas devido a falta de carros com separadores. Outra causa reside no autocontrolo que, sendo um processo que dura alguns minutos, causa o arrefecimento da borracha e, de forma a que isto não aconteça, os operadores realizam-no se forma incorreta. Além do registo do autocontrolo no sistema, os operadores também fazem o registo em papel, o que representa trabalho duplicado. A falta de formação contínua sobre segurança, métodos de trabalho e afinação de máquinas também consiste num problema para os operadores, que adquirem hábitos incorretos ao longo do tempo, bem como a inexistência de um local para a armazenagem de ferramentas em cada máquina, causando ferramentas perdidas e a desarrumação do espaço de trabalho.

Sobre o **Meio**, os principais desafios consistem no *layout* da fábrica que possui bastantes obstáculos, podendo gerar dificuldades na movimentação e acidentes, e a existência de ruído.

Relativamente a **Máquina**, os operadores têm imensa dificuldade na separação de núcleos de talão provindos das CTs, uma vez que uma destas máquinas possui um problema na lâmina de corte. Ainda, o mau funcionamento dos leitores de código das mesas de composto e carros de núcleos faz com que os operadores tenham que repetir o procedimento de validação de material até a leitura correta dos artigos, gerando perdas de tempo. Finalmente, uma situação inerente a todas as máquinas consiste na sua tendência para desafinação de parâmetros ao longo do tempo, exigindo especial atenção por parte dos operadores para que não haja produção de artigos não conformes.

Finalmente, são identificadas causas na categoria de **Mão de Obra**. Por vezes, existem erros na identificação de carros, que possuem etiquetas trocadas e, nestas situações, os operadores devem procurar os carros correspondentes. Também existem incoerências no registo de pesos de material, ou seja, o peso da cunha e talão separadamente não corresponde ao peso do conjunto talão e cunha, e na imputação de dados de *scrap* que, quando recolhido no final do turno pela equipa de *scrap*, o seu peso

não corresponde ao registado pelos operadores. Ainda, é muito comum observar o posto de trabalho desarrumado com lancheiras, garrafas de água ou outros itens pessoais, bem como ferramentas e o autocontrolo é realizado de forma incorreta. Finalmente, quando decorre a paragem das máquinas, os operadores fazem o registo do motivo da paragem no sistema e, muitas vezes, não seleccionam a perda real.

4.2 Estudo de Perturbações

Ao longo do turno, ocorrem diversas situações que fazem com que o operador interrompa o seu curso normal de trabalho para as corrigir. Essas ocorrências irregulares resolvidas pelo operador são denominadas na CMIP como perturbações e afetam diretamente o tempo padrão, pelo que é necessário quantificá-las. Assim, recorre-se à observação das 12 máquinas ao longo de um determinado período de tempo, bem como à cronometragem e registo das perturbações que decorreram nesse período. Note-se que as observações são realizadas em momentos aleatórios do dia, incluindo início, meio e fim de turno. Ainda, cada observação tem uma duração de cerca de 60 minutos.

Na verdade, ao longo do período de observação, registaram-se 30 tipos de perturbação diferentes, sendo que a distribuição da duração de cada perturbação encontra-se representada na Tabela 2.

Tabela 2 - Registo de perturbações.

Nº	PERTURBAÇÕES	%
1	Tira de composto rebenta	28,6%
2	<i>Scrapar</i>	13,4%
3	Ajustar garras	10,8%
4	Puxar cunha da máquina	7,4%
5	Máquina aplica uma só cunha	4,7%
6	Ativar sensor da máquina	4,0%
7	Ajustar guias da frente	3,7%
8	Ajustar agulhas	3,6%
9	Transportar <i>scrap/workoff</i>	2,9%
10	Ativar detetor de metais	2,2%
11	Ajustar rolo calcador	2,2%
12	Ajustar <i>slitter</i>	2,0%
13	Erro na validação do material	1,9%
14	Ajustar comprimento da cunha	1,8%
15	Ajustar guia do meio	1,5%
16	Ajustar calços	1,4%
17	Ajustar guias de trás	1,4%
18	Ajustar emenda	1,3%
19	Remover cunha do tambor	0,9%
20	Limpar posto de trabalho	0,7%
21	Não aplicação da cunha no tambor	0,7%
22	Ajustar dispositivo de fixação de talões	0,6%
23	Limpar fieira	0,4%
24	Manusear carro	0,4%
25	Ajustar pressão do tambor	0,4%
26	Ajustar lâminas de corte	0,4%
27	Ajustar velocidade da extrusora	0,2%
28	Material danificado	0,2%
29	Ajustar impressora	0,1%
30	Ajustar velocidade do transportador no tabuleiro	0,1%

Para clarificar algumas perturbações:

1. **Tira de composto rebenta:** a tira de composto que entra diretamente na extrusora ocasionalmente rebenta e o operador desloca-se até à extrusora para a colocar de novo;
2. ***Scrapar*:** termo técnico para designar quando a máquina produz um talão com cunha defeituoso e o operador deve separar a cunha do talão;
3. **Ajustar garras:** as garras não seguram perfeitamente os talões e separadores e o operador ajusta a sua altura;

4. **Puxar cunha da máquina:** a cunha não cumpre as especificações e o operador puxa a borracha do tabuleiro;
5. **Máquina aplica uma só cunha:** a borracha arrefece e uma cunha cai no momento em que é aplicada no tambor;
6. **Ativar sensor da máquina:** sensor da máquina é ativado pelo movimento do operador;
9. **Transportar *scrap/ workoff*:** o operador transporta o *scrap* ou *workoff* até ao local devido para libertar espaço do posto de trabalho;
10. **Ativar detetor de metais:** na entrada da extrusora, existe um detetor de metais responsável por detetar resíduos na tira de borracha e, quando é ativado, para a extrusora e o operador deve remover esse pedaço de borracha;
13. **Erro na validação do material:** leitor de núcleos de talão e de mesas de composto não lê código corretamente e o operador tem que realizar nova leitura;
19. **Remover cunha do tambor:** a cunha não cumpre as especificações e o operador puxa a borracha do tambor;
21. **Não aplicação da cunha no tambor:** a borracha arrefece e ambas as cunhas caem no momento em que são aplicadas no tambor;
24. **Manusear carro:** o operador deve desimpedir passagem quando existe acumulação de carros;
28. **Material danificado:** separador partido.

Deste modo, conclui-se que 2,4% do tempo observado consiste em perturbações, atribuindo este valor como correção por ocorrências irregulares ao tempo padrão. De seguida, é realizada uma análise ABC às perturbações analisadas. Começa-se, então, por elaborar um gráfico de Pareto, presente na Figura 29.

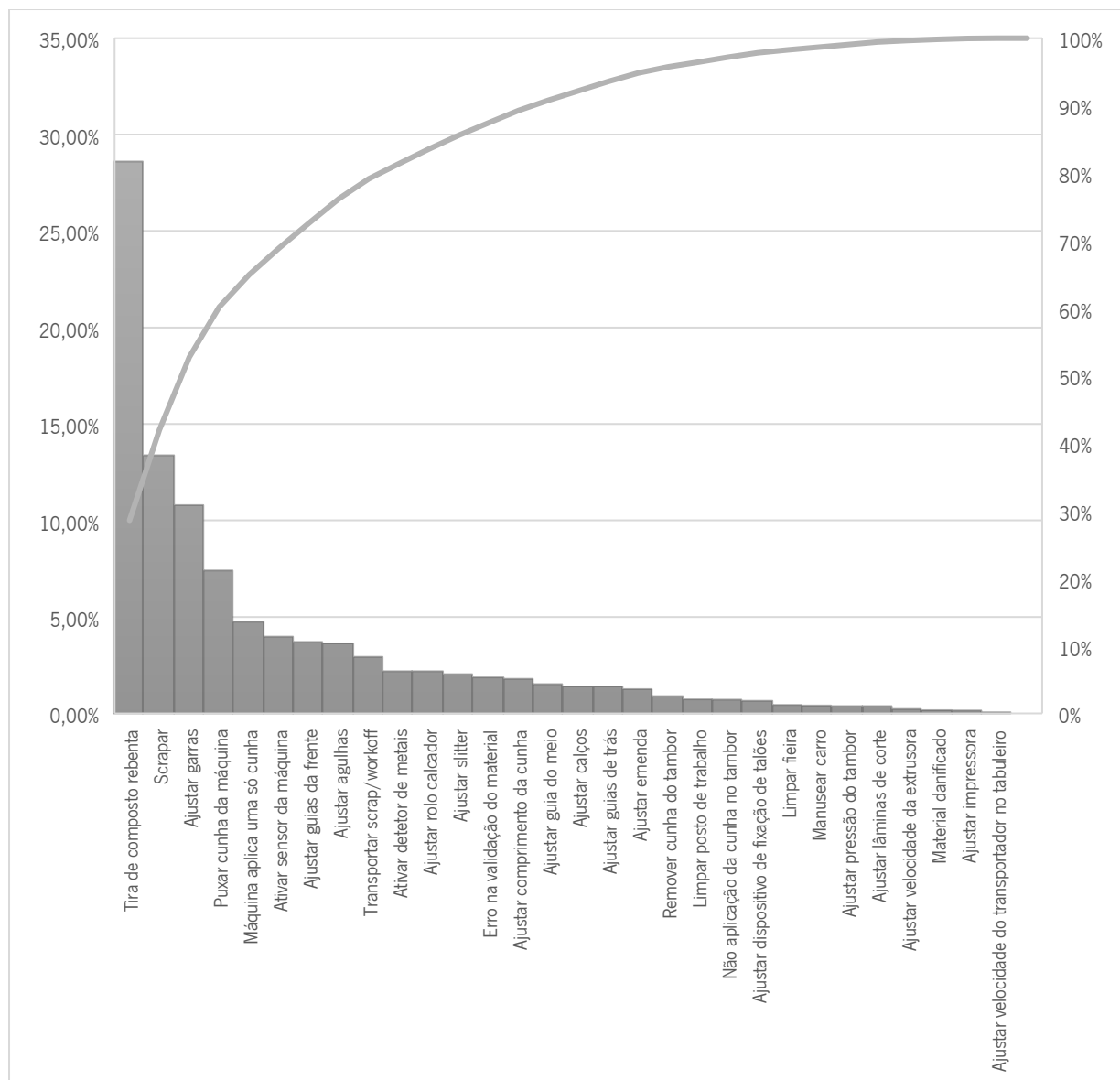


Figura 29 - Análise de Pareto a perturbações.

Tal como se pode observar na Figura 29, as cinco perturbações que correspondem a uma maior duração são “Tira de composto rebenta”, “*Scrapar*”, “Ajustar garras”, “Puxar cunha da máquina”, “Máquina aplica uma só cunha” e “Ativar sensor da máquina”, representando aproximadamente 68,9% do tempo total de perturbações. Desta forma, determinam-se as classes:

- A **classe A** (20% das perturbações) corresponde a 68,9% do tempo total de perturbações;
- A **classe B** (30% das perturbações) corresponde a 21,9% do tempo total de perturbações;
- A **classe C** (50% das perturbações) corresponde a 9,2% do tempo total de perturbações.

É possível encontrar a constituição das diferentes classes no Apêndice 3 – Análise ABC de perturbações.

4.3 Cálculo do tempo padrão

Procede-se, agora, à construção da matriz de dados de tempos a recolher e, de seguida, à recolha de tempos para o posterior cálculo do tempo padrão. Inicialmente, cada Apex foi desenvolvida com a intenção de produzir determinadas jantes, que se encontram representadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Gama de jantes produzidas por Apex.

Máquina	14	15	16	17	18	19	20	21	22
APEX 1		X	X	X	X				
APEX 2	X	X	X	X					
APEX 3	X	X	X						
APEX 4	X	X	X						
APEX 5		X	X	X	X				
APEX 6	X	X	X						
APEX 7		X	X	X	X	X			
APEX 8			X	X	X	X			
APEX 9		X	X	X	X	X			
APEX 10				X	X	X	X	X	X
APEX 11	X	X	X						
APEX 12				X	X	X	X	X	X

No entanto, para uma gestão eficiente de recursos, as máquinas não produzem todas as jantes para as quais foram designadas, mas sim apenas uma parte delas. Deste modo, de forma a determinar a matriz de dados necessários a recolher, é analisada a produção das Apex desde março de 2023 a fevereiro de 2024. Determina-se um ano de análise uma vez que a Continental Mabor produz pneus de verão e pneus de inverno, segmentados em seis meses cada. A distribuição da produção das diferentes jantes em cada Apex encontra-se representada no Apêndice 4 – Jantes produzidas em cada Apex, sendo que, por uma questão de confidencialidade de dados, os valores não são apresentados.

Contudo, sabe-se que a jante 14, com a existência de dados de produção na Apex 4 no último ano, não foi produzida nessa máquina no período de recolha de dados e a sua produção passou a ser exclusiva da Apex 6. Além disso, notou-se que, em grande parte do tempo, as jantes 15 e 16 não foram produzidas na Apex 6 – quando esta máquina se encontra ativa, produz quase exclusivamente jante 14 e composto B. As Apex 10 e 12 atuam maioritariamente na produção de jantes 20, 21 e 22 e, por outro lado, a Apex 11 dedica-se exclusivamente a jante 16 e composto B. Com estas informações a complementar a análise gráfica realizada em *Power BI*, bem como informações dadas pelo Planeamento da Produção, é elaborada a matriz de dados representada na Tabela 4.

Tabela 4 - Matriz de dados

Jante	Composto	APEX											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	A												
	B						X						
15	A			X		X				X			
	B			X	X	X		X		X			
16	A				X	X		X					
	B				X	X		X				X	
17	A		X			X		X		X			
	B		X			X		X		X			
18	A	X				X		X		X			
	B	X				X		X					
19	A							X	X	X			
	B							X	X	X			
20	A										X		X
	B										X		X
21	A												X
	B												X
22	A										X		X
	B												X

Na matriz de dados, encontram-se assinaladas as jantes e compostos produzidos pelas diferentes Apex que serão alvo de recolha de tempos.

4.3.1 Recolha dos tempos de elementos ciclo

Os elementos ciclo da operação de aplicação da cunha em talão consistem naqueles que se repetem em todos os ciclos e, de forma a recolher os seus dados de tempos, começa-se por segmentar a operação em 12 elementos divididos em quatro categorias:

- **TO** (Tempo Operador) – correspondente aos elementos exclusivamente efetuados pelo operador;
- **TM1** (Tempo Máquina 1) – correspondente aos elementos efetuados pelo dispositivo fixador de talões da máquina, que movimenta para a frente e para trás;
- **TM2** (Tempo Máquina 2) – correspondente aos elementos executados pelo tabuleiro e pelo tambor da máquina;
- **TM3** (Tempo Máquina 3) – correspondente aos elementos efetuados pelas garras, que fixam e transportam para o tambor os núcleos de talão e os separadores.

É possível encontrar os elementos representados na Tabela 5, bem como os momentos que marcam o seu início e fim.

Tabela 5 - Elementos da operação "Aplicação da cunha em talão".

TO	1. Operador coloca núcleos de talão na máquina	I: Talões e separadores finalizados na mesa
		F: Talões colocados na máquina
TO	2. Operador coloca separadores na máquina	I: Talões colocados na máquina
		F: Separadores colocados na máquina
TM 1	3. Máquina leva talões e separadores até às garras	I: Máquina inicia o movimento para a frente
		F: Máquina para na posição correta
TO	4. Operador retira talões e separadores no ciclo anterior e coloca na mesa	I: Tambor regressa à posição inicial
		F: Talões e separadores finalizados na mesa
TM 2	5. Tabuleiro desce	I: Tabuleiro parado em cima
		F: Tabuleiro parado no tambor
TM 3	6. Garras fixam talões e separadores	I: Garras abandonam a posição inicial
		F: Hidráulico vai para dentro e deixa de estar em contacto com o talão
TM 2	7. Cunha enrola no tambor	I: Tabuleiro parado no tambor
		F: Cunha enrolada no tambor
TM 1	8. Hidráulico volta à posição inicial	I: Hidráulico vai para dentro e deixa de estar em contacto com o talão
		F: Máquina parada na posição inicial
TM 2	9. Tabuleiro sobe	I: Cunha enrolada no tambor
		F: Tabuleiro parado em cima
TM 3	10. Garras levam talões e separadores para o tambor	I: Garras iniciam movimento até ao tambor
		F: Garras paradas no tambor
TM 3	11. Garras voltam à posição inicial	I: Garras paradas no tambor
		F: Garras paradas na posição inicial
TM 2	12. Enformação	I: Garras paradas no tambor
		F: Tambor regressa à posição inicial

Tendo presente esta informação, passa-se à cronometragem dos diversos elementos para diferentes Apex e diferentes medidas com as características presentes na matriz representada na Tabela 4. Em cada amostra, é observado um determinado número de ciclos e, para concluir o tempo médio final de cada elemento, é estudado, para cada um destes, o número de observações necessárias e o seu nível de confiança. Considera-se um nível de confiança mínimo de 95% e uma precisão de $\pm 5\%$. Ainda, nos elementos do operador, é realizada uma avaliação de rendimento com base da escala 100-133. A folha de registo de tempos encontra-se representada no Apêndice 5 – Folha de registo de tempos.

Tendo presentes os dados dos tempos dos diversos elementos, é possível passar ao cálculo do tempo de ciclo. Note-se que os elementos dentro de cada categoria são sequenciais e as quatro categorias de elementos decorrem em simultâneo. No entanto, a ordem dos elementos, para diferentes máquinas, decorre de forma diferente. A estrutura do processo para cada máquina encontra-se representada no Apêndice 6 – Estrutura do processo das Apex.

Para o cálculo do tempo de ciclo, determina-se como ponto de medição o início do elemento “Tabuleiro desce”. Deste modo, o tempo de ciclo encontra-se representado por (9).

$$\begin{aligned} & \text{Tempo de Ciclo} \\ & = [\text{Tabuleiro desce}] + [\text{Cunha enrola no tambor}] + [\text{Tabuleiro sobe}] + [\text{Setpoint 1}] \\ & + [\text{Garras levam talões e separadores para tambor}] + [\text{Enformação}] + [\text{Setpoint 2}] \end{aligned} \quad (9)$$

Na Tabela 6, encontram-se representados os tempos de ciclo em minutos, para 100 peças, para as 12 máquinas para diferentes artigos. Note-se que, por motivos de confidencialidade de dados, os valores apresentados resultam da multiplicação dos valores reais por um fator k.

Tabela 6 - Tempos de ciclo Apex para 100 peças.

Jante	Composto	APEX											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	A												
	B						17,23						
15	A			16,15		15,32				16,78			
	B			16,05	15,39	14,90		16,91		16,07			
16	A				17,04	15,47		17,07					
	B				15,71	15,29		16,18				13,27	
17	A		16,94			15,45		16,26		16,65			
	B		16,41			15,68		16,78		15,87			
18	A	17,62				15,47		16,47		16,73			
	B	17,28				15,71		16,55					
19	A							16,91	15,26	16,57			
	B							17,07	14,50	16,28			
20	A										19,29		19,71
	B										19,03		20,50
21	A												20,42
	B												19,37
22	A										20,21		21,76
	B												21,94

4.3.2 Recolha dos tempos dos elementos não ciclo

Ao longo do turno, o operador é responsável por outras tarefas além da aplicação de cunha em talão, tarefas essas que afetam diretamente o tempo de ciclo. Apesar de não serem realizadas a cada ciclo, decorrem com uma frequência fixa e, por isso, são tratadas como elementos não ciclo. São elas:

1. Troca de carro de separadores;
2. Troca de carro de núcleos;
3. Autocontrolo;
4. Colocar lote de talões com cunha no carro;

5. Colocar talões ou separadores na vara;
6. Abastecer tira de composto.

Começando pela troca de carro de separadores, quando completam o carro, os operadores imprimem a etiqueta de lote, colocam-na no carro e realizam a troca. Um carro cheio contém 220 talões com cunha, pelo que este processo se repete a cada 110 ciclos.

Relativamente à troca de carro de núcleos, quando terminam os núcleos, o operador remove o carro antigo e faz a troca para um novo carro, validando a sua etiqueta. Um carro cheio contém 500 núcleos, pelo que este processo se repete a cada 250 ciclos.

O autocontrolo é realizado a cada duas horas, desde o início de uma nova medida, quando a máquina envia um aviso para o operador realizar a medição da espessura da cunha, do peso da cunha e do peso do talão com cunha de ambos os lados.

O operador deve, também, colocar o lote de talões com cunha no carro, após um determinado número de lotes colocados na mesa. A frequência desta operação depende da medida em questão, uma vez que está diretamente relacionada com o peso. Tendo presente a informação do peso de cada medida, e considerando as cargas máximas calculadas a partir da equação de NIOSH para as varas de cima do carro presente no Apêndice 1 – Aplicação da equação NIOSH nas Apex, considera-se o número de ciclos máximo a colocar na mesa para cada jante presente na Tabela 7.

Tabela 7 - Frequência de abastecimento de talões com cunha no carro

Jante	Ciclos
14	13
15	11
16	11
17	10
18	10
19	9
20	8
21	8
22	7

Quando os núcleos e os separadores na vara de suporte são consumidos na sua totalidade, o operador abastece, deslocando-se aos carros e transportando os núcleos e separadores. Esta operação repete-se a cada 20 ciclos.

Finalmente, cada mesa de composto é composta por quatro tiras e, quando uma tira é consumida, o operador desloca-se até à mesa, faz a inserção da nova tira de composto na extrusora e volta ao posto. A frequência com que esta operação acontece está relacionada com o peso da cunha, pelo que cada tipo de jante e cada tipo de composto terá uma frequência diferente. Tendo presente a informação do

peso da cunha de cada medida e que uma mesa de composto B pesa 1000 kg e uma mesa de composto A pesa 900 kg, considera-se o número de ciclos máximo para abastecer a extrusora com uma nova tira de composto presente na Tabela 8.

Tabela 8 - Frequência de abastecimento de nova tira de composto na extrusora.

Jante	Composto	Ciclos
14	A	773
	B	1684
15	A	688
	B	1270
16	A	615
	B	1139
17	A	581
	B	1039
18	A	550
	B	1258
19	A	497
	B	1147
20	A	468
	B	1189
21	A	466
	B	1263
22	A	438
	B	952

Note-se que para a recolha de tempos dos elementos não ciclo também é analisado o número de observações necessárias, juntamente com a determinação do nível de confiança, à semelhança dos elementos ciclo. Os tempos não ciclo, para 100 peças, encontram-se representados na Tabela 9, considerando que estes resultam da multiplicação dos valores reais por um fator k.

Tabela 9 - Tempos não ciclo Apex para 100 peças.

Jante	Composto	APEX											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	A												
	B						1,28						
15	A			1,44		1,44				1,44			
	B			1,36	1,36	1,34		1,36		1,36			
16	A				1,47	1,44		1,47					
	B				1,36	1,36		1,36				1,34	
17	A		1,52			1,49		1,52		1,52			
	B		1,41			1,41		1,44		1,41			
18	A	1,54				1,52		1,52		1,52			
	B	1,41				1,39		1,41					
19	A							1,60	1,60	1,60			
	B							1,47	1,44	1,47			
20	A										1,70		1,70
	B										1,54		1,57
21	A												1,73
	B												1,54
22	A										1,81		1,83
	B												1,68

4.3.3 Determinação do tempo padrão

O cálculo do tempo padrão encontra-se representado por (10).

$$\text{Tempo Padrão} = (\text{Tempo Ciclo} + \text{Tempo Não Ciclo}) \times (1 + \% \text{Perturbações}) \times (1 + \% \text{Descanso}) \times (1 + \% \text{Fadiga}) \quad (10)$$

Até ao momento, são determinados os tempos dos elementos ciclo e dos elementos não ciclo para diversos artigos em diferentes Apex. Ainda, determina-se uma correção para perturbações de 2,4%. Relativamente à correção de descanso, a CMIP admite uma correção de 6% para a duração do turno. De seguida, procede-se à determinação da correção de fadiga, com base nas tabelas presentes no Anexo 1 – Tabelas para cálculo da correção de fadiga. Tal como é possível verificar no Apêndice 7 – Cálculo de correções de fadiga, a correção de fadiga a aplicar no cálculo do tempo padrão é de 16%. Tendo todas as variáveis da equação, é possível proceder ao cálculo do tempo padrão por 100 peças, que se encontra representado na Tabela 10.

Tabela 10 - Tempos padrão Apex.

Jante	Composto	APEX											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	A												
	B						20,12						
15	A			19,13		18,22				19,81			
	B			18,93	18,22	17,65		19,87		18,96			
16	A				20,12	18,39		20,15					
	B				18,56	18,10		19,07				15,88	
17	A		20,07			18,42		19,33		19,75			
	B		19,38			18,59		19,81		18,79			
18	A	20,83				18,47		19,55		19,84			
	B	20,32				18,59		19,53					
19	A							20,12	18,33	19,75			
	B							10,15	17,33	19,30			
20	A										22,83		23,28
	B										22,37		23,99
21	A												24,08
	B												22,74
22	A										23,94		25,64
	B												25,67

4.3.4 Cálculo da capacidade produtiva

Após a determinação dos tempos padrão, passa-se ao cálculo da capacidade produtiva das Apex. Inicialmente, é necessário determinar o tempo disponível diário e, portanto, começa-se por recolher a informação relativa às perdas associadas a paragens em 2024. Essa informação encontra-se representada na Tabela 11.

Tabela 11 - Registo percentual de paragens em 2024.

Paragem	Categoria	%
Reparações e manutenções planeadas	Planeada	0,75
Pausas para descanso	Planeada	0,48
Testes e desenvolvimento	Planeada	0,53
Setups	Não planeada	5,91
Outras reparações e manutenções	Não planeada	0,90
Baixa eficiência	Não planeada	4,92
Atrasos na produção	Não planeada	4,22

Adicionalmente, é importante considerar a percentagem de *scrap* e ciclos falsos resultante do processo. Um ciclo falso corresponde a um ciclo não conforme produzido pela máquina. Estes ciclos, embora sejam não conformes, entram na contagem no sistema de lotes produzidos, já que a máquina executou as operações na sua totalidade e, por isso, é necessário recolher informações sobre a sua percentagem

de ocorrências. Ao longo do período de observação no estudo de perturbações, foram registados 1,4% de ciclos falsos. Sabe-se, também, que na Preparação a Quente o objetivo de *scrap* é de 0,3%. Deste modo, acrescentando as perdas de paragens, obtém-se uma correção de perdas de capacidade de 19,41%. Aplicando essa correção, é possível obter o tempo disponível diário, representado por (11).

$$\begin{aligned} \text{Tempo Disponível} &= 24 \text{ horas} \times 12 \text{ máquinas} \times (1 - 19,41\%) = 247 \text{ horas} \\ &= 13\,926 \text{ minutos} \end{aligned} \quad (11)$$

Tendo o tempo disponível, passa-se à determinação do tempo médio ponderado de produção por artigo. No capítulo 4.3.3 determinou-se o tempo padrão de cada artigo em cada Apex e, para saber o tempo padrão médio ponderado por artigo, é necessário analisar a distribuição da produção dos artigos por Apex. Essa informação, para o ano de 2024, encontra-se presente na Tabela 12.

Tabela 12 - Distribuição percentual dos artigos por Apex.

Jante	Composto	APEX											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	A												
	B						100%						
15	A			73,3%		11,6%				15,1%			
	B			60,8%	1,3%	9,4%		10,1%		18,4%			
16	A				71,6%	12,6%		15,8%					
	B				19,6%	9,9%		9,1%				61,4%	
17	A		72,8%			18,8%		3,3%		5,1%			
	B		71,3%			15,5%		3,6%		9,6%			
18	A	62,9%				20,8%		8,8%		7,5%			
	B	58,2%				23,7%		18,1%					
19	A							14,1%	75,6%	10,3%			
	B							29,5%	40,8%	29,7%			
20	A										59,9%		40,1%
	B										60,1%		39,9%
21	A												100%
	B												100%
22	A										38,9%		61,1%
	B												100%

De seguida, é possível passar à determinação do tempo padrão médio ponderado e, com os dados da procura diária média por artigo em 2024, o tempo necessário para a produção, presente na Tabela 13.

Tabela 13 - Tempo médio ponderado de cada artigo.

Jante	Composto	Procura média diária em 2024	Tempo Médio Ponderado	Tempo Necessário Total
14	A	0	0,00	0,00
	B	3 023	20,12	608,40
15	A	1 942	19,12	371,40
	B	9 586	18,90	1811,77
16	A	6 571	19,91	1308,17
	B	13 685	16,92	2314,93
17	A	4 820	19,72	950,41
	B	2 726	19,22	523,76
18	A	4 744	20,16	956,42
	B	3 122	19,77	617,18
19	A	7 070	18,73	1324,22
	B	4 369	18,75	819,09
20	A	4 084	23,01	939,78
	B	2 009	23,02	462,35
21	A	2 197	24,08	529,01
	B	335	22,74	76,30
22	A	557	24,98	139,09
	B	595	25,67	152,67
Tempo Final		71 436	19,46	13 905

A capacidade produtiva de talões nas Apex é, então, 35 773 pneus, tal como representado por (12).

$$\begin{aligned}
 \text{Capacidade} &= \frac{\text{Tempo Disponível}}{\text{Tempo médio ponderado}} = \frac{13\,926}{19,46} = 71\,546 \text{ talões} \\
 &= 35\,773 \text{ pneus}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Conclui-se, então, que a capacidade produtiva média atual por máquina corresponde a 2 981 pneus.

4.4 Estudo de *Setups*

Na operação de aplicação de cunha em talão, existem três tipos de *setups*: mudança de fieira; mudança de composto e mudança de jante. Ao longo deste capítulo, é realizado um estudo detalhado dos tempos associados a cada tipo de *setup* e às suas operações correspondentes.

Na verdade, existem tarefas que o operador deve realizar em todos os *setups*, independentemente do seu tipo. Primeiramente, o operador realiza a troca de carro de separadores e procede à colocação dos parâmetros da nova receita no sistema. Realiza, se for aplicável, a troca de carro de núcleos de talão e a sua validação e, de seguida, faz a mudança em questão. Após a mudança, acompanha a cunha ao longo da máquina, ao longo da *splitter* e, finalmente, realiza as afinações à máquina necessárias e inicia

a produção normal. Estas tarefas, e respetivas etapas e sua duração, encontram-se representadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Tarefas comuns a todos os *setups*.

Número	Tarefa	Etapas	Duração (minutos)
1	Trocar carro de separadores	Imprimir etiqueta	0,35
2		Transportar etiqueta até carro antigo	0,17
3		Remover carro antigo	0,30
4		Colocar carro para nova corrida	0,32
5		Preencher ficha	1,02
6	Alterar receita	Inserir nova receita	1,13
7	Trocar carro de núcleos	Remover carro antigo	0,38
8		Colocar carro para nova corrida	0,27
9		Validar nova etiqueta	0,33
MUDANÇA			
10	Acompanhar cunha ao longo da máquina	Passar cunha pela passadeira	1,30
11		Passar cunha pelo rolo de arrefecimento	1,02
12		Passar cunha pelos <i>loops</i>	1,92
13	Acompanhar cunha ao longo da <i>slitter</i>	Fazer enfiamento da cunha na <i>slitter</i>	0,33
14		Ajustar guias da <i>slitter</i>	0,57
15		Ligar <i>slitter</i>	0,08
16		Puxar cunha pela <i>slitter</i>	0,53
17	Iniciar produção	Deslocar-se até à frente da máquina	0,20
18		Puxar cunha e realizar afinações necessárias	6,68

É de notar que o último elemento (puxar cunha e realizar afinações necessárias) consiste naquele que tem maior variação na sua duração, uma vez que está diretamente relacionado com o tipo de mudança e a destreza do operador que a executa.

4.4.1 Mudança de fieira

Começando pela mudança de fieira, esta é realizada unicamente pelo operador da máquina, sem necessidade de ajuda do operador ajudante, com o objetivo de alterar a largura da cunha. Existem duas categorias principais de cunha, cunha larga e cunha estreita, cada uma delas com uma série de larguras. Portanto, a mudança de fieira pode acontecer para alterar uma cunha larga para cunha estreita, cunha estreita para cunha larga, cunha larga para cunha larga ou cunha estreita para cunha estreita. Cada Apex possui um conjunto de fieiras armazenado em cima da extrusora, onde é possível mantê-las a uma temperatura adequada para colocação direta no cabeçote.

As etapas constituintes da mudança de fieira, bem como a sua duração, encontram-se representadas na Tabela 15.

Tabela 15 - Etapas da mudança de fieira.

Número	Tarefa	Etapas	Duração (minutos)
1	Mudar fieira	Se for o caso, remover cunha antiga	0,85
2		Deslocar-se até à extrusora	0,25
3		Desligar extrusora e pressão do cabeçote	0,08
4		Remover fieira antiga	0,20
5		Limpar fieira antiga	0,17
6		Limpar cabeçote	0,22
7		Colocar nova fieira	0,20
8		Ligar pressão do cabeçote e extrusora	0,13

Deste modo, obtém-se uma duração total final de mudança de fieira equivalente a 19 minutos. De forma a melhor entender o processo de mudança de fieira, é elaborado um gráfico de sequência, que se encontra representado no Apêndice 8 – Gráficos de sequência de *setups*. A partir do diagrama, reconhece-se que, ao longo da mudança, 51% do tempo corresponde a operações, 6% a transportes, 8% a armazenamentos e 35% a controlo.

4.4.2 Mudança de jante

Passando para a mudança de jante, esta é realizada pelo operador da máquina e necessita do auxílio do operador ajudante. Para realizar esta mudança, é necessário que o operador ajudante se desloque à zona de armazenamento de carros de acondicionamento de tambores e traga para junto da máquina o carro com o tambor da jante nova, juntamente com um carro de auxílio de mudança. As etapas constituintes da mudança de jante, bem como a sua duração, encontram-se representadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Etapas da mudança de jante

Número	Tarefa	Etapas	Duração (minutos)
1	Mudar tambor	Remover mesa e tapete	0,58
2		Deslocar-se até área de armazenamento de tambores e trazer carro	1,77
3		Desapertar tambor antigo	3,40
4		Trazer carro com novo tambor para junto da máquina	0,58
5		Colocar tambor no carro	0,67
6		Retirar carro e colocar tambor novo no carro	1,72
7		Empurrar carro de mudanças até ficar centrado na máquina	0,92
8		Colocar e apertar novo tambor	1,65
9		Retirar e arrumar carro de mudanças	1,73
10		Terminar de apertar tambor	2,60
11		Colocar mesa e tapete na posição inicial	0,82
12	Ajustar fixadores magnéticos	Posicionar os suportes de talões e separadores	3,13
13	Mudar garras	Remover garras antigas	1,70
14		Arrumar garras antigas	0,38
15		Transportar garras novas para junto da máquina	0,40
16		Posicionar garras novas	2,15
17	Mudar tabuleiros	Deslocar-se até a máquina	0,17
18		Retirar tabuleiros de corte	0,60
19		Posicionar novos tabuleiros	0,75

Uma vez que as etapas para a execução da mudança são realizadas por dois operadores em simultâneo, elabora-se um diagrama de atividades múltiplas, presente no Apêndice 9 – Gráficos de atividades múltiplas de *setups*. A partir do diagrama, é possível determinar a duração total da mudança, que corresponde a 32,52 minutos. De forma a melhor entender o processo de mudança de jante, é elaborado um gráfico de sequência, que se encontra representado no Apêndice 8 – Gráficos de sequência de *setups*. A partir do diagrama, reconhece-se que, ao longo da mudança, 58% do tempo corresponde a operações, 17% a transportes, 9% a armazenamentos e 16% a controlo.

4.4.3 Mudança de composto

No que toca à mudança de composto, nas Apex são processados apenas os compostos A e B, pelo que a mudança pode ser de composto A para composto B ou vice-versa. Para realizar esta mudança, é necessário que o operador ajudante coloque a nova mesa de composto à beira da máquina e, no final

da mudança, que arrume a mesa do composto antigo. As etapas constituintes da mudança de composto, bem como a sua duração, encontram-se representadas na Tabela 17.

Tabela 17 - Etapas da mudança de composto.

Número	Tarefa	Etapas	Duração (minutos)
1	Mudar composto	Colocar nova mesa de composto	3,20
1		Deslocar-se até à mesa	0,28
2		Cortar tira de composto antigo	0,73
3		Realizar enfiamento de composto na extrusora	1,20
4		Deslocar-se até a frente da máquina	0,32
5		Remover mesa de composto antigo	3,75
6		Validar nova mesa de composto	0,35
7	Acompanhar cunha ao longo da máquina	Remover cunha antiga	1,70
8		Passar cunha contaminada pela passadeira	3,18
9		Passar cunha contaminada pelo rolo de arrefecimento	0,97
10		Passar cunha contaminada pelos loops	2,38

Uma vez que as etapas para a execução da mudança são realizadas com a colaboração do operador ajudante, elabora-se um diagrama de atividades múltiplas, presente no Apêndice 9 – Gráficos de atividades múltiplas de *setups*. A partir do diagrama, é possível determinar a duração total da mudança, que corresponde a 27,38 minutos.

Note-se que o acompanhamento da cunha ao longo da máquina tem uma duração diferente das restantes mudanças, uma vez que é necessária a completa remoção da borracha contaminada (com mistura de composto A e composto B). De forma a melhor entender o processo de mudança de composto, é elaborado um gráfico de sequência, que se encontra representado no Apêndice 8 – Gráficos de sequência de *setups*. A partir do diagrama, reconhece-se que, ao longo da mudança, 43% do tempo corresponde a operações, 15% a transportes, 20% a armazenamentos e 22% a controlo.

4.4.4 Tempo padrão de *setups*

Após a recolha de dados de tempos dos diferentes tipos de *setups*, são determinados os seus tempos padrão. O tempo padrão dos *setups* é dado por (13).

$$\text{Tempo Padrão Setups} = \text{Duração Setup} \times (1 + \% \text{Perturbações}) \times (1 + \% \text{Descanso}) \times (1 + \% \text{Fadiga}) \quad (13)$$

Relativamente a perturbações, não se verifica nenhuma ocorrência aquando da observação das mudanças, pelo que se considera uma correção de ocorrências irregulares de 0%. Quanto às correções de fadiga para cada tipo de *setup*, é realizada a sua determinação no Apêndice 7 – Cálculo de correções de fadiga. Assim, é possível determinar os tempos padrão dos *setups*, presentes na Tabela 18.

Tabela 18 - Tempos padrão dos *setups*.

<i>Setup</i>	Duração (minutos)	% Perturbações	% Descanso	% Fadiga	Tempo Padrão
Mudança de fieira	19	0%	6%	13%	22,76
Mudança de jante	32,52			19%	34,54
Mudança de composto	27,38			13%	38,95

5. APRESENTAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIA

Neste capítulo, apresentam-se propostas de melhoria baseadas na análise realizada, organizadas em quatro categorias principais. Cada uma dessas categorias é detalhada nas subseções que se seguem:

1) Alterações no posto de trabalho;

1.1) Cenário A: mantendo a mesa de talões e separadores;

1.2) Cenário B: removendo a mesa de talões e separadores;

2) Implementação do SMED;

3) Utilização de ferramentas de simulação;

3.1) Estudo do Método de Trabalho: Análise e melhoria dos processos atuais;

3.2) Estudo da Capacidade Produtiva: Avaliação e maximização da produção;

4) Avaliação de máquinas para aplicação automática de cunha em talão:

4.1) Estudo de viabilidade e integração de equipamentos automáticos para otimizar o processo.

Cada uma destas categorias é explorada detalhadamente nas subseções seguintes, com uma análise dos cenários propostos e suas potenciais contribuições para a melhoria do processo produtivo.

5.1 Alterações no posto de trabalho

A primeira categoria de soluções consiste em realizar alterações no posto de trabalho. Para isso, são elaborados dois cenários: o primeiro mantendo a mesa de talões e separadores e o segundo removendo a mesa de talões e separadores.

5.1.1 Cenário A: mantendo a mesa de talões e separadores

No primeiro cenário, mantendo a mesa de talões e separadores, é proposto um sistema de gestão visual para controlo do tamanho do lote de talões e separadores a colocar no carro, de forma a limitar a carga manipulada pelos operadores. Sabe-se que o operador faz lotes de talões e separadores finalizados na mesa e, posteriormente, coloca no carro. No capítulo 4 conclui-se que o risco de lesões músculo-esqueléticas associado a esta atividade é elevado, uma vez que, sem qualquer tipo de fixador de quantidade de talões com cunha a acumular, os operadores manipulam lotes pesados que ultrapassam o peso máximo recomendado.

Deste modo, com base na carga máxima definida no capítulo 4.3.2 para manipulação de cargas, é realizado um sistema de gestão visual que representa a altura recomendada do lote para cada tipo de jante. A sua representação está presente na Figura 30.

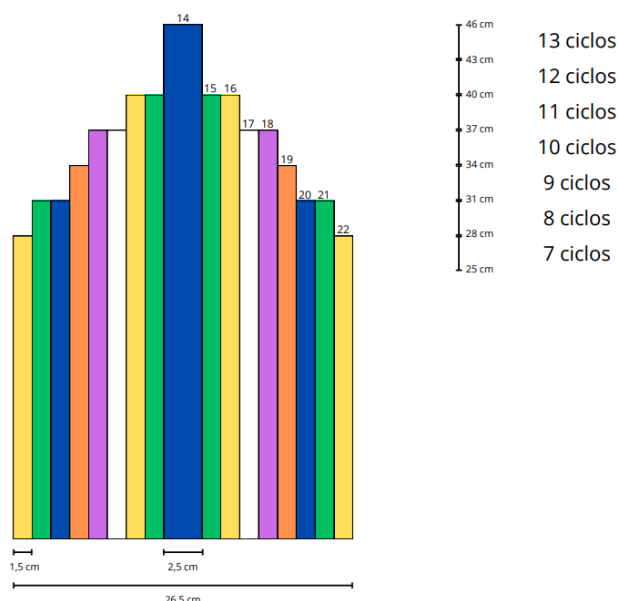


Figura 30 - Gestão visual para colocação de talões no carro.

O sistema de gestão visual é, então, colocado na mesa de cada máquina, contendo as jantes que a mesma tem capacidade para produzir, sendo que a cada jante corresponde a cor do respetivo separador para que o operador faça a rápida associação do tamanho de lote a seguir. A título de exemplo, encontra-se representado o sistema para a Apex 11 na Figura 31.



Figura 31 - Representação do sistema de gestão visual.

A Apex 11 tem capacidade para produzir jante 14, jante 15 e jante 16, sendo estas incluídas no sistema de gestão visual. Na Figura 31, é exemplificado o caso da jante 16, cujos separadores são amarelos. Do lado esquerdo, o lote de separadores e talões atinge a altura estimada para o lote máximo, pelo que este está pronto para ser colocado no carro. Do lado direito, é exemplificado o que não deve acontecer, ou seja, o lote não deve ultrapassar a altura estimada para o lote máximo. Através do sistema de gestão visual, o operador consegue delimitar a altura do lote a colocar no carro.

5.1.2 Cenário B: removendo a mesa de talões e separadores

Para o cenário removendo a mesa de talões e separadores, é proposto um novo layout do posto de trabalho, juntamente com um novo método de trabalho. O layout proposto encontra-se representado na Figura 32.

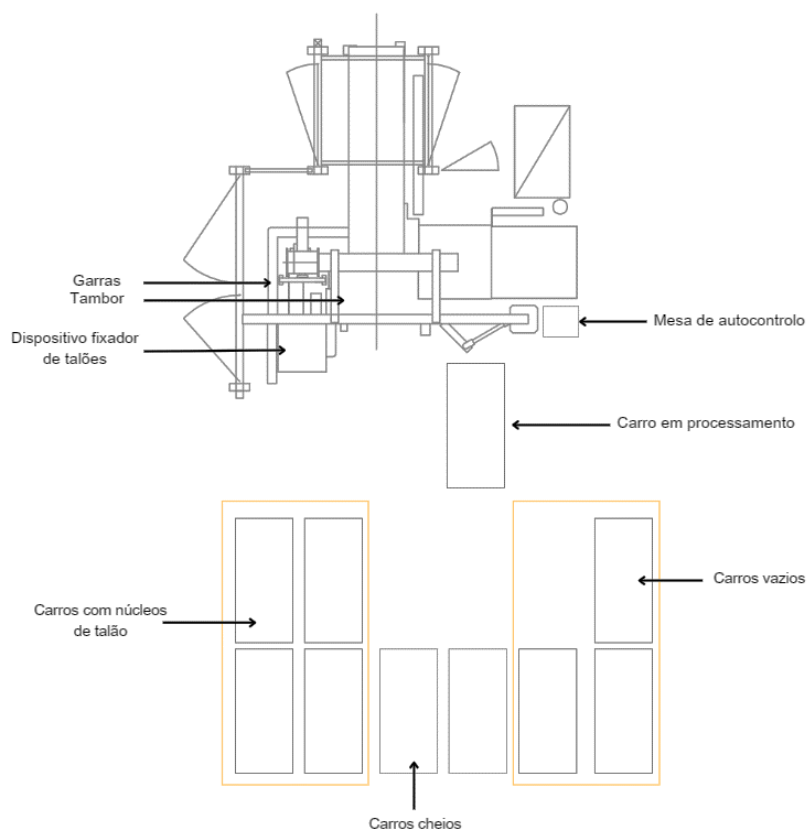


Figura 32 - Layout proposto para Apex.

Tal como é possível observar na Figura 32, são propostas as seguintes alterações:

- **Colocação do carro em processamento do lado direito do operador**, em vez de atrás. A cada ciclo, o operador faz a colocação direta no carro, em vez de fazer lotes para posterior armazenamento. Deste modo, deixa de existir a manipulação de cargas pesadas;

- **Troca da posição de carros de núcleos e carros vazios**, ou seja, os carros vazios passam a ser colocados no lado direito, mais perto da área para o carro em processamento. Além disso, as áreas de carros de núcleos, carros cheios e carros vazios são transferidas 1 metro para a direita, de forma a que o carro em processamento, quando cheio, possa ser facilmente empurrado para a área de carros cheios sem necessidade de o manobrar. Estas alterações facilitam a troca de carros de separadores e, ainda, reduzem movimentos desnecessários para o abastecimento da vara de suporte;
- **Alteração da posição da mesa de autocontrolo**, que em vez de estar do lado direito do operador, é colocada na área assinalada na Figura 32. Apesar de passar para um local mais distante do operador, a sua utilização é com frequência bastante inferior ao carro em processamento, pelo que se opta por mantê-lo mais perto.

Além da mudança de local da mesa de autocontrolo, é implementado o 5S. Para o autocontrolo, o operador recorre à balança, ao medidor de espessura e ao botão de imputação de dados do sistema. Além disso, existe a impressora de etiquetas, o leitor para validação de núcleos e composto e o compartimento para rolos de papel. Adicionalmente, os operadores colocam na mesa objetos pessoais, tais como garrafas de água e telemóveis, e deixam as ferramentas espalhadas. Logo, é gerada desorganização nesta área. A estrutura atual da mesa de autocontrolo encontra-se representada na Figura 33.

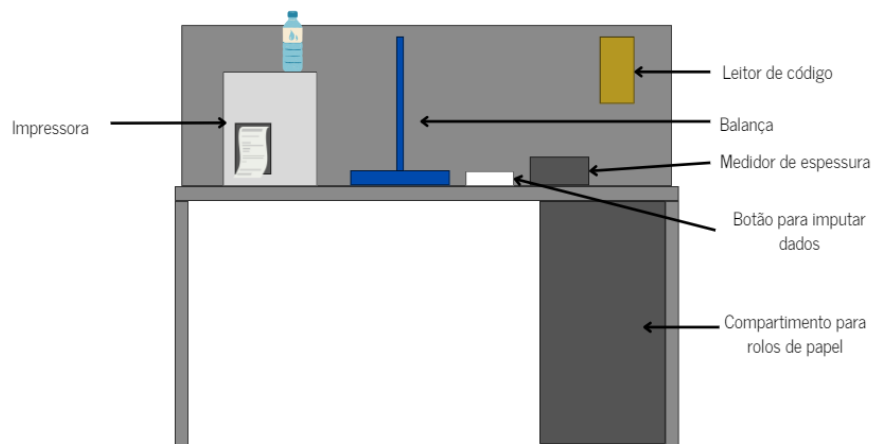


Figura 33 - Estrutura atual da mesa de autocontrolo.

A primeira fase consiste na **triagem** (*Seiri*), uma vez que se reconhece existência de ferramentas obsoletas. Para isso, é elaborada uma lista de ferramentas e materiais necessários no posto de trabalho, além dos equipamentos representados na Figura 33, que se encontram representados na Tabela 19.

Tabela 19 - Materiais e ferramentas necessários nas Apex.

Equipamento	Quantidade
Alicate	1
Chave de umbrako	7
Chave para tambor	1
Chave para garras	1
Chave para rolos	1
Alicate de pressão	1
Chave para cilindros	1
Régua	1
Luvas	2
Caneta	2
Ferro de limpeza de fieira	1

Todos os elementos que não constam na lista presente na Tabela 19 são descartados e procede-se, então, à segunda fase: **organização** (*Seiton*) do posto de trabalho. Inicialmente, começa-se por remover o compartimento para rolos de papel, reduzindo as dimensões da mesa em 50cm. Antigamente, existiam etiquetas com cores diferentes para cada dia, exigindo um compartimento grande em todas as máquinas para a colocação de rolos. Contudo, este sistema foi substituído por RFID, passando apenas a existir um tipo de rolo branco, e o compartimento deixou de ser utilizado em toda a sua capacidade, gerando espaço desnecessário. Então, opta-se pela colocação de um suporte para um rolo de papel em cima da impressora. Desenvolve-se, também, um quadro sombra para as ferramentas necessárias, dado que estas não possuem um local de armazenamento definido. Finalmente, adiciona-se uma gaveta com o objetivo de armazenar objetos pessoais ou outros itens necessários. Assim, é possível proceder à terceira fase, que consiste na **limpeza** (*Seiso*) da mesa de autocontrolo. A estrutura proposta para a mesa de autocontrolo encontra-se representada na Figura 34.

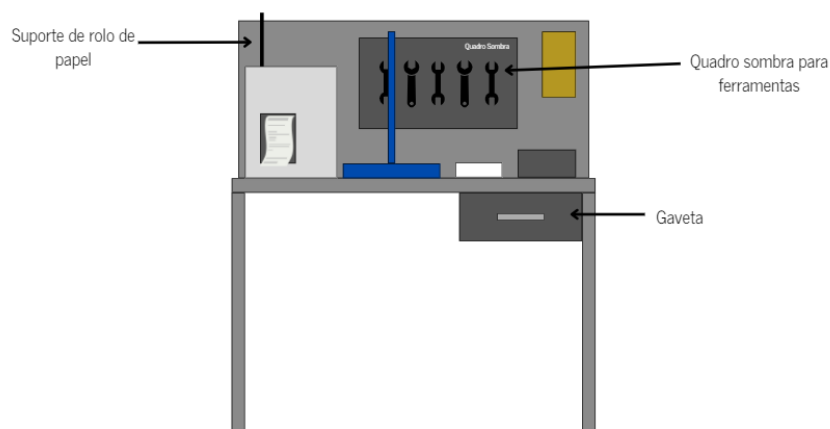


Figura 34 - Estrutura proposta para a mesa de autocontrolo.

Posteriormente, é possível passar para a fase de **normalização** (*Seiketsu*) e **autodisciplina** (*Shitsuke*), onde é explicado o que é o 5S aos colaboradores e elaborado um *template* para auditoria 5S, que se encontra representado na Figura 35. Esta auditoria deve ser realizada mensalmente pela equipa 5S da Direção de Engenharia Industrial.

					Data:	
5S	Nº	CRITÉRIO	PONTUAÇÃO			COMENTÁRIOS
			1	2	3	
1 - Seiri Triagem	1.1	Existem materiais de trabalho desnecessários/danificados na área de trabalho?				
	1.2	Existem máquinas/equipamentos desnecessários/danificados na área de trabalho?				
	1.3	Existe documentação desnecessária/desatualizada na área de trabalho?				
TOTAL SEIRI						
2 - Seiton Organização	2.1	A área encontra-se devidamente organizada (com um objeto fixo, num local definido e com a quantidade correta)?				
	2.2	A área encontra-se devidamente identificada (com um objeto fixo, num local definido e com a quantidade correta)?				
	2.3	Não existe sobrelotação do espaço?				
	2.4	A organização de materiais e equipamentos é realizada tendo em conta condições ergonómicas?				
	2.5	Bancadas, secretárias e objetos individuais organizados e identificados?				
	TOTAL SEITON					
3 - Seiso Limpeza	3.1	A área de trabalho encontra-se em bom estado de conservação e limpa?				
	3.2	Os materiais ou equipamentos encontram-se limpos?				
TOTAL SEISO						
4 - Seiketsu Normalização	4.1	Existem standards definidos? E são respeitados?				
	4.2	Existem mecanismos disponíveis para identificar materiais ou equipamentos obsoletos?				
	4.3	Os materiais ou equipamentos são colocados no local devido?				
	4.4	As rotinas de limpeza e manutenção são cumpridas?				
TOTAL SEIKETSU						
5 - Shitsuke Disciplina	5.1	Existe um plano de ações 5S atualizado?				
	5.2	Todos os colaboradores da área estão envolvidos na manutenção e melhoria dos 5S?				
	5.3	As ações e os resultados dos 5S's são documentados e partilhados?				
TOTAL SHITSUKE						

PONTUAÇÃO	
1	O critério não se cumpre
2	Existe pelo menos uma não conformidade
3	Total do cumprimento do critério
NA	Não aplicável

AVALIAÇÃO	
<1.5	Implementar melhorias de imediato
≥1.5 e <2.5	Implementar melhorias logo que possível
≥ 2.5	Monitorizar e melhorar sempre que possível

Figura 35 - *Template* Auditoria 5S.

Os critérios do *template* para auditoria 5S são escolhidos para assegurar um ambiente de trabalho organizado, eficiente e seguro. Na fase *Seiri*, avalia-se a presença de materiais, equipamentos e documentos desnecessários que podem ocupar espaço e atrapalhar o fluxo de trabalho. Na fase *Seiton*, verifica-se a correta disposição e identificação dos materiais, a ausência de sobrelotação e as condições

ergonómicas. Na fase *Seiso*, foca-se na conservação do espaço e dos equipamentos, garantindo que estejam sempre em boas condições, enquanto que na fase *Seiketsu*, observa-se o cumprimento dos *standards* e das rotinas de manutenção, além dos mecanismos para identificar materiais obsoletos. Finalmente, na fase *Shitsuke*, são avaliados o envolvimento dos colaboradores, a atualização do plano de ações 5S e a documentação dos resultados, promovendo uma cultura de melhoria contínua e compromisso coletivo com as práticas de organização do posto de trabalho.

Com base nas alterações ao posto de trabalho, é elaborado um novo método de trabalho para a aplicação de cunha em talão, cuja capa se encontra representada na Figura 36.

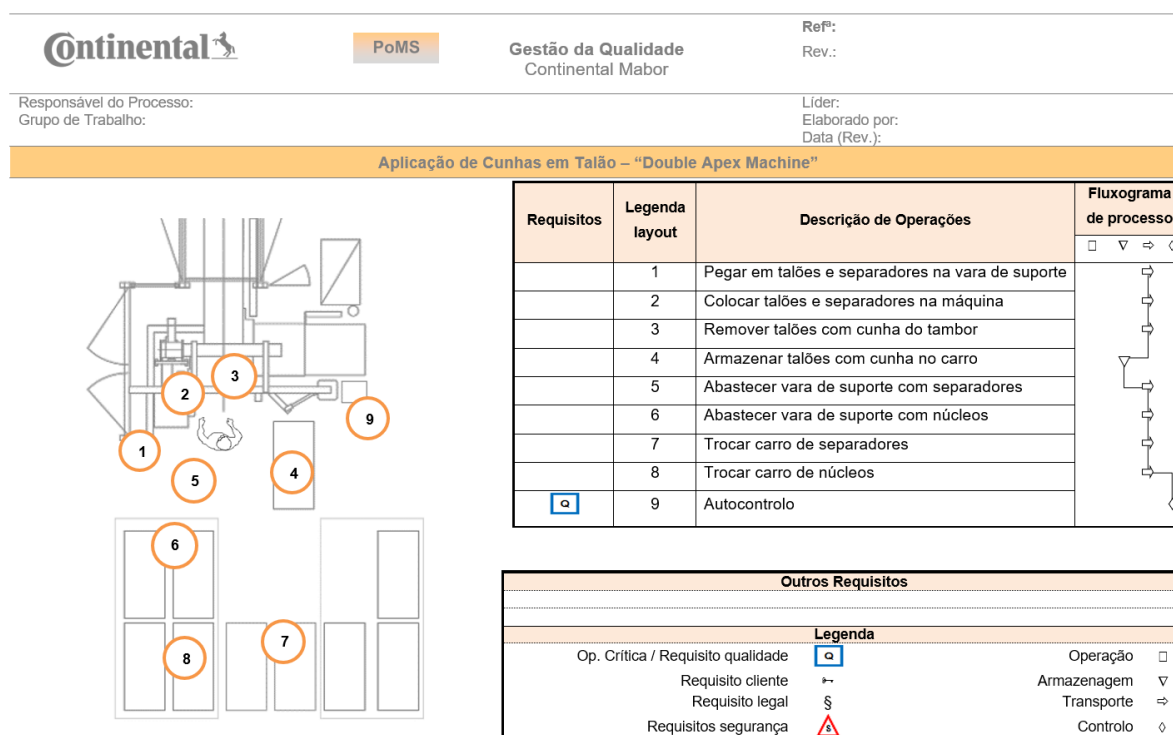


Figura 36 - Método de trabalho proposto.

5.2 Implementação do SMED

Após o estudo de *setups*, são notados alguns desperdícios. Sendo as Apex máquinas cujo funcionamento depende da disponibilidade do operador, estas ficam paradas quando o mesmo realiza uma mudança. No entanto, reconhece-se que algumas operações podem ser executadas pelo ajudante, sendo transformadas em operações externas. Procede-se, então, à aplicação da ferramenta SMED.

5.2.1 Mudança de feira

Começando pelas operações globais, atribuem-se as tarefas de manipulação de carros ao ajudante para reduzir o tempo de *setup*. Quanto à mudança de feira, passa a ser realizada pelo ajudante, que também

une a cunha nova à cunha antiga, não havendo necessidade de parar a máquina. O operador consegue, então, continuar a produção normal com a cunha antiga restante enquanto esta atravessa a passadeira e o rolo de arrefecimento e, chegando a cunha nova aos *loops*, pode iniciar as restantes etapas da mudança. É possível encontrar uma representação da aplicação da ferramenta SMED na mudança de fieira na Tabela 20.

Tabela 20 - Aplicação de SMED na mudança de fieira.

Tarefa	Etapas	Tipo	SMED
Trocar carro de separadores	Imprimir etiqueta	Interna	Interna
	Transportar etiqueta até carro antigo	Interna	Interna
	Remover carro antigo	Interna	Externa
	Colocar carro para nova corrida	Interna	Externa
	Preencher ficha	Interna	Interna
Alterar receita	Inserir nova receita	Interna	Interna
Trocar carro de núcleos	Remover carro antigo	Interna	Externa
	Colocar carro para nova corrida	Interna	Externa
	Validar nova etiqueta	Interna	Interna
Mudar fieira	Se for o caso, remover cunha antiga	Interna	Externa
	Deslocar-se até à extrusora	Interna	Externa
	Desligar extrusora e pressão do cabeçote	Interna	Externa
	Remover fieira antiga	Interna	Externa
	Limpar fieira antiga	Interna	Externa
	Limpar cabeçote	Interna	Externa
	Colocar nova fieira	Interna	Externa
	Ligar pressão do cabeçote e extrusora	Interna	Externa
Acompanhar cunha ao longo da máquina	Passar cunha pela passadeira	Interna	Externa
	Passar cunha pelo rolo de arrefecimento	Interna	Externa
	Passar cunha pelos <i>loops</i>	Interna	Interna
Acompanhar cunha ao longo da <i>slitter</i>	Fazer enfiamento da cunha na <i>slitter</i>	Interna	Interna
	Ajustar guias da <i>slitter</i>	Interna	Interna
	Ligar <i>slitter</i>	Interna	Interna
	Puxar cunha pela <i>slitter</i>	Interna	Interna
Iniciar produção	Deslocar-se até à frente da máquina	Interna	Interna
	Puxar cunha e realizar afinações necessárias	Interna	Interna

5.2.2 Mudança de jante

No caso da mudança de jante, esta já é realizada com o auxílio do operador ajudante. Contudo, também é possível a redução da sua duração através da aplicação do SMED às operações globais dos *setups*, tal como o caso da mudança de fieira representado na Tabela 20.

5.2.3 Mudança de composto

No caso da mudança de composto, fica à responsabilidade do ajudante a remoção da tira de composto antigo e o enfiamento do composto novo na extrusora. É possível encontrar uma representação da aplicação da ferramenta SMED na mudança de composto na Tabela 21.

Tabela 21 - Aplicação de SMED na mudança de composto.

Tarefa	Etapas	Tipo	SMED
Operações globais (Tabela 20)			
Mudar composto	Colocar nova mesa de composto	Externa	Externa
	Deslocar-se até à mesa	Interna	Externa
	Cortar tira de composto antigo	Interna	Externa
	Realizar enfiamento de composto na extrusora	Interna	Externa
	Deslocar-se até a frente da máquina	Interna	Externa
	Remover mesa de composto antigo	Externa	Externa
	Validar nova mesa de composto	Interna	Interna
Acompanhar cunha ao longo da máquina	Remover cunha antiga	Interna	Externa
	Passar cunha contaminada pela passadeira	Interna	Externa
	Passar cunha contaminada pelo rolo de arrefecimento	Interna	Externa
	Passar cunha contaminada pelos loops	Interna	Interna
Operações globais (Tabela 20)			

5.2.4 Racionalização de operações

Ao longo do período de observação dos diferentes *setups*, reconhece-se que o processo de afinação é demorado e que os operadores sentem dificuldade na sua execução. De forma a reduzir o tempo médio de realização da tarefa, é desenvolvido um manual de instruções de afinação, que se encontra representado na Figura 37. Note-se que, por motivos de confidencialidade, as imagens representativas dos componentes das máquinas na posição correta não são exibidos.

FLUXO DE AFINAÇÃO	
CUNHA ESTREITA	
1. Introdução da receita	
2. Validação de materiais	
Verificar núcleos de talão	
Verificar fleira/composto/tambor	
3. Realizar mudança	
4. Arranque da extrusora	
Iniciar a passagem da cunha após estabilizar a largura	
Ajuste do centrador do primeiro rolo do loop para a largura da cunha	
Loop centrador: mais justo	
Imagem loop 1 Imagem loop 2 Imagem loop 3	
Passar a cunha pelos loops e emendar topo a topo com a cunha anterior	
Slitter: corte de borracha no rolo da lâmina, cola nova à existente, fixa posição de ajuste e regula corte	
Imagem slitter 1 Imagem slitter 2	
Ajustar a posição da guia da slitter para +/- 2 mm abaixo da largura total	
Não alterando a posição da guia direita à entrada do tabuleiro, ajustar a guia	
Puxar manualmente as cunhas até à frente	
Tabuleiro: ajuste à largura da cunha cortada, esquerda ajusta e direita não mexe (alinhado com guia do tabuleiro - exterior)	
Imagem tabuleiro	
Ao puxar, verificar o alinhamento das guias do tabuleiro e ajustar antes da primeira	
5. Na frente da máquina	
Puxar borracha e verificar ajustes	
Desligar pressão dos pentes	
Passada a emenda corta	
Ajuste das agulhas após a primeira colocação no tambor - sobre o ombro (para o calço da frente fica do lado de fora junto ao ombro)	
Ajustar calços interiores	
Rolo pressor para fora	
6. No Tambor: voltar a aplicar cunhas no tambor e avaliar emenda	
1- Se só uma das emendas estiver mal, é necessário ajustar o rolo pressor	
2- Se existir degrau para fora nas emendas, é necessário ajustar as agulhas para junto do ombro	
3- Se a cunha entrar com desvio para dentro do tambor, é necessário ajustar as guias do centro do tabuleiro ou a altura dos calços à saída do tabuleiro ou rolos	
Imagem tambor 1 Imagem tambor 2 Imagem tambor 3	
INFORMAÇÕES GERAIS	
O rolo pressor deve ter a mesma inclinação do perfil da cunha, para não o danificar.	
Se no talão construído, a cunha/pestanda não estiver devidamente "colada" ao núcleo, aumentar o tempo entre a pré enformação e a enformação	
Se for necessário aumentar a sobreposição da cunha no núcleo, as primeiras a serem ajustadas são as da mesa, posteriormente as agulhas devem ser movidas no mesmo sentido e com uma distância semelhante	
Só se corrige a emenda com os botões (aperto +/aperto -) se se necessitar de ajustar as 2 emendas em simultâneo	
Para alterar a sobreposição do núcleo com a pestana, mexe-se na posição das guias do meio e a posição das agulhas acompanha	
Se o calço estiver muito alto, é provável que não esteja a fazer a sua função e a cunha não entra direita	
Quando a pestana está levantada (mal colada no núcleo), deve-se aumentar o spec	
Nos núcleos mais grossos (6 voltas) é melhor abrir um pouco as garras para não ovalizar e para não pressionar o núcleo no tambor	

FLUXO DE AFINAÇÃO	
CUNHA LARGA	
1. Introdução da receita	
2. Validação de materiais	
Verificar núcleos de talão	
Verificar fleira/composto/tambor	
3. Realizar mudança	
4. Arranque da extrusora	
Iniciar a passagem da cunha após estabilizar a largura	
Ajuste do centrador do primeiro rolo do loop para a largura da cunha	
Loop centrador: mais largo	
Imagem loop 1	
Passar a cunha pelos loops e emendar topo a topo com a cunha anterior	
Slitter: corte de borracha sem base de suporte, colagem à existente mais grosseira, fixa posição de ajuste, regula corte	
Imagem slitter 1 Imagem slitter 2	
Ajustar a posição da guia da slitter para +/- 2 mm abaixo da largura total	
Não alterando a posição da guia direita à entrada do tabuleiro, ajustar a guia	
Puxar manualmente as cunhas até à frente	
Tabuleiro: ajuste à largura da cunha cortada, esquerda ajusta e ajuste da guia do tabuleiro mais para dentro	
Imagem tabuleiro	
Ao puxar, verificar o alinhamento das guias do tabuleiro e ajustar antes da primeira	
5. Na frente da máquina	
Puxar borracha e verificar ajustes	
Colocar pressão dos pentes a 2 bar	
Passada a emenda corta	
Ajuste das agulhas após a primeira colocação no tambor - na descida do ombro	
O calço da frente fica do lado de dentro	
Ajustar calços interiores	
6. No Tambor: voltar a aplicar cunhas no tambor e avaliar emenda	
1- Se só uma das emendas estiver mal, é necessário ajustar o rolo pressor	
2- Se existir degrau para fora nas emendas, é necessário ajustar as agulhas para junto do ombro	
3- Se a cunha entrar com desvio para dentro do tambor, é necessário ajustar as guias do centro do tabuleiro ou a altura dos calços à saída do tabuleiro ou rolos	
Imagem tambor 1 Imagem tambor 2 Imagem tambor 3	
INFORMAÇÕES GERAIS	
O rolo pressor deve ter a mesma inclinação do perfil da cunha, para não o danificar.	
Se no talão construído, a cunha/pestanda não estiver devidamente "colada" ao núcleo, aumentar o tempo entre a pré enformação e a enformação	
Se for necessário aumentar a sobreposição da cunha no núcleo, as primeiras a serem ajustadas são as da mesa, posteriormente as agulhas devem ser movidas no mesmo sentido e com uma distância semelhante	
Caso a cunha fique "embrulhada" nos loops, proceder ao corte e posteriormente emenda com sobreposição	
Provoca prisões ao longo da lâmina+tabuleiro e depois do corte, como não fica direito as agulhas ao pegar na cunha não conseguem esperar e largar!	
Para alterar a sobreposição do núcleo com a pestana, mexe-se na posição das guias do meio e a posição das agulhas acompanha	
Se o calço estiver muito alto, é provável que não esteja a fazer a sua função e a cunha não entra direita	
Quando a pestana está levantada (mal colada no núcleo), deve-se aumentar o spec	
Nos núcleos mais grossos (6 voltas) é melhor abrir um pouco as garras para não ovalizar e para não pressionar o núcleo no tambor	

Figura 37 - Instruções de afinação das Apex.

Este manual foi desenvolvido com a colaboração dos operadores ajudantes e da Direção de Engenharia do Processo. Deste modo, pretende-se que o manual seja introduzido no plano de formação contínua atual da CMIP, para que os operadores consigam realizar a afinação de forma eficiente.

Para monitorizar a eficácia e o cumprimento das instruções do manual de afinação, é possível determinar alguns indicadores de desempenho:

- **Tempo médio de afinação:** tempo total gasto para realizar a afinação em cada *setup*;
- **Tempo de paragem:** tempo que as máquinas param devido a afinações mal executadas ou problemas técnicos decorrentes do processo de afinação;
- **Taxa de perturbações:** percentagem de tempo dedicado a intervenções na máquina após a afinação inicial;

5.3 Utilização de ferramentas de simulação

Num contexto cada vez mais competitivo, a simulação torna-se numa ferramenta indispensável na resolução de problemas. Na verdade, Shannon (1998) refere que a simulação é extremamente valiosa na tomada de decisão para aqueles que trabalham no planeamento e gestão de processos e sistemas, uma vez que permite a análise e avaliação de cenários que não seriam possíveis de outra forma. Neste sentido, é possível identificar algumas vantagens e desvantagens da simulação na Tabela 22.

Tabela 22 - Vantagens e desvantagens da simulação.

Adaptado de Shannon (1998).

Vantagens	Desvantagens
• Facilidade de compreensão; • Credibilidade dos modelos; • Identificação de <i>bottlenecks</i>; • Controlo de tempo; • Possibilidade de testar cenários.	• Exige habilidade especializada; • Recolha de dados pode ser demorada; • Não fornece uma solução ótima, mas sim uma análise do comportamento do sistema.

Existem vários *softwares* de simulação, sendo que aquele utilizado no presente projeto é o SIMIO. De acordo com Dehghanimohammadabadi e Keyser (2017), o SIMIO consiste num *software* de simulação de eventos discretos baseado em princípios básicos de orientação a objetos e permite aos seus utilizadores a personalização do modelo desejado. O SIMIO consegue incorporar visualizações simultâneas em 2D e 3D, ajudando o utilizador a selecionar a melhor forma de exibir e desenvolver o modelo, e, através da utilização de processos, permite ao utilizador modificar o comportamento dos objetos do modelo de simulação.

Na verdade, existem seis classes básicas de objetos no SIMIO. De acordo com Pegden e Sturrock (2010), as seis classes fornecem um ponto de partida para a criação de objetos inteligentes no SIMIO através da modelação do seu comportamento:

- **Agente** – objeto que se pode movimentar no espaço 3D;
- **Fixo** – objeto com uma localização fixa no modelo;

- **Entidade** – subclasse da classe Agente que possui um comportamento adicional, que consiste na movimentação pelo sistema de um objeto para outro através de uma rede de ligações e nós;
- **Ligação** – determina o caminho pelo qual a Entidade se move;
- **Nó** – determina o ponto inicial ou final de uma ligação;
- **Transportador** – consiste numa subclasse da classe Entidade e possui a capacidade de transportar uma ou mais entidades.

De acordo com Vieira et al. (2014), existem três áreas visíveis no SIMIO, sendo eles a barra de ferramentas, que dá acesso a diferentes comandos, o painel de navegação, que permite explorar e gerir objetos do modelo, e os painéis com abas que mostram diferentes visualizações e detalhes do modelo. É possível encontrar uma representação da visão geral do *Facility* do SIMIO na Figura 38.

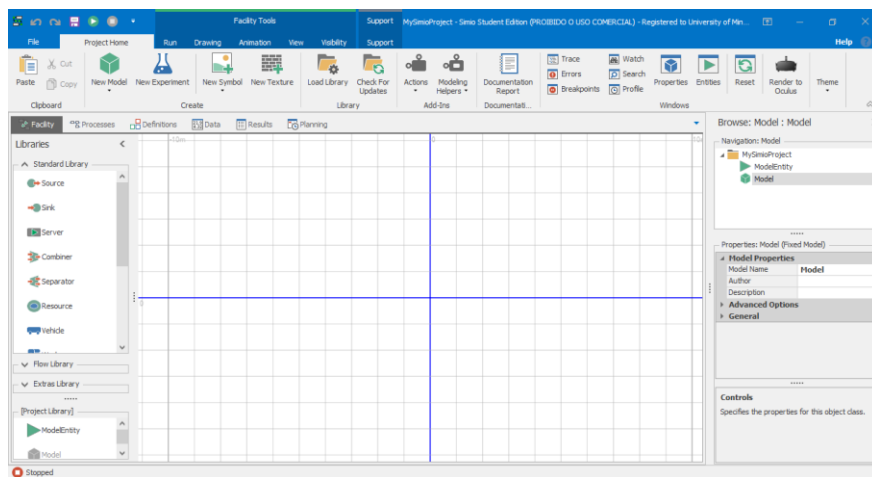


Figura 38 - Visão geral do *Facility* do SIMIO.

Deste modo, existem 14 objetos na biblioteca *standard* do SIMIO, que se encontram representados na Tabela 23.

Tabela 23 - Objetos da biblioteca *standard* do SIMIO.

Adaptado de Vieira et al. (2014).

Objeto	Classe	Descrição
<i>Source</i>	Fixo	Cria entidades.
<i>Sink</i>		Destrói entidades.
<i>Server</i>		Processa/transforma entidades.
<i>Combiner</i>		Combina, agrupa em lotes e anexa as entidades <i>member</i> a uma entidade <i>parente</i> .
<i>Separator</i>		Separa as entidades <i>member</i> da entidade <i>parente</i> ou cria cópias de uma entidade.
<i>Resource</i>		Possui capacidade para ser ocupado e libertado por outros objetos.
<i>Vehicle</i>	Transportador	Utilizado para modelos objetos que seguem uma rota fixa ou respondem a pedidos de <i>picking</i> .
<i>Worker</i>		Define um <i>resource</i> móvel que pode ser ocupado e libertado para transportar entidades entre nós.
<i>BasicNode</i>	Nó	Modela uma interseção simples entre ligações múltiplas e também pode ser utilizado como entrada de objetos.
<i>TransferNode</i>		Modela uma interseção complexa para o modo de deslocamento e, diferente do <i>BasicNode</i> , pode modelar alterações no destino.
<i>Connector</i>	Ligação	Representa uma ligação de deslocamento simples e sem tempo associado entre dois nós.
<i>TimePath</i>		Utilizado para transferir entidades entre dois nós com uma velocidade específica.
<i>Path</i>		Ligação sobre a qual a entidade pode deslocar-se de forma independente, à sua própria velocidade.
<i>Conveyor</i>		As entidades que se deslocam sobre estes objetos não têm movimento associado.

Além da janela *Facility* no SIMIO, existem outras secções importantes (J. Smith & Sturrock, 2024):

- **Processes** – criação de fluxos de processos compostos por uma sequência de passos que alteram o estado das variáveis, atributos ou elementos;
- **Definitions** – definição e criação de variáveis do modelo;
- **Data** – estruturação de dados em formato de tabela;
- **Results** – exibição de indicadores de desempenho do modelo.

De forma testar diferentes cenários sem gastar recursos e identificar desperdícios nas Apex, são desenvolvidas, então, duas ferramentas de simulação no *software* SIMIO: a primeira para o estudo do método de trabalho e a segunda para o estudo da capacidade produtiva.

5.3.1 Estudo do Método de Trabalho: Análise e melhoria dos processos atuais

Com o objetivo de estudar a interação homem-máquina e melhorar o método de trabalho nas Apex, é desenvolvida uma ferramenta de simulação em SIMIO. Nesta ferramenta, são simulados os diferentes componentes da máquina e as operações ciclo e não ciclo do operador da Apex, que têm um tempo associado. É possível encontrar uma representação da visão geral da simulação na Figura 39.

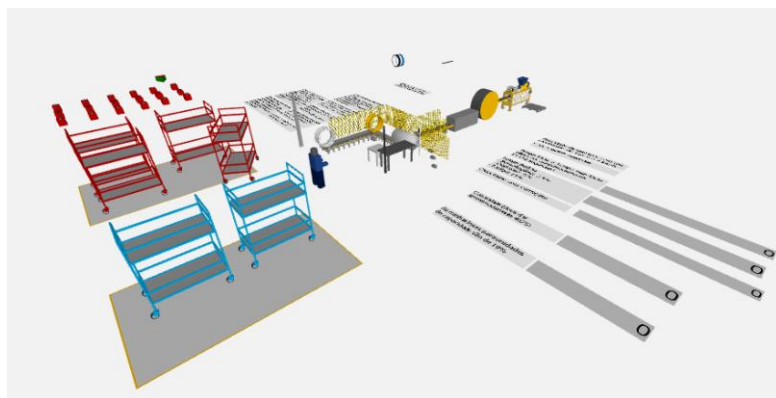


Figura 39 - Visão geral da simulação do método de trabalho.

Através da modelação dos processos, a ferramenta permite a análise do fluxo de trabalho, possibilitando a identificação de melhorias.

Para a simulação do método de trabalho, são considerados os elementos da operação de aplicação de cunha em talão apresentados no capítulo 4.3.1 e os tempos respetivos. Começando pela máquina, de uma forma geral, os seus componentes são simulados com recurso a processos de acordo com as notas apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 - Considerações da simulação da máquina.

Componente da máquina	Simulação
Hidráulico	• Consiste num <i>vehicle</i> que transporta os núcleos de talão e separadores às garras e retorna à posição inicial; • Avança 0.131s após a descida do tabuleiro;
Garras	• Consiste num <i>vehicle</i> que transporta os núcleos de talão e separadores ao tambor e retorna à posição inicial; • As garras iniciam a fixação 0.143s após o hidráulico transportar os núcleos de talão e separadores; • O tempo de fixação das garras é de 1.713s.
Tabuleiro	• Constituído por três <i>servers</i>, cada um deles representando os elementos 5, 7 e 9 apresentados no capítulo 4.3.1;
Tambor	• Consiste num <i>combiner</i> a partir do qual resultam os talões com cunha.

Relativamente ao operador da Apex, este é representado por um *worker* que abastece a máquina com núcleos e separadores e, posteriormente, armazena o produto final na mesa. Além disso, o operador realiza as operações não ciclo, representadas por *servers* a vermelho e cujo processamento está associado à chegada de uma entidade fictícia denominada “Não_ciclo”. Deste modo, a cada *server* está associada uma *source* que envia entidades com a cadência determinada no capítulo 4.3.2, bem como o tempo de processamento respetivo e, finalmente, a entidade é destruída na *sink* (Figura 40).



Figura 40 - Simulação das operações não ciclo.

Ainda, são colocadas *labels* com informações importantes para o utilizador, tais como o tempo de ciclo, o tempo padrão, a capacidade produtiva e as perdas.

5.3.2 Estudo da Capacidade Produtiva: Avaliação e maximização da produção

Com o objetivo de estudar a capacidade produtiva das Apex, é desenvolvida uma ferramenta de simulação em SIMIO. Nesta ferramenta, são simuladas as 12 máquinas de aplicação de cunha em talão da Preparação a Quente, sendo possível encontrar uma representação da visão geral da simulação na Figura 41.

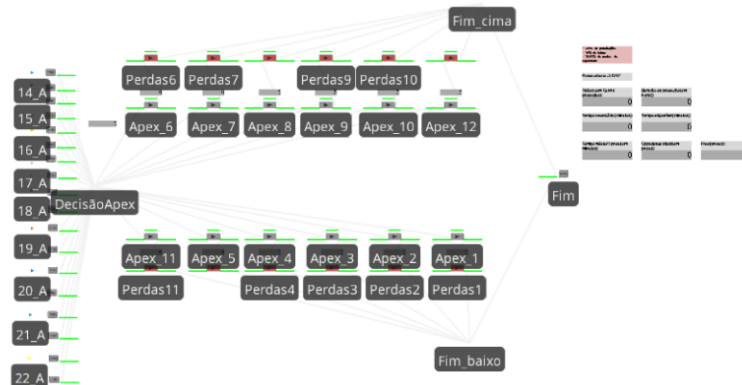


Figura 41 - Visão geral da simulação para estudo da capacidade produtiva.

A cada Apex estão associados dois *servers*: o primeiro representando a máquina propriamente dita e o segundo representando as perdas respetivas. O tempo de processamento das máquinas é dado por uma variável determinada por processos que, dependendo do artigo a ser processo, atribuem um valor à mesma. É possível encontrar um exemplo de aplicação na Apex 1 na Figura 42.

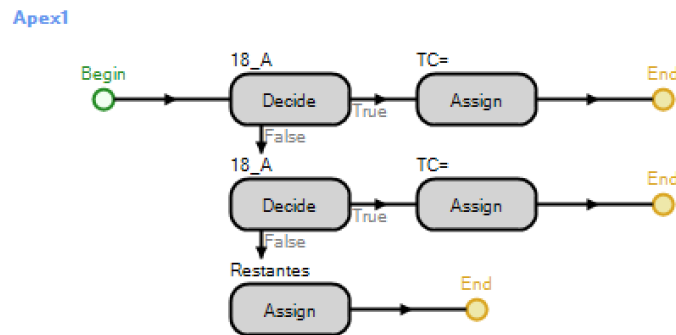


Figura 42 - Tempo de processamento da Apex.

Cada entidade corresponde a uma ordem de produção de um tipo de talão com cunha que pode ser processado nas Apex, cujo nome encontra-se no formato “Jante_Composto”. As ordens de produção são criadas na *source* respetiva e a sua distribuição pelas Apex tem por base os dados apresentados no capítulo 4.3.4, sendo aplicada no *selection weight* dos *connectors* de cada Apex, tal como se pode verificar na Figura 43.

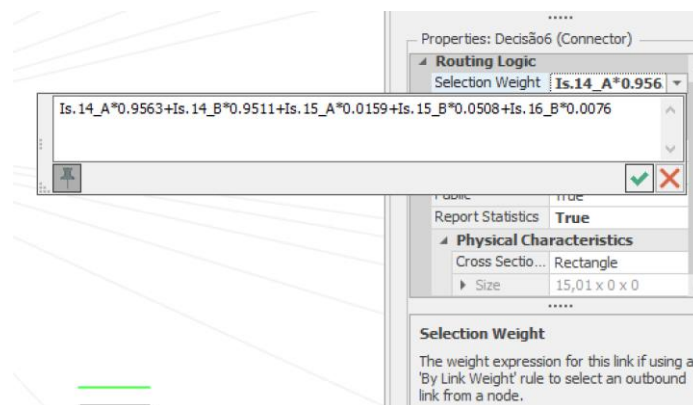


Figura 43 - Distribuição de artigos na Apex 6.

Finalmente, são colocadas *labels* com informações importantes para o utilizador, tais como o número de talões com cunha produzidos, o tempo necessário de produção e a capacidade produtiva final das Apex.

5.4 Avaliação de máquinas para aplicação automática de cunha em talão

Na verdade, as Apex são máquinas antigas e desatualizadas com várias perturbações. Com o aumento da exigência do mercado, é importante investir em máquinas com sistemas atuais e melhorar as condições de trabalho dos operadores, que atualmente executam tarefas repetitivas. Neste sentido, a CMIP tenciona investir em máquinas de aplicação automática de cunha em talão, procedendo à aquisição de quatro novas máquinas, denominadas XYZ. As XYZ 13, 14 e 15 já se encontram em

funcionamento, enquanto que a XYZ 16 se encontra em fase de testes. As XYZ são máquinas de aplicação de cunha em talão e a sua representação encontra-se na Figura 44.

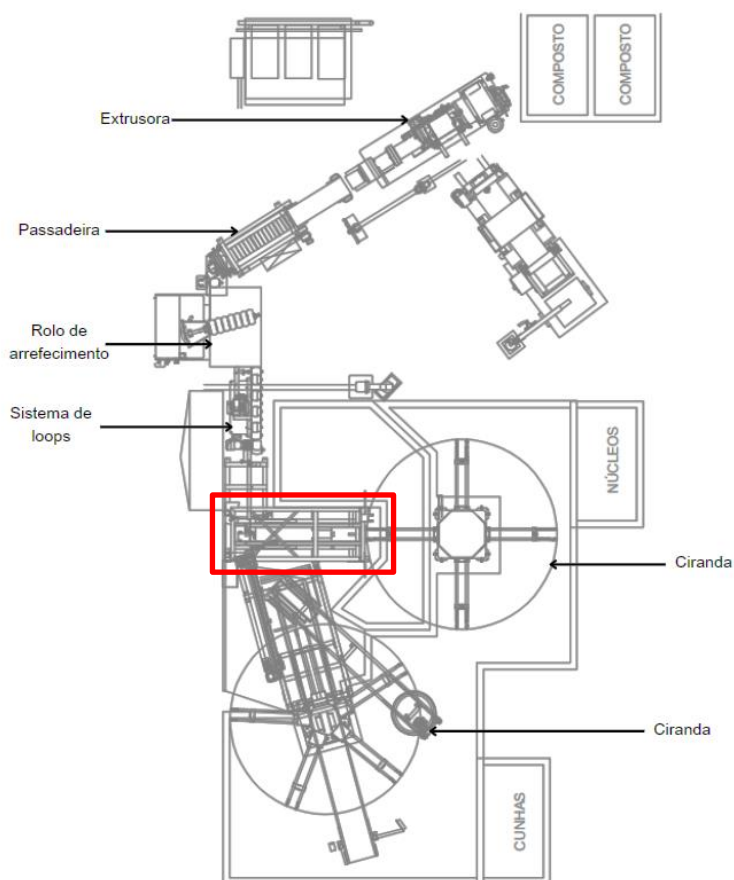


Figura 44 - Estrutura da XYZ.

A transformação da borracha ocorre do mesmo modo que nas Apex. As principais diferenças centram-se na aplicação da cunha no talão, que acontece na zona assinalada a vermelho na Figura 44. O operador abastece a ciranda, ou carrossel de armazenamento, com núcleos de talão e, de seguida, o separador de talões pega num talão, neste momento na vertical, que é transportado e colocado na horizontal pela pinça horizontal. Posteriormente, o fixador de talões transporta o talão para a unidade de montagem, onde acontece a aplicação da cunha. Os elementos mencionados encontram-se representados na Figura 45.

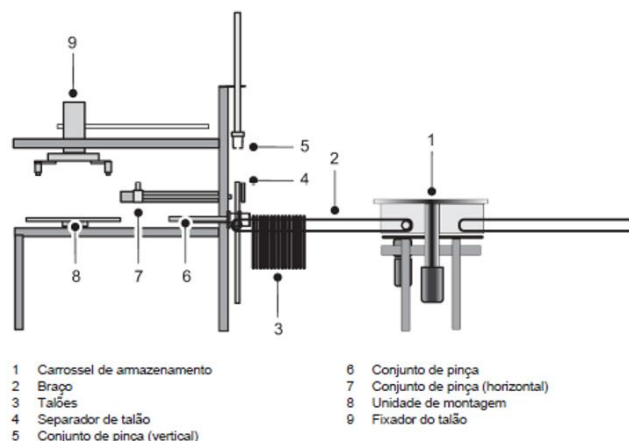


Figura 45 - Aplicação de cunha em talão na XYZ.

Após a transformação do talão com cunha, este é transportado para a segunda ciranda. Quando o braço da ciranda estiver completo, esta roda para que o operador possa fazer a transferência dos talões com cunha para o carro. Note-se que cada ciclo da XYZ produz um talão com cunha, enquanto que na Apex são produzidos dois. Ainda, as funções do operador da XYZ residem, sobretudo, no abastecimento de núcleos, abastecimento de carros com talões com cunha finalizados e controlo da máquina, eliminando as tarefas repetitivas que existem nas Apex. Deste modo, é possível encontrar uma representação do método de trabalho proposto para as XYZ na Figura 46.



Figura 46 - Método de trabalho XYZ.

Relativamente a *setups*, as XYZ apenas produzem com um tipo de fieira e um tipo de composto (B), pelo que apenas se realizam mudanças de jante até ao momento. Existem dois modos para realizar a

mudança de jante: o primeiro consiste na mudança de jante normal (por exemplo, mudar de uma jante pequena para outra jante pequena) e o segundo consiste na mudança de tipo de jante (por exemplo, mudar de uma jante pequena para uma jante média), acrescentando um passo que consiste na alteração de um componente adicional. Existem sete principais etapas para a mudança de jante, que se encontram representadas na Figura 47.



Figura 47 - Etapas para a mudança de jante nas XYZ.

Com base nas etapas apresentadas na Figura 47, determina-se o fluxo de atividades que os operadores devem seguir na mudança de jante de forma a que a sua duração seja a mínima possível, encontrando-se este representado na Figura 48. Note-se que a cada operação está associada a cor da etapa correspondente.

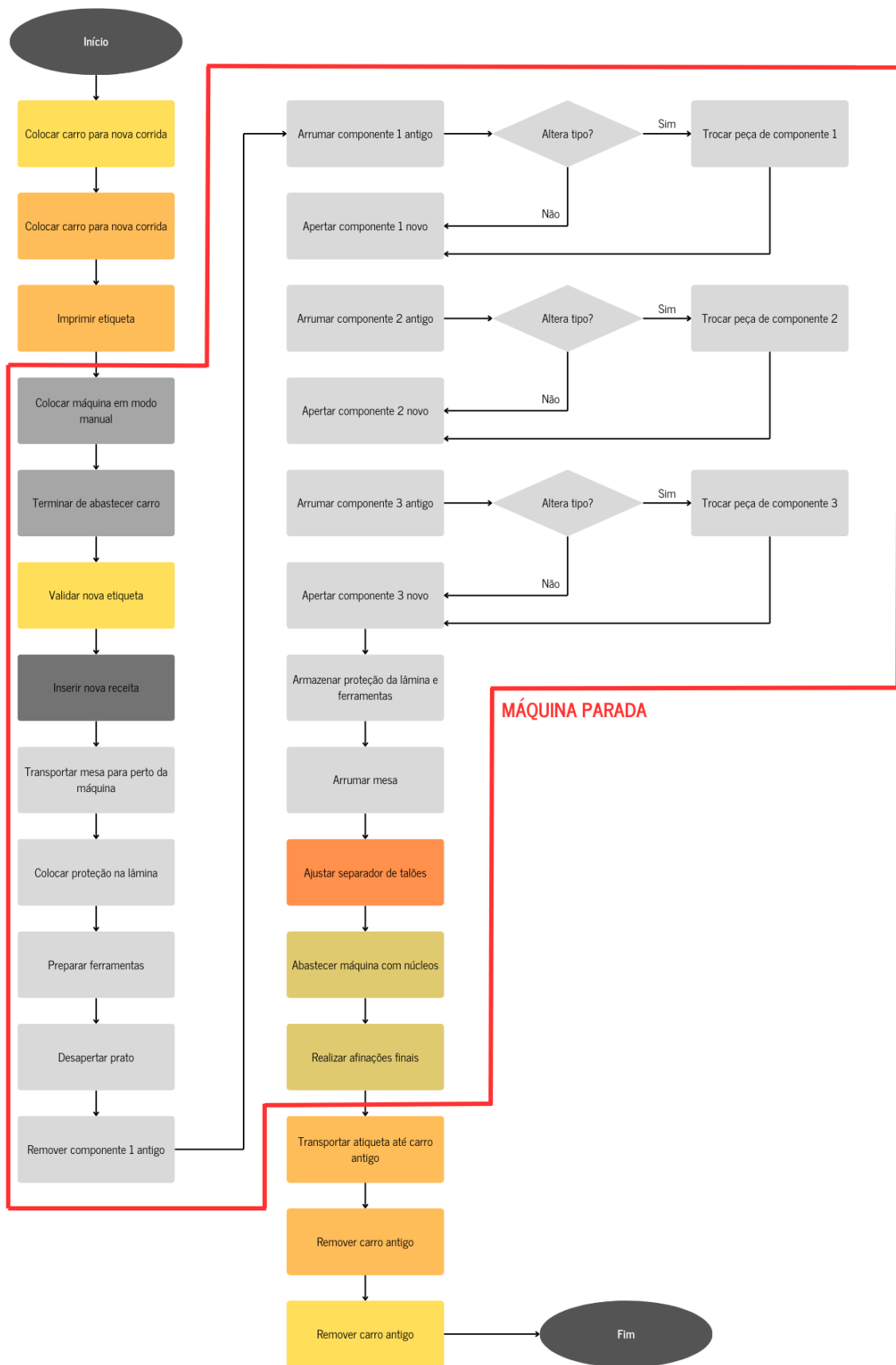


Figura 48 - Fluxo de atividades da mudança de jante nas XYZ.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Ao longo do presente capítulo, é realizada uma análise e discussão de resultados das propostas de melhoria apresentadas no capítulo 5.

6.1 Alterações no posto de trabalho

Na presente secção, são analisados os resultados para as propostas de alterações no posto de trabalho em ambos os cenários: mantendo a mesa de talões e separadores e removendo a mesa de talões e separadores.

6.1.1 Cenário A: mantendo a mesa de talões e separadores

Com a implementação do sistema de gestão visual para limitar a carga manipulada pelos operadores na colocação de talões e separadores no carro, é possível verificar uma descida da pontuação REBA para 11, tal como se pode verificar na Tabela 25.

Tabela 25 - Avaliação REBA ao cenário A.

Grupo A	Grupo B
Tronco: 5	Braços: 5
Pescoço: 2	Antebraços: 2
Pernas: 2	Pulsos: 3
Carga/Força: 1	Ligação - <i>Coupling</i> : 1
Pontuação A: 8	Pontuação B: 9
Pontuação final: 11	

A descida da pontuação REBA representada na Tabela 25 é resultado da nova pontuação atribuída ao fator Carga/Força, que passa a estar entre 5 e 10 kg, traduzindo-se numa leve redução de risco de lesões. Além disso, esta medida traduz-se numa redução da variabilidade do processo, numa melhor qualidade de vida dos operadores e, consequentemente, num aumento da eficiência do processo. Contudo, a pontuação REBA equivalente a 11 permanece um risco de lesões muito elevado e, por isso, esta medida deve ser de curto prazo e devem-se optar por outras propostas que resultem num maior impacto a nível ergonómico.

6.1.2 Cenário B: removendo a mesa de talões e separadores

No cenário removendo a mesa de talões, uma vez que é alterado o método de trabalho, começa-se pela avaliação de risco de lesões músculo-esqueléticas com recurso ao REBA, representado na Tabela 26.

Tabela 26 - Avaliação REBA ao cenário B.

Grupo A	Grupo B
Tronco: 4	Braços: 5
Pescoço: 2	Antebraços: 2
Pernas: 2	Pulsos: 3
Carga/Força: 0	Ligação - <i>Coupling</i> : 0
Pontuação A: 6	Pontuação B: 8
Pontuação final: 10	

Começando pelo Grupo A, tal como se pode verificar na Tabela 26, existe uma alteração no Tronco de 5 para 4 valores, uma vez que deixa de existir torção lateral. Ainda, a Carga/Força deixa de ser 2 e passa a ser 0, dado que o operador deixa de manipular lotes de talões e separadores e passa a colocá-los diretamente no carro no carro em cada ciclo, correspondendo a uma carga inferior a 5kg. Pelo mesmo motivo, a pega nos talões e separadores fica facilitada, havendo uma redução da Ligação – *Coupling* de 1 para 0. Deste modo, existe uma redução final na pontuação REBA de 12 para 10, ou seja, o nível de risco deixa de ser muito alto e passa a ser alto, exigindo ação necessária a curto prazo.

Ainda, sabe-se que as melhorias propostas causam alterações nos movimentos do operador nas operações não ciclo e, consequentemente, nos seus tempos. Por este motivo, analisam-se e comparam-se os movimentos realizados pelo operador no cenário atual e no cenário proposto, representados na Figura 49 e na Figura 50, respetivamente, através do desenvolvimento de dois diagramas de *spaghetti*.

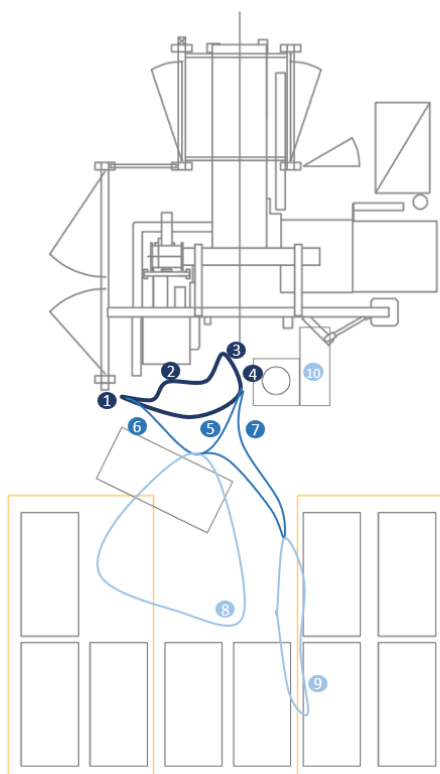


Figura 49 - Diagrama de *Spaghetti* para cenário atual.

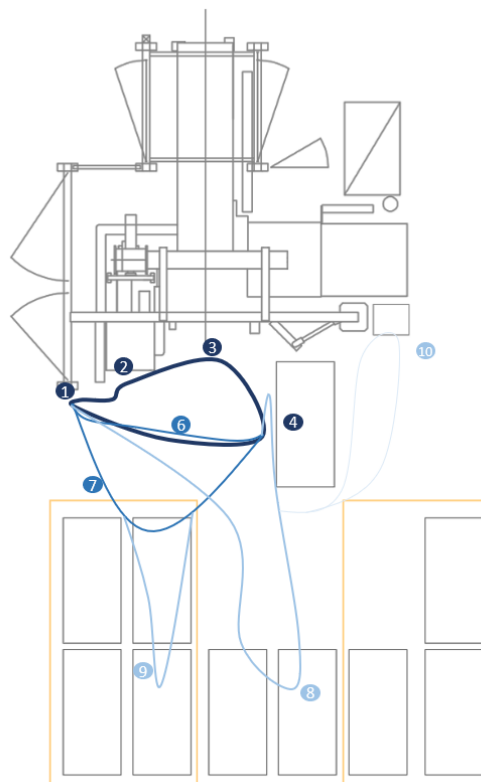


Figura 50 - Diagrama de *Spaghetti* para cenário proposto.

Cada linha desenhada nos diagramas de *spaghetti* representados na Figura 49 e na Figura 50 diz respeito a uma operação específica do operador da Apex com uma determinada frequência, sendo que, quanto maior a frequência, mais escura e espessa é a linha correspondente. É possível encontrar a legenda dos movimentos na Figura 51.

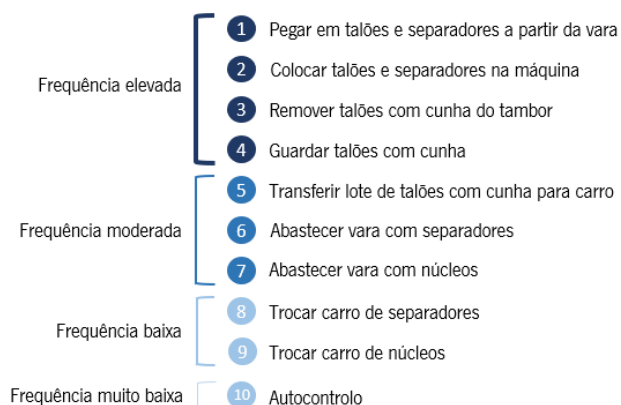


Figura 51 - Legenda dos movimentos dos diagramas de *Spaghetti*.

Portanto, as distâncias percorridas em cada operação para o cenário atual e proposto encontram-se representadas na Tabela 27.

Tabela 27 - Comparação de movimentos.

Operação	Distância atual (cm)	Distância proposta (cm)
1	180	
2	90	
3	90	
4	135	
5	135	0
6	135	0
7	450	270
8	990	675
9	540	450
10	90	585
Total	537	510

Tal como se verifica na Tabela 27, existe uma redução de 537 cm por ciclo para 510 cm por ciclo, uma redução de cerca de 5% nos movimentos realizados pelo operador. Ainda, a operação 5 deixa de existir, a operação 6 não acrescenta tempo adicional ao ciclo (dado que é realizada na deslocação do carro para a vara de suporte e o operador não faz movimentos adicionais) e é possível verificar uma redução da duração das operações 7, 8, 9 e 10. Considerando o exemplo da Apex 9, cujo tempo de ciclo médio é de 9.8 segundos por peça, existe uma redução no tempo de elementos ciclo médio final de 10%, tal como se pode verificar na Figura 52.

		OPERAÇÃO	TEMPO	FREQUÊNCIA	TEMPO CICLO	TEMPO NÃO CICLO	TEMPO FINAL
ATUAL	CICLO	1-2	12,57	1	9,8	-	11,29
		2-3					
		3-4	4,71	1			
		4-1					
	NÃO CICLO	5	4,71	8		0,59	
		6	7,85	20		0,39	
		7	7,85				
		8	37,70	110		0,34	
		9	29,85	255		0,12	
		10	23,56	450		0,05	
PROPOSTO	CICLO	1-2	12,57	1	9,8	-	10,18
		2-3					
		3-4	4,71	1			
		4-1					
	NÃO CICLO	5	0,00	0		0,00	
		6	0,00	0		0,00	
		7	4,71	40		0,12	
		8	15,71	110		0,14	
		9	15,71	255		0,06	
		10	26,70	450		0,06	

Figura 52 - Comparação de tempos entre cenário atual e cenário proposto.

Existe, então, um aumento da capacidade produtiva diária de pneus por máquina de 2 981 pneus para 3 312 pneus, um aumento de cerca de 10%. Ainda, verifica-se que o tempo necessário de produção diário para a procura atual tem uma redução de 13 904 minutos para 12 514 minutos, ou seja, uma redução de 1 390 minutos por dia, cerca de 10%. Considerando um custo de € 42,45 por homem por

hora e um custo de € 17 por máquina por hora, ao fim de um ano (equivalente a 320 dias) traduz-se numa poupança de cerca de € 535 321.

6.2 Implementação do SMED

Com a implementação do SMED na mudança de feira, mudança de composto e mudança de jante, determina-se o novo tempo padrão, que se encontra representado na Tabela 28.

Tabela 28 - Tempo padrão após implementação do SMED.

<i>Setup</i>	Duração	% Perturbações	% Descanso	% Fadiga	Tempo Padrão
Mudança de feira	9,63	0%	6%	13%	11,54
Mudança de jante	25,25			19%	14,15
Mudança de composto	11,22			13%	30,24

Logo, é possível observar uma redução na duração dos diferentes *setups*, tal como se pode verificar na Tabela 29.

Tabela 29 - Redução do tempo de *setup*.

<i>Setup</i>	Duração no cenário atual	Duração após implementação do SMED	Redução
Mudança de feira	22,76	11,54	49%
Mudança de composto	34,54	14,15	59%
Mudança de jante	38,95	30,24	22%

Note-se que, com a implementação do manual de instruções de afinação da Apex no plano de formação contínua atual da CMIP, espera-se que o tempo de afinação da máquina seja reduzido para uma média de três minutos, valor baseado na observação de uma amostra de operadores experientes que seguiram o método.

Ainda, tal como determinado no capítulo 4.3.4, sabe-se que o tempo dedicado a *setups* nas Apex, no cenário atual, corresponde a 5,8% do tempo disponível. Sabendo que o tempo disponível diário para produção nas 12 máquinas é de 13 926 minutos, determina-se que, por dia, passam-se aproximadamente 807 minutos a realizar *setups*. Além disso, sabe-se que:

- 60% do tempo diário dedicado a *setups* nas Apex corresponde a mudanças de feira;
- 15% do tempo diário dedicado a *setups* nas Apex corresponde a mudanças de composto;
- 24% do tempo diário dedicado a *setups* nas Apex corresponde a mudanças de jante;
- O tempo restante está associado a tempo de início e fim de turno.

Tendo estas informações, é possível determinar o tempo diário atual dedicado cada tipo de *setup* e, deste modo, perceber o impacto que a implementação do SMED tem ao fim de um dia de trabalho, tal como se pode verificar na Tabela 30.

Tabela 30 - Comparação entre tempo atual diário dedicado a *setups* e tempo proposto.

<i>Setup</i>	Tempo atual diário (min)	Tempo proposto (min)
Mudança de feira	484	247
Mudança de composto	121	49
Mudança de jante	194	151
Total	799	448

Tal como se pode verificar na Tabela 30, existe uma redução de cerca de 350 minutos diários dedicados a *setups*. Considerando um custo de € 42,45 por homem por hora e um custo de € 17 por máquina por hora, ao fim de um ano (equivalente a 320 dias) traduz-se numa poupança de cerca de € 135 000.

6.3 Utilização de ferramentas de simulação

Tal como referido no capítulo 5.3, uma das vantagens da simulação consiste na criação de cenários antes de os implementar em contexto real, possibilitando o conhecimento sobre o impacto que certas alterações possam ter na eficiência dos processos. Deste modo, esta secção dedica-se à alteração de fatores no SIMIO e à análise do seu efeito na capacidade produtiva.

6.3.1 Estudo do Método de Trabalho: Análise e melhoria dos processos atuais

Na simulação para estudo do método de trabalho, considera-se o rendimento normal do operador (133 na escala REFA). De forma a perceber como o rendimento do operador afeta a capacidade produtiva diária, é variado este elemento no SIMIO e os resultados encontram-se representados na Tabela 31.

Tabela 31 - Impacto do rendimento do operador na capacidade da máquina.

Rendimento	Utilização do operador	Impacto na capacidade
100	99,98%	-28%
167	79,91%	+18%

Primeiramente, o rendimento é reduzido de 133 para 100, o que significa uma queda na produtividade do operador, refletindo-se numa utilização quase total do operador e uma redução de 28% na capacidade produtiva. Contrariamente, aumentando o rendimento para 167, existe uma utilização menor do operador e um aumento de 18% na capacidade produtiva.

De seguida, opta-se por variar a duração das tarefas não ciclo, uma vez que é mais fácil começar por fazer ajustes nessas tarefas ao alterar o método de trabalho. Os resultados encontram-se presentes na Tabela 32.

Tabela 32 - Impacto das tarefas não ciclo na capacidade da máquina.

Duração não ciclo	Utilização do operador	Impacto na capacidade
-20%	96,14%	+1%
+20%	96,22%	-1%

Tal como se pode verificar nos resultados presentes na Tabela 32, não existem melhorias significativas na capacidade produtiva alterando a duração das tarefas não ciclo, indicando que as vantagens são principalmente a nível ergonómico.

6.3.2 Estudo da Capacidade Produtiva: Avaliação e maximização da produção

Na simulação para estudo da capacidade produtiva, colocam-se as ordens de produção no SIMIO, resultando numa capacidade produtiva de 2 981 pneus ao fim do dia. Determina-se, ainda, que das 24 horas diária, apenas 22,9 horas são produtivas.

Quanto à taxa de utilização das 12 máquinas, obtém-se os resultados presentes na Tabela 33.

Tabela 33 - Taxa de utilização das máquinas.

Apex	Utilização
1	73%
2	62%
3	60%
4	53%
5	61%
6	36%
7	75%
8	74%
9	76%
10	95%
11	63%
12	91%

As Apex 9, 10, e 12 apresentam as taxas de utilização mais elevadas, podendo sugerir uma elevada procura ou eficiência no uso dessas máquinas, mas também pode levar a desgaste acelerado e necessidade de manutenção. Por outro lado, as Apex 4 e 6 apresentam uma taxa de utilização mais baixa. A Apex 6, com apenas 36% de utilização, encontra-se subutilizada, podendo indicar problemas como ineficiências, manutenção pendente ou uma menor necessidade de uso, dado que a procura por jantes mais reduzidas tem vindo a diminuir ao longo dos anos.

É elaborado, também, um gráfico de Pareto representativo dos tempos de processamento no SIMIO das diferentes Apex, que se encontra na Figura 53.

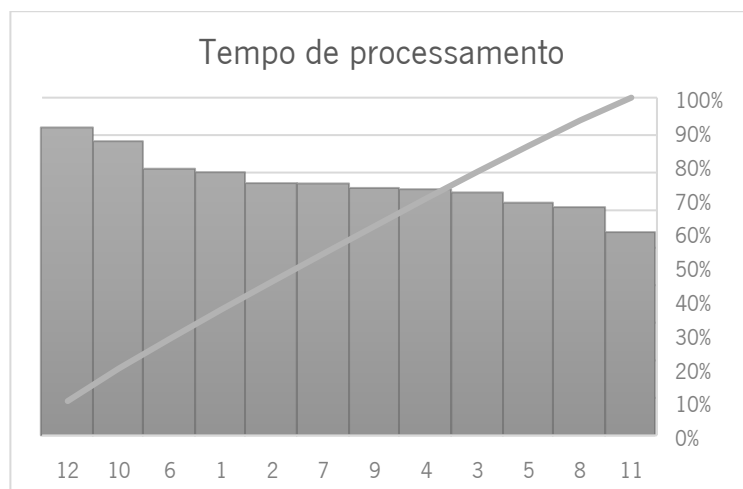


Figura 53 - Tempo de processamento das máquinas.

Note-se que, na versão atual do SIMIO, as ordens de produção são enviadas em simultâneo devido a falta de informação sobre a frequência das mesmas. Deste modo, seria interessante, a longo prazo, simular a entrada das ordens de produção e dos artigos no sistema de acordo com a realidade para, além da capacidade produtiva, estudar o *Work In Progress* (WIP) da área, ou seja, o tamanho e tempo das filas de espera, e quais os *bottlenecks*.

6.4 Avaliação de máquinas para aplicação automática de cunha em talão

Para a comparação entre as Apex e as XYZ, começa-se por realizar um estudo de perturbações. De seguida, determina-se o tempo padrão, bem como a capacidade produtiva, e, finalmente, é realizado um estudo de *setups*. Note-se que os dados recolhidos são referentes apenas às XYZ 13, 14 e 15, dado que a XYZ 16 ainda não se encontra em funcionamento, estando este planeado apenas para o final do ano de 2024.

6.4.1 Estudo de Perturbações

Para o estudo de perturbações, procede-se à observação das três máquinas ao longo de um período de 660 minutos e registaram-se 12 tipos de perturbação diferentes, representando aproximadamente 21,7 minutos de perturbações, sendo que a distribuição da duração de cada perturbação encontra-se representada na Tabela 34.

Tabela 34 - Perturbações das XYZ.

Nº	PERTURBAÇÃO	%
1	Separador de talões danifica talão	29,4%
2	Vulcanização da borracha	16,0%
3	Sensor ativa	10,9%
4	Ajustar contra-lâmina	10,6%
5	Falta de composto	8,8%
6	Separador de talões não separa talão	6,6%
7	Não aplicação da cunha (loop)	5,9%
8	Aplicação incorreta da cunha	3,7%
9	Ajustar rolo	3,2%
10	Detetor de metais	1,7%
11	Falta de validação de material	1,6%
12	Pinça vertical coloca talão incorretamente	1,5%

Deste modo, conclui-se que 3,3% do tempo observado consiste em perturbações, atribuindo este valor como correção por ocorrências irregulares ao tempo padrão. Ainda, é realizada uma análise ABC às perturbações analisadas. Começa-se, então, por elaborar um gráfico de Pareto, presente na Figura 54.

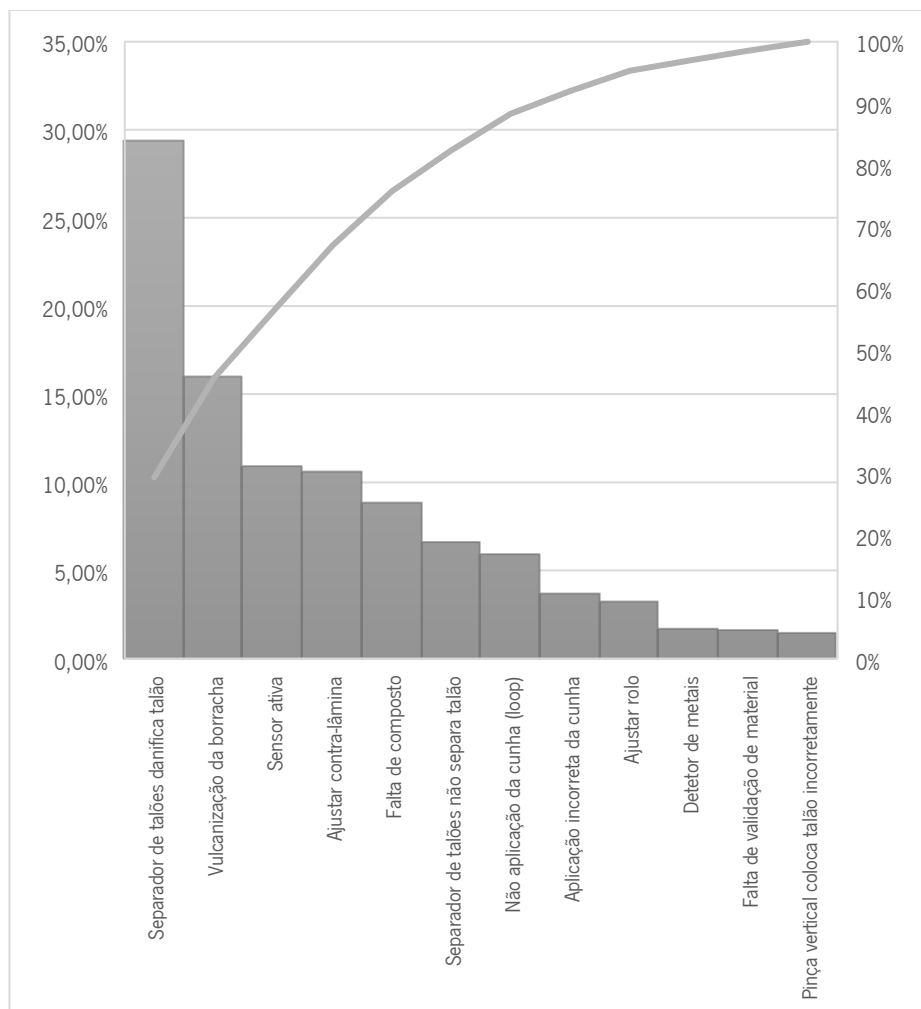


Figura 54 - Gráfico de Pareto de perturbações.

Tal como se pode observar na Figura 54, as duas perturbações que correspondem a uma maior duração são “Separador de talões danifica talão” e “Vulcanização da borracha”, representando aproximadamente 45,4% do tempo total de perturbações. Desta forma, determinam-se as classes:

- A **classe A** (20% das perturbações) corresponde a 45,4% do tempo total de perturbações;
- A **classe B** (30% das perturbações) corresponde a 37,0% do tempo total de perturbações;
- A **classe C** (50% das perturbações) corresponde a 17,6% do tempo total de perturbações.

É possível encontrar a constituição das diferentes classes na Tabela 35.

Tabela 35 - Análise ABC de perturbações.

PERTURBAÇÃO	% duração	% acumulada duração	% perturbação	% acumulada perturbação	Classe
Separador de talões danifica talão	29,4%	29,4%	8,3%	8,3%	A
Vulcanização da borracha	16,0%	45,4%	8,3%	16,7%	A
Sensor ativa	10,9%	56,3%	8,3%	25,0%	B
Ajustar contra-lâmina	10,6%	66,9%	8,3%	33,3%	B
Falta de composto	8,8%	75,8%	8,3%	41,7%	B
Separador de talões não separa talão	6,6%	82,4%	8,3%	50,0%	B
Não aplicação da cunha (loop)	5,9%	88,3%	8,3%	58,3%	C
Aplicação incorreta da cunha	3,7%	92,0%	8,3%	66,7%	C
Ajustar rolo	3,2%	95,2%	8,3%	75,0%	C
Detetor de metais	1,7%	96,9%	8,3%	83,3%	C
Falta de validação de material	1,6%	98,5%	8,3%	91,7%	C
Pinça vertical coloca talão incorretamente	1,5%	100,0%	8,3%	100,0%	C

Comparativamente às Apex, cuja percentagem de perturbações é de 2,4%, verifica-se um aumento de 37% nas perturbações, resultando num cenário aparentemente pior. Contudo, é de notar que as máquinas são recentes e estão em fase de testes, prevendo-se uma redução neste valor.

6.4.2 Cálculo do tempo padrão

Procede-se, agora, à construção da matriz de dados de tempos a recolher e, se seguida, à recolha de tempos para o posterior cálculo do tempo padrão. Sabe-se que as XYZ foram desenvolvidas com a intenção de produzir desde artigos com jante 16 a jante 22, apenas para composto B. Assim, a matriz de dados prevista para 2024 encontra-se representada na Tabela 36.

Tabela 36 - Matriz de dados XYZ.

Jante	Composto	XYZ		
		13	14	15
16	B	X	X	X
17		X	X	X
18		X	X	X
19		X	X	X
20		X	X	X
21		X	X	X
22		X	X	X

Na matriz de dados, encontram-se assinaladas as jantes e compostos produzidos pelas diferentes XYZ que serão alvo de recolha de tempos.

Recolha dos tempos de elementos ciclo

Os elementos ciclo da operação de aplicação da cunha em talão nas máquinas XYZ consistem naqueles que se repetem em todos os ciclos e, de forma a recolher os seus dados de tempos, começa-se por segmentar a operação em cinco elementos divididos em quatro categorias:

- **TM1** – correspondente aos elementos executados pelo separador de talões;
- **TM2** – correspondente aos elementos executados pela pinça horizontal;
- **TM3** – correspondente aos elementos executados pela pinça vertical;
- **TM4** – correspondente aos elementos executados pela unidade de montagem.

É possível encontrar os elementos representados na Tabela 37, bem como os momentos que marcam o seu início e fim.

Tabela 37 - Elementos da operação de aplicação de cunha em talão nas XYZ.

TM1	1. Separador de talões ativa	I: Separador de talões na posição inicial
		F: Pinça horizontal inicia transporte de talão
TM2	2. Pinça horizontal transporta talão	I: Pinça horizontal inicia transporte de talão
		F: Talão em posição para ser manipulado pela pinça vertical
TM3	3. Pinça vertical leva talão	I: Pinça vertical na posição inicial
		F: Pinça vertical coloca talão na unidade de montagem
TM3	4. Pinça vertical volta à posição inicial	I: Pinça vertical coloca talão na unidade de montagem
		F: Pinça vertical na posição inicial
TM 4	5. Unidade de montagem finaliza	I: Pinça vertical coloca talão na unidade de montagem
		F: Cunha aplicada no talão

Tendo presente esta informação, passa-se à cronometragem dos diversos elementos para as medidas presentes na matriz representada na Tabela 36. Tal como no capítulo 4.3.1, em cada amostra, considera-se um nível de confiança mínimo de 95% e uma precisão de $\pm 5\%$.

Tendo presentes os dados dos tempos dos diversos elementos, é possível passar ao cálculo do tempo de ciclo. Para isso, elabora-se a estrutura do processo com recurso ao diagrama de atividades múltiplas, representado na Figura 55.

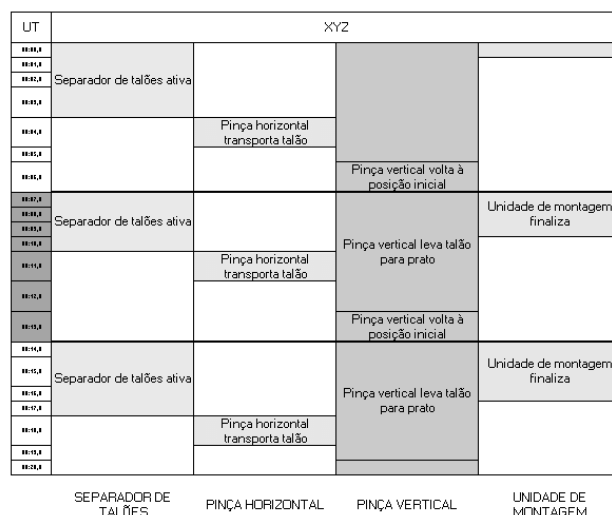


Figura 55 - Diagrama de atividades múltiplas XYZ.

Deste modo, o tempo de ciclo das XYZ é dado por (14):

$$\begin{aligned}
 & \text{Tempo Ciclo} \\
 & = [\text{Pinça vertical leva talão}] + [\text{Pinça vertical volta à posição inicial}]
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Na Tabela 38, encontram-se representados os tempos de ciclo para 100 peças, em minutos, para as XYZ.

Tabela 38 - Tempos de ciclo XYZ.

Jante	Composto	XYZ		
		13	14	15
16	B	18,16	19,52	22,13
17		18,16	19,59	21,85
18		18,16	18,78	22,21
19		17,87	18,90	21,85
20		18,87	19,83	21,32
21		18,16	19,42	21,85
22		18,16	20,33	20,94

Recolha dos tempos dos elementos não ciclo

Ao longo do turno, existem duas operações não ciclo, sendo uma realizada pela máquina e outra realizada pelo operador:

- Rotação da ciranda: cada vara da ciranda que abastece a XYZ tem a capacidade para 130 núcleos de talão e, portanto, quando a vara a realizar o abastecimento atual fica vazia, a ciranda gira até a vara seguinte ficar alinhada com o separador de talões para novo abastecimento;

- Troca do carro de talões: cada carro tem a capacidade para 500 talões, no caso das XYZ 13 e 14, ou 220 talões, no caso da XYZ 15, e, quando o mesmo fica cheio, o operador remove-o da zona do sensor e coloca um carro vazio.

Note-se que para a recolha de tempos dos elementos não ciclo também é analisado o número de observações necessárias, juntamente com a determinação do nível de confiança, à semelhança dos elementos ciclo. Os tempos não ciclo encontram-se representados na Tabela 39.

Tabela 39 - Tempos não ciclo XYZ.

Jante	Composto	XYZ		
		13	14	15
16	B	0,13	0,13	0,17
17		0,13	0,13	0,17
18		0,13	0,13	0,17
19		0,13	0,13	0,17
20		0,13	0,13	0,17
21		0,13	0,13	0,17
22		0,13	0,13	0,17

Determinação do tempo padrão

Determinados o tempo de ciclo e o tempo não ciclo das XYZ, e determinada uma correção de perturbações de 3,3%, é possível realizar o cálculo do tempo padrão do mesmo modo que no capítulo 4.3.3. Uma vez que as máquinas funcionam de forma automática, as correções de fadiga e de descanso são de 0%. O tempo padrão encontra-se representado na Tabela 40.

Tabela 40 - Tempo padrão XYZ.

Jante	Composto	XYZ		
		13	14	15
16	B	18,90	20,30	23,04
17		18,90	20,37	22,74
18		18,90	19,54	23,11
19		18,60	19,66	22,74
20		19,63	20,62	22,20
21		18,90	20,20	22,74
22		18,90	21,13	21,81

Cálculo da capacidade produtiva

Após a determinação dos tempos padrão, passa-se ao cálculo da capacidade produtiva das XYZ. Começando por recolher os dados de paragens previstos para as XYZ para 2024, estes encontram-se representados na Tabela 41.

Tabela 41 - Planeamento de paragens em 2024 nas XYZ.

Paragem	Categoria	%
Reparações e manutenções planeadas	Planeada	0,88
Pausas para descanso	Planeada	0,19
Testes e desenvolvimento	Planeada	0,03
Setups	Não planeada	2,30
Outras reparações e manutenções	Não planeada	0,73
Baixa eficiência	Não planeada	0,84
Atrasos na produção	Não planeada	4,04

Ainda, são aplicadas as correções de *scrap* no processo atual e nos processos subsequentes ou seja, 0,3% e 1,35% respetivamente. Logo, o tempo disponível é de (15):

$$\text{Tempo Disponível} = 24 \text{ horas} \times 4 \text{ máquinas} \times (1 - 10,66\%) = 5 \, 145,94 \text{ minutos} \quad (15)$$

Como se prevê o funcionamento da XYZ 16 para o final do ano de 2024, consideram-se quatro máquinas no cálculo. Passando para a determinação do tempo médio ponderado de produção por artigo, começa-se por recolher os dados previstos para a distribuição da produção dos artigos para as XYZ, presentes na Tabela 42.

Tabela 42 - Distribuição percentual dos artigos por XYZ.

Jante	Composto	XYZ		
		13	14	15
16	B	17,46%	40,51%	42,02%
17		19,39%	44,91%	35,71%
18		7,29%	19,71%	72,99%
19		77,53%	21,13%	1,34%
20		17,51%	76,60%	5,89%
21		13,82%	61,49%	24,70%
22		10,82%	20,59%	68,59%

Logo, é possível determinar o tempo necessário para a produção, presente na Tabela 43.

Tabela 43 - Tempo médio ponderado de cada artigo nas XYZ.

Jante	Composto	Procura média diária em 2024	Tempo Médio Ponderado	Tempo Necessário Total
16	B	342	20,93	71,59
17		912	20,93	191,00
18		5 257	22,10	1 161,67
19		8 585	18,88	1 620,93
20		2 815	20,54	578,19
21		1 837	20,65	379,47
22		120	21,35	25,64
Tempo Final		19 870	20,27	4 028,50

Deste modo, a capacidade produtiva de talões nas XYZ é de 12 691 pneus, tal como representado por (16).

$$Capacidade = \frac{Tempo\ Disponível}{Tempo\ médio\ ponderado} = \frac{5\ 145}{20,27} = 25\ 382\ talões = 12\ 691\ pneus \quad (16)$$

Conclui-se, então, que a capacidade produtiva média por máquina corresponde a 3 172 pneus, correspondendo a um aumento de 6% comparativamente ao cenário atual.

6.4.3 Estudo de *Setups*

Procede-se, agora, à cronometragem da mudança de jante nas XYZ. As etapas da mudança e a duração respetiva encontram-se representadas na Tabela 44.

Tabela 44 - Duração da mudança de jante nas XYZ.

Número	Tarefa	Etapas	Duração (minutos)	Tipo
1	Fechar corrida	Colocar máquina em modo manual	0,27	Interno
2	Trocar carro de separadores	Imprimir etiqueta	0,18	Externo
3		Transportar etiqueta até ao carro antigo	0,20	Externo
4		Remover carro antigo	1,60	Interno
5		Colocar carro para nova corrida	0,78	Externo
6		Remover carro antigo	0,60	Externo
7	Trocar carro de núcleos	Colocar carro para nova corrida	0,57	Externo
8		Validar nova etiqueta	0,42	Externo
9		Validar nova etiqueta	0,25	Interno
10	Alterar receita	Inserir nova receita	1,98	Interno
11	Mudar jante	Transportar mesa para perto da máquina	0,40	Interno
12		Colocar proteção na lâmina	0,12	Interno
13		Preparar ferramentas	0,58	Interno
14		Desapertar prato	0,35	Interno
15		Remover componente 1 antigo	0,97	Interno
16		Arrumar componente 1 antigo	0,18	Interno
17		Trocar peça de componente 1 (se for o caso)	1,97	Interno
18		Apertar componente 1 novo	1,68	Interno
19		Remover componente 2 antigo	0,93	Interno
20		Arrumar componente 2 antigo	0,17	Interno
21		Trocar peça de componente 2 (se for o caso)	1,42	Interno
22		Apertar componente 2 novo	1,25	Interno
23		Remover componente 3 antigo	1,05	Interno
24		Arrumar componente 3 antigo	0,18	Interno
25		Trocar peça de componente 3 (se for o caso)	1,08	Interno
26		Apertar componente 3 novo	1,65	Interno
27		Armazenar proteção da lâmina e ferramentas	0,47	Interno
28		Arrumar mesa	0,23	Interno
29	Ajustar separador de talões	Ajustar separador de talões	0,47	Interno
30	Iniciar produção	Abastecer máquina com núcleos	1,72	Interno
31		Realizar afinações finais	3,22	Interno

Deste modo, conclui-se que a mudança de jante normal tem uma duração de 19,72 minutos enquanto que a mudança de tipo de jante tem uma duração de 24,18 minutos. Deste modo, é possível determinar o tempo padrão da mudança, que se encontra representado na Tabela 45. A correção de fadiga para a mudança de jante encontra-se determinada no Apêndice 7 – Cálculo de correções de fadiga.

Tabela 45 - Tempo padrão dos *setups* nas XYZ.

<i>Setup</i>	Duração	% Perturbações	% Descanso	% Fadiga	Tempo Padrão
Mudança de jante normal	19,72	0%	6%	16%	24,24
Mudança de tipo de jante	24,18				29,74

Comparando o tipo de mudança mais longo das XYZ com a mudança de jante nas Apex, existe uma redução de 9%.

6.5 Síntese de resultados

Nesta secção, é apresentada uma síntese dos resultados das propostas de melhoria, à exceção da simulação, que não afeta diretamente o posto de trabalho e se encontra representada na Tabela 46.

Tabela 46 - Síntese de resultados.

		Indicador	Atual	Proposto	Impacto
1	1.1 Método de trabalho: mantendo a mesa	Pontuação REBA	12	11	Redução de 1 ponto
	1.2 Método de trabalho: removendo a mesa	Pontuação REBA	12	10	Redução de 2 pontos
		Movimentos por ciclo (cm)	537	510	Redução de 5%
		Capacidade/máquina (pneus)	2981	3312	Aumento de 10%
2	Implementação do SMED	Mudança fleira	22,76	11,54	Redução de 49%
		Mudança jante	34,54	14,15	Redução de 59%
		Mudança composto	38,95	30,24	Redução de 22%
4	Estudo de máquinas de aplicação automática de cunha em talão	Perturbações	2.4%	3.3%	Aumento de 25%
		Perdas capacidade	19.4%	10.7%	Redução de 45%
		Capacidade/máquina (pneus)	2981	3172	Aumento de 6%
		Mudança jante	34,54	29,74	Redução de 9%
		Operadores/máquina	1.3	0.5	Redução de 61%

Analisando os indicadores presentes na Tabela 46, é possível verificar um impacto positivo geral com a implementação das propostas de melhoria. Com a alteração do método de trabalho mantendo a mesa de talões e separadores existe uma redução no risco ergonómico, bem como, a médio/longo prazo, se espera uma redução da variabilidade do processo, uma melhor qualidade de vida dos operadores e, consequentemente, num aumento da eficiência do processo. Já com a alteração do método de trabalho removendo a mesa, traduz-se numa redução do risco ergonómico, nos movimentos realizados pelo operador e num aumento na capacidade por máquina. Estes indicadores revelam uma maior produtividade no final do turno.

Quanto à implementação do SMED, existe uma redução substancial nas mudanças de fieira, jante e composto, sugerindo uma melhoria significativa a eficiência do processo através da redução de tarefas desnecessárias.

Com o estudo das XYZ, apesar de as perturbações aumentarem 25%, existe uma redução nas perdas de capacidade e um aumento na capacidade por máquina, indicando que, apesar de algumas dificuldades operacionais emergentes dos testes realizados nas máquinas, existe uma melhoria na eficiência. Observa-se, também, uma redução na mudança de jante e no número de operadores necessários.

Quanto à ferramenta de simulação, esta não se reflete em melhorias propriamente ditas no posto de trabalho das Apex, mas sim na possibilidade de simular e testar essas mesmas melhorias. Através da simulação do método de trabalho e da capacidade produtiva, é possível trabalhar no âmbito da melhoria contínua dos processos e da eficiência operacional, percebendo o impacto das soluções antes da sua execução.

Deste modo, determina-se que as mudanças propostas causam melhorias significativas ao cenário atual, nomeadamente na eficiência, capacidade de produção e ergonomia. Apesar disso, estas devem ser monitorizadas de forma a promover a melhoria contínua dos processos.

7. CONCLUSÃO

Neste capítulo, são apresentadas as principais conclusões sobre o projeto realizado, mencionando considerações finais e propostas para trabalho futuro.

7.1 Considerações finais

O presente projeto consistiu na análise e melhoria do processo de Preparação a Quente na produção de pneus na Continental Mabor, com foco na aplicação dos princípios do *Lean Manufacturing*. Através de uma abordagem sistemática, orientada pela metodologia de investigação-ação, foram identificados e abordados problemas que comprometem a eficiência e a qualidade do processo produtivo.

O diagnóstico detalhado inicial do setor revelou várias ineficiências, incluindo desperdícios e variabilidade significativa no processo, além de riscos ergonômicos associados às condições de trabalho. Com base nas análises realizadas, foram propostas melhorias que incluíram a aplicação dos princípios do *Lean Manufacturing* e a utilização de metodologias de tempos e métodos para otimização do processo.

Os resultados das intervenções demonstraram uma redução significativa nos tempos de *setup* (até 59%) e um aumento na eficiência operacional, com um aumento da capacidade produtiva até 10%. Além disso, a aplicação de práticas ergonômicas adequadas reduziu os riscos de lesões músculo-esqueléticas em dois valores na pontuação REBA, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro e saudável para os colaboradores. Assim, a análise de resultados valida as hipóteses iniciais, evidenciando que a adoção do *Lean* permite não só a eliminação de desperdícios, mas também o aumento da satisfação dos colaboradores e a melhoria do ambiente de trabalho.

Assim, determina-se que os objetivos estabelecidos no início deste estudo foram cumpridos, pois foi possível aplicar os princípios do *Lean Manufacturing* no processo de Preparação a Quente na produção de pneus, resultando na eliminação de desperdícios e na redução da variabilidade do processo. Através da determinação dos tempos padrão e da identificação dos elementos de ciclo, foi possível obter dados produtivos fidedignos que sustentaram a tomada de decisão. As propostas de melhoria não só resultaram numa melhor consistência e qualidade dos produtos fabricados, mas também na utilização de recursos eficaz, resultando num aumento significativo da eficiência operacional. Estes resultados confirmam o sucesso das estratégias propostas e validam a eficácia da metodologia de investigação-ação utilizada, proporcionando uma base sólida a melhoria contínua.

No contexto global, o trabalho desenvolvido neste projeto serve como um exemplo bem-sucedido da sinergia entre *Lean Manufacturing*, Ergonomia e Fatores Humanos, e Estudo do Trabalho. A integração

desses três conceitos permitiu não apenas a otimização da eficiência operacional e a redução de desperdícios, mas também a melhoria significativa das condições de trabalho e a promoção de um ambiente mais seguro e saudável para os colaboradores. Este exemplo sublinha a importância de uma abordagem holística e interdisciplinar na busca por soluções que respondam aos desafios competitivos do mercado, garantindo simultaneamente a sustentabilidade e o bem-estar dos trabalhadores.

7.2 Trabalho futuro

Embora este estudo tenha contribuído significativamente para a otimização do processo de Preparação a Quente, é importante reconhecer certas limitações que abrem espaço para trabalhos futuros, tais como a dependência de métodos qualitativos e, além disso, a execução do projeto num período específico que limita a capacidade de observar como o cenário pode evoluir ao longo do tempo, dificultando a previsão de tendências futuras ou a identificação de mudanças a longo prazo.

Quanto às soluções apresentadas, embora tenham gerado impacto positivo no cenário atual, existe espaço para melhorias. Começando pelas alterações no posto de trabalho, nomeadamente no cenário A, embora se limite a carga a ser manipulada pelos operadores, os mesmos continuam sujeitos a trabalhos repetitivos e posturas inadequadas. Além disso, a mesa de talões e separadores ocupa espaço que pode ser significativo na movimentação do operador ou armazenamento de materiais, criando um ambiente de trabalho congestionado. Neste sentido, sugere-se a investigação de novas formas de ajustar a altura e o posicionamento da mesa para reduzir o esforço físico, como mesas ajustáveis que se ajustem às necessidades dos operadores. Quanto ao cenário B, a remoção da mesa requer uma mudança significativa no método de trabalho, o que pode gerar resistência por parte dos operadores, levando a um aumento temporário no tempo de ciclo durante a fase de adaptação. Para colmatar estes desafios, sugere-se, no futuro, desenvolver planos de formação para ajudar os operadores a se adaptarem. Ainda, para ambos os cenários, sugere-se o estudo para a compra de novos carros de talões e separadores, dado que, além de os atuais estarem desgastados, são pesados e as suas varas estão a uma altura demasiado elevada para a colocação dos artigos, obrigando os operadores a adotar posturas perigosas. Quanto à implementação do SMED, reconhece-se que, no cenário atual, os operadores ajudantes são responsáveis por várias tarefas e podem não conseguir responder a todas as necessidades. Deste modo, seria relevante realizar um estudo de *manning* nesta área e perceber o impacto de aumentar ao número de operadores ajudantes, o que pode exigir alguns custos adicionais.

Quanto à ferramenta de simulação, a criação de deste tipo de modelos pode ser complexa e demorada e podem existir pequenas discrepâncias podem levar a resultados não representativos. A falta de dados

confiáveis pode comprometer a análise. O SIMIO é uma ferramenta nova para a Continental Mabor, pelo que se deve apostar num plano de formação para a utilização e melhoria contínua da ferramenta. Assim, seria possível, no futuro, simular outros indicadores de desempenho relevantes para a empresa, como o WIP, e integrar com o sistema atual de planeamento da produção.

Finalmente, relativamente ao estudo de máquinas de aplicação automática de cunha em talão, a aquisição e instalação destas pode representar um investimento inicial significativo, sugerindo-se um estudo económico para determinar exatamente os ganhos a longo prazo, e a integração com os processos existentes pode ser complexa, exigindo ajustes nos fluxos de trabalho e formação adicional para os operadores e a equipa de manutenção.

Em conclusão, as limitações das propostas de melhoria oferecem uma base para a melhoria contínua, sendo possível otimizar as melhorias propostas e maximizar o seu impacto. As sugestões para trabalhos futuros abrem espaço para inovação e adaptação constante, promovendo soluções mais eficazes e sustentáveis para os problemas identificados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al Madani, D., & Dababneh, A. (2016). Rapid Entire Body Assessment: A Literature Review. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(1), 107–118.
- Alves, A., Ferreira, A., Maia, L., Leao, C., & Carneiro, P. (2019). A symbiotic relationship between Lean Production and Ergonomics: insights from Industrial Engineering final year projects. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 10, 243–256. <https://doi.org/10.24867/IJIEM-2019-4-244>
- Arjmand, N., Amini, M., Shirazi-Adl, A., Plamondon, A., & Parnianpour, M. (2015). Revised NIOSH Lifting Equation May generate spine loads exceeding recommended limits. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 47, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2014.09.010>
- Ballard, G., & Feng, P. (2008). *Standard Work From a Lean Theory Perspective*. <https://www.researchgate.net/publication/228425542>
- Barroso, M. P. (2000). Tabelas para Cálculo das Correções de Repouso. *Apontamentos Da Disciplina de Ergonomia e Estudo Do Trabalho Do Curso de Engenharia e Gestão Industrial, Universidade Do Minho*.
- Bastos, N. M., Alves, A. C., Castro, F. X., Duarte, J., Ferreira, L. P., & Silva, F. J. G. (2021). Reconfiguration of assembly lines using Lean Thinking in an electronics components' manufacturer for the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 55, 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.10.053>
- Bittencourt, V. L., Alves, A. C., & Leão, C. P. (2021). Industry 4.0 triggered by Lean Thinking: insights from a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(5), 1496–1510. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1832274>
- Bittencourt, W., Alves, A., & Arezes, P. (2011). *Revisão bibliográfica sobre a sinergia entre Lean Production e Ergonomia*.
- Botezatu, C., Condrea, I., Oroian, B., Hrițuc, A., Ețcu, M., & Slătineanu, L. (2019). Use of the Ishikawa diagram in the investigation of some industrial processes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 682(1), 12012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/682/1/012012>
- Bragança, S., & Costa, E. (2015). An application of the Lean Production tool Standard Work. *Jurnal Tehnologi (Sciences and Engineering)*, 76(1), 47–53. <https://doi.org/10.11113/jt.v76.3659>

- Castelôa, L., Luís, S. , R. T., & Oliveira, I. (2019). Prevalência das lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho dos enfermeiros: Revisão integrativa. *Revista de Investigação & Inovação Em Saúde*, 2(1), 63–74.
- Colim, A., Faria. C., Braga, A. C., Sousa, N., Rocha, L., Carneiro, P., Costa, N., & Arezes, P. (2020). Towards an Ergonomic Assessment Framework for Industrial Assembly Workstations - A Case Study. *Applied Sciences*, 10(9), 3048.
- Colim, A., Morgado, R., Carneiro, P., Costa, N., Faria, C., Sousa, N., Rocha, L. A., & Arezes, P. (2021). Lean Manufacturing and Ergonomics Integration: Defining Productivity and Wellbeing Indicators in a Human–Robot Workstation. *Sustainability*, 13(4), 1931.
- Continental AG. (2024). <https://www.continental.com/en/>
- Continental Mabor. (2024). <https://www.continentalmabor.pt/>
- Continental Tires. (2024). <https://www.continental-tires.com/pt/pt/>
- Costa, L. G., & Arezes, P. M. (2003). *Introdução ao Estudo do Trabalho*.
- Dara, H. M., Raut, A., Adamu, M., Ibrahim, Y. E., & Ingle, P. V. (2024). Reducing non-value added (NVA) activities through lean tools for the precast industry. *Heliyon*, 10(7), e29148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29148>
- Dehghanimohammadabadi, M., & Keyser, T. K. (2017). Intelligent simulation: Integration of SIMIO and MATLAB to deploy decision support systems to simulation environment. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 71, 45–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.simpat.2016.08.007>
- Dul, J., & Neumann, W. P. (2009). Ergonomics contributions to company strategies. *Applied Ergonomics*, 40(4), 745–752.
- Dul, J., & Weerdmeester, B. (2008). *Ergonomics for Beginners: A Quick Reference Guide, Third Edition* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781420077520>
- Ewnetu, M., & Gzate, Y. (2023). Assembly operation productivity improvement for garment production industry through the integration of lean and work-study, a case study on Bahir Dar textile share company in garment, Bahir Dar, Ethiopia. *Heliyon*, 9(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17917>
- Exertus, Lda. (2003). *Manual Pedagógico PRONACI Métodos e Tempos*. Associação Empresarial de Portugal.
- Felippe, A. D., Custodio, M. R., Dolzan, N., & Teixeira, E. S. M. (2012). Análise descritiva do estudo de tempos e métodos: uma aplicação no setor de embaladeira de uma indústria têxtil. *SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA*, 9.

- Filip, F. C., & Marascu-Klein, V. (2015). The 5S lean method as a tool of industrial management performances. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 95(1), 12127. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/95/1/012127>
- Fonte, A., Alves, A., & Coutinho, B. (2020). Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs) and Mental Health. *J Psychiatry Behav Sci*, 3(1), 1043.
- Fox, R. R., Lu, M.-L., Occhipinti, E., & Jaeger, M. (2019). Understanding outcome metrics of the revised NIOSH lifting equation. *Applied Ergonomics*, 81, 102897. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102897>
- Francischini, P. G. (1997). *Estudo de tempos. Gestão de operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa* (3rd ed.).
- Gan, W. Y., Raja Ghazilla, R. A., Yap, H. J., & Selvarajoo, S. (2024). Industrial practitioner's perception on the application of exoskeleton system in automotive assembly industries: A Malaysian case study. *Heliyon*, 10(4), e26183. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26183>
- Gartlehner, G., Schultes, M. T., Titscher, V., Morgan, L. C., Bobashev, G. V., Williams, P., & West, S. L. (2017). User testing of an adaptation of fishbone diagrams to depict results of systematic reviews. *BMC Medical Research Methodology*, 17, 1–9.
- González-Alonso, J., Simón-Martínez, C., Antón-Rodríguez, M., González-Ortega, D., Díaz-Pernas, F. J., & Martínez-Zarzuela, M. (2024). Development of an end-to-end hardware and software pipeline for affordable and feasible ergonomics assessment in the automotive industry. *Safety Science*, 173, 106431. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106431>
- Groover, M. P. (2007). *Work systems and the methods, measurement, and management of work*. Pearson Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201–205. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3)
- Hollnagel, E. (2014). Human factors/ergonomics as a systems discipline? “The human use of human beings” revisited. *Applied Ergonomics*, 45(1), 40–44. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.03.024>
- Hussain, A., Mehmood, A., & Khurram Bhutta, M. (2024). A Systematic Framework for the Integration of Lean, Green, and Human Factors for Sustainable Production. *Human Aspects of Advanced Manufacturing, Production Management and Process Control*, 146. <https://doi.org/10.54941/ahfe1005150>
- Iida, I., & Buarque, L. I. A. (2021). *Ergonomia: projeto e produção* (Editora Blucher).

- Jenkins, J. L., & Orth, D. L. (2004). Productivity improvement through work sampling. *Cost Engineering*, 46(3), 27.
- Joshi, M., & Deshpande, V. (2020). Investigative study and sensitivity analysis of Rapid Entire Body Assessment (REBA). *International Journal of Industrial Ergonomics*, 79, 103004.
- Karwowski, W. (2006). The discipline of ergonomics and human factors. *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, 1–31.
- Kehr, T. W., & Proctor, M. D. (2017). People Pillars: Re-structuring the Toyota Production System (TPS) House Based on Inadequacies Revealed During the Automotive Recall Crisis. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(4), 921–930. <https://doi.org/10.1002/qre.2059>
- Khalid S. Al-Saleh. (2011). Productivity improvement of a motor vehicle inspection station using motion and time study techniques. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 23(1), 33–41.
- Kilpatrick, J. (2003). Lean Principles. *Utah Manufacturing Extension Partnership*, 68(1), 1–5.
- Lai, N. Y. G., Foo, W. C., Tan, C. S., Kang, M. S., Kang, H. S., Wong, K. H., Yu, L. J., Sun, X., & Tan, N. M. L. (2022). Understanding Learning Intention Complexities in Lean Manufacturing Training for Innovation on the Production Floor. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/joitmc8030110>
- Lehn, P. D., dos Santos Amarante, M., Geribello, R. S., Garcia, T. P., Queiroz, R. C., & Augusto, O. A. (2018). A importância da definição e padronização dos tempos na determinação da capacidade produtiva. *Revista Pesquisa e Ação*, 4(2).
- Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development Executive Overview. *Academy of Management Perspectives*, 5–20.
- Liliana, L. (2016). A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 161(1), 12099. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/161/1/012099>
- Lopes, E. de J., de Souza, A. B. V., Pierre, J. Í. da S., Júnior, R. A. R., & da Ponte, F. A. F. (2022). Application Of Methods-Time Measurement As A Tool To Improve Productivity In A Beauty Salon. *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, 8(35), 20–23. <https://doi.org/10.5935/jetia.v8i35.817>
- Maia, L. C., Alves, A. C., & Leão, C. P. (2011). *Metodologias para implementar Lean Production: Uma revisão crítica de literatura*.
- Maynard, H. B. (2004). *Maynard's Industrial Engineering Handbook* (K. B. Zandin, Ed.; 5th ed.). McGraw-Hill.

- Michalska, J., & Szewieczek, D. (2007). The 5S methodology as a tool for improving the organization. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 24(2), 211–214.
- O'Brien, R. (1998). *An Overview of the Methodological Approach of Action Research*.
<http://www.web.ca/~robrien/papers/arfinal.html>
- Ogedengbe, T. S., Abiola, O. A., Ikumapayi, O. M., Afolalu, S. A., Musa, A. I., Ajayeoba, A. O., & Adeyi, T. A. (2023). Ergonomics Postural Risk Assessment and Observational Techniques in the 21st Century. *Procedia Computer Science*, 217, 1335–1344.
- Oliveira, B., Alves, A., Carneiro, P., & Ferreira, A. (2018). Lean production and ergonomics: a synergy to improve productivity and working conditions. *International Journal of Occupational and Environmental Safety*, 2, 1–11. https://doi.org/10.24840/2184-0954_002.002_0001
- Pegden, C. D., & Sturrock, D. T. (2010). Introduction to SIMIO. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*.
- Pigage, L. C., & Tucker, J. L. (1954). *Motion and Time Study* (Vol. 51). Institute of Labor and Industrial Relations.
- Pinto, G. F. L., Silva, F. J. G., Campilho, R. D. S. G., Casais, R. B., Fernandes, A. J., & Baptista, A. (2019). Continuous improvement in maintenance: a case study in the automotive industry involving Lean tools. *Procedia Manufacturing*, 38, 1582–1591.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.127>
- Raikar, N. A., Kattimani, P., & Walke, G. (2015). Use of spaghetti diagram for identification and elimination of waste movements in shop floor for OEE improvement: a case study. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(5), 1145–1149.
- Reke, E., Powell, D., & Mogos, M. F. (2022). Applying the fundamentals of TPS to realize a resilient and responsive manufacturing system. *Procedia CIRP*, 107, 1221–1225.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.135>
- Senderska, K., Mareš, A., & Václav, Š. (2017). Spaghetti diagram application for workers' movement analysis. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 79(1), 139–150.
- Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation. *1998 Winter Simulation Conference. Proceedings (Cat. No.98CH36274)*, 1, 7–14 vol.1.
<https://doi.org/10.1109/WSC.1998.744892>
- Sheikh-Sajadieh, H., Navabakhsh, M., Karimi-Ghartemani, S., & Allameh-haery, F. (2013). Achieve to agility manufacturing by use of seven wastes through Lean manufacturing. *Advances in Environmental Biology*, 7(8), 1687–1691.

- Shingo, S. (1983). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press.
- Smith, J., & Sturrock, D. (2024). *Simio and Simulation - Modeling, Analysis, Applications* (7th ed.).
- Smith, S. (2014). Muda, Muri and Mura. *ASQ Six Sigma Forum Magazine*, 13(2), 36–37.
- Sousa-Uva, A., Carnide, F., Serranheira, F., Miranda, L., & Lopes, M. (2008). *Lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho: guia para a prevenção*.
- Susman, G., & Evered, R. D. (1978). An Assessment of the Scientific Merits of Action Research. *Administrative Science Quarterly*, 23(4), 582–603. <https://doi.org/10.2307/2392581>
- Tang, K. H. D. (2020). Abating biomechanical risks: A comparative review of ergonomic assessment tools. *Journal of Engineering Research and Reports*, 17(3), 41–51.
- Ulutas, B. (2011). An application of SMED Methodology. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, 5(7), 1194–1197.
- Vieira, A., Dias, L., Pereira, G., & Oliveira, J. A. (2014). *Comparison of SIMIO and ARENA simulation tools*.
- Waters, T. R., Putz-Anderson, V., & Garg, A. (1994). Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. *U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH)*, 94–110.
- Weise, A. D., Bolsson, D., Medeiros, F. S. B., & Boligon, J. A. R. (2013). Um estudo sobre o tempo-padrão no processo produtivo de recapagem de pneus em uma concessionária de veículos. *GESTÃO E DESENVOLVIMENTO*, 10(1), 113–124.
- Wilson, J. R. (2000). Fundamentals of ergonomics in theory and practice. *Applied Ergonomics*, 31(6), 557–567.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Lean Thinking - Banish waste and create wealth in your corporation. In *Journal of the Operational Research Society* (Issue 11). Simons & Schuster. <https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600967>
- Wong, K. C. (2011). Using an Ishikawa diagram as a tool to assist memory and retrieval of relevant medical cases from the medical literature. *Journal of Medical Case Reports*, 5, 1–3.

APÊNDICES

Apêndice 1 – Aplicação da equação NIOSH nas Apex

Tabela 47 - Equação de NIOSH nas Apex - varas de cima.

VARAS DE CIMA																
JANTE	CARGA (KG)	CC (KG)	V	L	H	MH	MV	D	MD	A	MA	PEGA	MP	T	F	MF
14	8,9	23	78,5	35,81	37,905	0,660	0,9895	116,8	0,859	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
15	8,6	23	78,5	38,356	39,178	0,638	0,9895	116,8	0,859	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
16	8,3	23	78,5	40,903	40,4515	0,618	0,9895	116,8	0,859	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
17	8,0	23	78,5	44,022	42,011	0,595	0,9895	116,8	0,859	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
18	7,8	23	78,5	46,505	43,2525	0,578	0,9895	116,8	0,859	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
19	7,6	23	78,5	49,115	44,5575	0,561	0,9895	116,8	0,859	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
20	7,4	23	78,5	51,63	45,815	0,546	0,9895	116,8	0,859	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
21	7,2	23	78,5	54,176	47,088	0,531	0,9895	116,8	0,859	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
22	7,0	23	78,5	56,701	48,3505	0,517	0,9895	116,8	0,859	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97

Tabela 48 - Equação de NIOSH nas Apex - varas do meio.

VARAS DO MEIO																
JANTE	CARGA (KG)	CC (KG)	V	L	H	MH	MV	D	MD	A	MA	PEGA	MP	T	F	MF
14	9,1	23	78,5	35,81	37,905	0,660	0,9895	73,8	0,881	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
15	8,8	23	78,5	38,356	39,178	0,638	0,9895	73,8	0,881	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
16	8,6	23	78,5	40,903	40,4515	0,618	0,9895	73,8	0,881	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
17	8,2	23	78,5	44,022	42,011	0,595	0,9895	73,8	0,881	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
18	8,0	23	78,5	46,505	43,2525	0,578	0,9895	73,8	0,881	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
19	7,8	23	78,5	49,115	44,5575	0,561	0,9895	73,8	0,881	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
20	7,6	23	78,5	51,63	45,815	0,546	0,9895	73,8	0,881	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
21	7,4	23	78,5	54,176	47,088	0,531	0,9895	73,8	0,881	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
22	7,2	23	78,5	56,701	48,3505	0,517	0,9895	73,8	0,881	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97

Tabela 49 - Equação de NIOSH nas Apex - varas de baixo.

VARAS DE BAIXO																
JANTE	CARGA (KG)	CC (KG)	V	L	H	MH	MV	D	MD	A	MA	PEGA	MP	T	F	MF
14	10,0	23	78,5	35,81	37,905	0,660	0,9895	30,9	0,966	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
15	9,7	23	78,5	38,356	39,178	0,638	0,9895	30,9	0,966	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
16	9,4	23	78,5	40,903	40,4515	0,618	0,9895	30,9	0,966	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
17	9,0	23	78,5	44,022	42,011	0,595	0,9895	30,9	0,966	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
18	8,8	23	78,5	46,505	43,2525	0,578	0,9895	30,9	0,966	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
19	8,5	23	78,5	49,115	44,5575	0,561	0,9895	30,9	0,966	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
20	8,3	23	78,5	51,63	45,815	0,546	0,9895	30,9	0,966	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
21	8,1	23	78,5	54,176	47,088	0,531	0,9895	30,9	0,966	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97
22	7,8	23	78,5	56,701	48,3505	0,517	0,9895	30,9	0,966	90	0,712	ACEITÁVEL	1	=< 1H	0,5	0,97

Apêndice 2 – Questionário aos operadores

NOME: _____
CÓDIGO DE TRABALHADOR: _____
TURNO: _____



QUESTIONÁRIO PARA DIAGNÓSTICO DAS APEX

FATORES TÉCNICOS	
Rotina	
Quais são as principais tarefas que realiza diariamente?	
Quanto tempo, em média, leva cada tarefa?	
Desafios	
Quais são os maiores desafios que enfrenta durante o seu turno de trabalho?	
Existe alguma tarefa em específico que considere mais difícil ou demorada? Porquê?	
Perturbações	
Que tipo de perturbações/interrupções é que mais afetam o seu trabalho?	
Com que frequência ocorrem e qual o impacto?	
Máquina	
Como é que descreve a facilidade de utilização da máquina?	
Costuma ter problemas técnicos na utilização da máquina?	

FATORES HUMANOS	
Autonomia	
Executa tarefas de forma autônoma, pedindo auxílio apenas quando é necessário?	
Quando acontecem problemas/imprevistos, resolve de forma autônoma?	
Adaptabilidade	
Quais seriam os motivos possíveis para não aceitar uma mudança sugerida?	
Se fôr necessário aprender a fazer as coisas de outra forma, estaria disposto a fazê-lo?	
Sugestões	
Tem alguma sugestão de melhoria para o método de trabalho?	

Figura 56 - Questionário aos operadores.

Apêndice 3 – Análise ABC de perturbações

Tabela 50 - Análise ABC de perturbações.

PERTURBAÇÕES	% duração	% acumulada duração	% perturbação	% acumulada perturbação	Classe
Tira de composto rebenta	28,6%	28,6%	3,3%	3,3%	A
<i>Scrapar</i>	13,4%	42,0%	3,3%	6,7%	A
Ajustar garras	10,8%	52,8%	3,3%	10,0%	A
Puxar cunha da máquina	7,4%	60,2%	3,3%	13,3%	A
Máquina aplica uma só cunha	4,7%	64,9%	3,3%	16,7%	A
Ativar sensor da máquina	4,0%	68,9%	3,3%	20,0%	A
Ajustar guias da frente	3,7%	72,6%	3,3%	23,3%	B
Ajustar agulhas	3,6%	76,2%	3,3%	26,7%	B
Transportar <i>scrap/workoff</i>	2,9%	79,2%	3,3%	30,0%	B
Ativar detetor de metais	2,2%	81,4%	3,3%	33,3%	B
Ajustar rolo calcador	2,2%	83,5%	3,3%	36,7%	B
Ajustar slitter	2,0%	85,6%	3,3%	40,0%	B
Erro na validação do material	1,9%	87,5%	3,3%	43,3%	B
Ajustar comprimento da cunha	1,8%	89,2%	3,3%	46,7%	B
Ajustar guia do meio	1,5%	90,8%	3,3%	50,0%	B
Ajustar calços	1,4%	92,2%	3,3%	53,3%	C
Ajustar guias de trás	1,4%	93,6%	3,3%	56,7%	C
Ajustar emenda	1,3%	94,8%	3,3%	60,0%	C
Remover cunha do tambor	0,9%	95,7%	3,3%	63,3%	C
Limpar posto de trabalho	0,7%	96,4%	3,3%	66,7%	C
Não aplicação da cunha no tambor	0,7%	97,1%	3,3%	70,0%	C
Ajustar dispositivo de fixação de talões	0,6%	97,8%	3,3%	73,3%	C
Limpar fieira	0,4%	98,2%	3,3%	76,7%	C
Manusear carro	0,4%	98,6%	3,3%	80,0%	C
Ajustar pressão do tambor	0,4%	99,0%	3,3%	83,3%	C
Ajustar lâminas de corte	0,4%	99,4%	3,3%	86,7%	C
Ajustar velocidade da extrusora	0,2%	99,6%	3,3%	90,0%	C
Material danificado	0,2%	99,8%	3,3%	93,3%	C
Ajustar impressora	0,1%	99,9%	3,3%	96,7%	C
Ajustar velocidade do transportador no tabuleiro	0,1%	100,0%	3,3%	100,0%	C

Apêndice 4 – Jantes produzidas em cada Apex

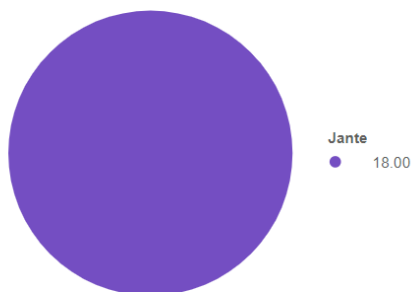


Figura 57 - Jantes produzidas na Apex 1.

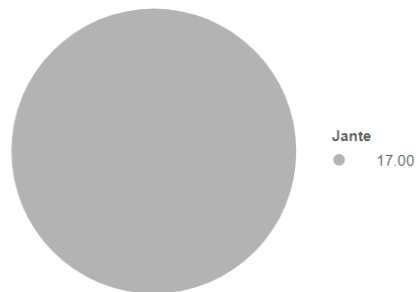


Figura 58 - Jantes produzidas na Apex 2.

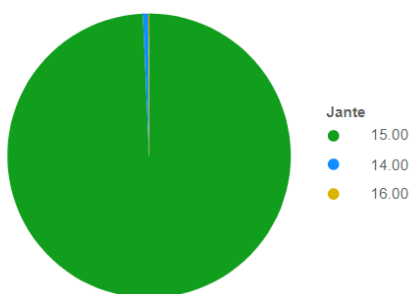


Figura 59 - Jantes produzidas na Apex 3.

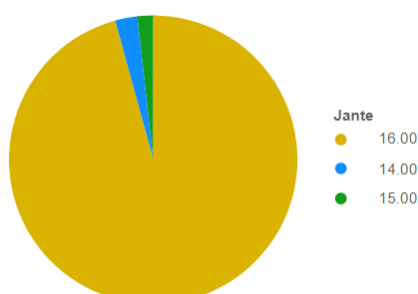


Figura 60 - Jantes produzidas na Apex 4.

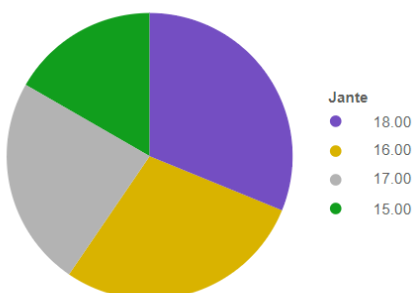


Figura 61 - Jantes produzidas na Apex 5.

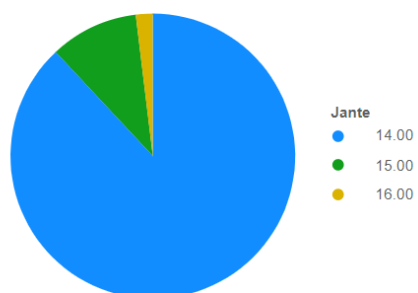


Figura 62 - Jantes produzidas na Apex 6.

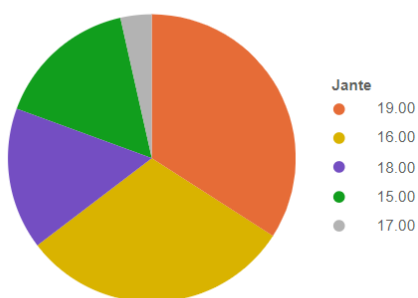


Figura 63 - Jantes produzidas na Apex 7.

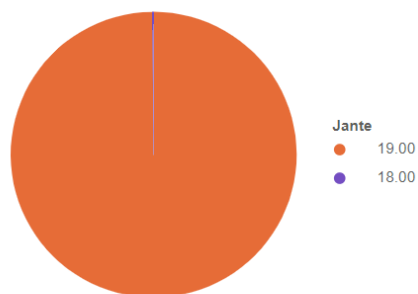


Figura 64 - Jantes produzidas na Apex 8.

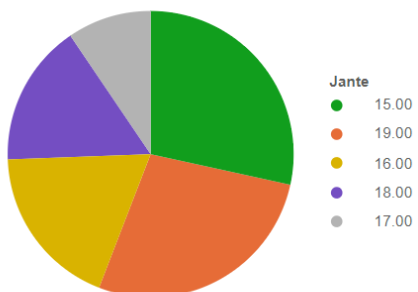


Figura 65 - Jantes produzidas na Apex 9.

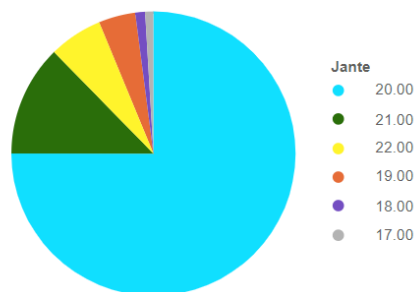


Figura 66 - Jantes produzidas na Apex 10.

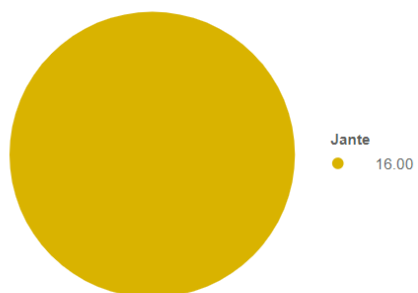


Figura 67 - Jantes produzidas na Apex 11.

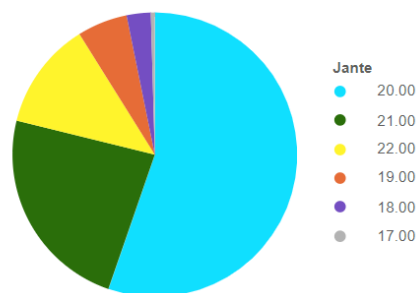


Figura 68 - Jantes produzidas na Apex 12.

Apêndice 5 – Folha de registo de tempos

Nº	TIPO	TAREFA	PONTOS DE MEDIÇÃO	N	DESVIO	MÉDIA	Z	ALFA/2	ALFA	NC	ACERTO	1	2	3	4	5
1	O	Coloca talões nas garras (vara -> garras)	-								Rendimento					
			I: Talões na mesa													
			F: Coloca talões nas garras													
			DURAÇÃO													
2	O	Coloca separadores nas garras (vara -> garras)	-								Rendimento					
			I: Coloca talões nas garras													
			F: Coloca separadores nas garras													
			DURAÇÃO													
3	M	Máquina leva talões+separadores até às garras	I: Deslocação para a frente													
			F: Máquina para na posição correta													
			DURAÇÃO													
4	O	Operador retira talão pronto do ciclo anterior e coloca na mesa	-								Rendimento					
			I: Tambor regressa à posição inicial													
			F: Talões na mesa													
			DURAÇÃO													
5	M	Tabuleiro desce	I: Tabuleiro parado em cima													
			F: Tabuleiro parado no tambor													
			DURAÇÃO													
6	M	Garras fixam talões+separadores	I: Garras saem da posição inicial													
			F: Hidráulico vai para dentro e deixa de estar em contacto com o talão													
			DURAÇÃO													
7	M	Cunha enrola no tambor	I: Tabuleiro parado no tambor													
			F: Tabuleiro parado no tambor													
			DURAÇÃO													
8	M	Hidráulico volta a posição inicial	I: Hidráulico vai para dentro e deixa de estar em contacto com o talão													
			F: Máquina volta a posição inicial (para trás)													
			DURAÇÃO													
9	M	Tabuleiro sobe	I: Tabuleiro parado no tambor													
			F: Tabuleiro volta à posição inicial (em cima, antes de voltar atrás)													
			DURAÇÃO													
10	M	Garras levam talões+separadores para tambor	I: Garras iniciam movimento até ao tambor													
			F: Garras param no tambor													
			DURAÇÃO													
11	M	Garras voltam à posição inicial (para o lado)	I: Garras param no tambor													
			F: Garras param na posição inicial													
			DURAÇÃO													
12	M	Enforma	I: Garras param no tambor													
			F: Tambor regressa à posição inicial													
			DURAÇÃO													

Figura 69 - Tabela de registo de tempos dos elementos ciclo.

APEX	
MATERIAL	
JANTE	
VOLTAS	
ARAMES	
FIEIRA	
COMPOSTO	
OPERADOR	
RENDIMENTO	

Figura 70 – Tabela de identificação da amostra.

Apêndice 6 – Estrutura do processo das Apex

OPERADOR		HIDRÁULICO	GARRAS	TABULEIRO E TAMBOR
Operador coloca talões na mesa		Hidráulico leva talões até às garras		Tabuleiro desce
Operador movimenta-se da mesa para vara	Operador coloca talões na máquina		Garras fixam talões	Cunha enrola no tambor
Operador pega em dois talões da vara				
		Hidráulico volta a posição inicial		Tabuleiro sobe
Operador coloca dois talões na máquina			Garras levam talões para tambor	
Operador pega em dois separadores da vara	Operador coloca separadores na máquina			Garras voltam à posição inicial
Operador coloca dois separadores na máquina				
Operador desloca-se para o tambor	Operador remove talões do ciclo anterior			
Operador remove talões do tambor				
Operador sai do raio de ação				
Operador coloca talões na mesa				
		Hidráulico leva talões até às garras		Tabuleiro desce
Operador movimenta-se da mesa para			Garras fixam talões	

Figura 71 - Estrutura do processo das Apex 1 e 2.

OPERADOR		HIDRÁULICO	GARRAS	TABULEIRO E TAMBOR
Operador remove talões	Operador remove talões do ciclo anterior			
Operador sai do raio de ação		Hidráulico leva talões até às garras		
Operador coloca talões na mesa				
			Garras fixam talões	Tabuleiro desce
Operador movimenta-se da mesa para vara	Operador coloca talões na máquina	Hidráulico volta a posição inicial		Cunha enrola no tambor
Operador pega em dois talões da vara				Tabuleiro sobe
Operador coloca dois talões na máquina				
			Garras levam talões para tambor	
Operador pega em dois separadores da vara	Operador coloca separadores na máquina		Garras voltam à posição inicial	Enformação
Operador coloca dois separadores na máquina				
Operador desloca-se para o tambor	Operador remove talões do ciclo anterior	Hidráulico leva talões até às garras		
Operador remove talões do tambor				
Operador sai do raio de ação				
Operador coloca talões na mesa				
			Garras fixam talões	Tabuleiro desce
Operador movimenta-se da mesa para vara	Operador coloca talões na máquina			

Figura 72 - Estrutura do processo das Apex 3, 4 e 5.

OPERADOR	HIDRÁULICO	GARRAS	TABULEIRO E TAMBOR
Operador coloca talões na mesa	Hidráulico leva talões até às garras		Tabuleiro desce
Operador movimenta-se da mesa para vara		Garras fixam talões	Cunha enrola no tambor
Operador pega em dois talões da vara	Hidráulico volta a posição inicial		Tabuleiro sobe
Operador coloca dois talões na máquina		Garras levam talões para tambor	
Operador pega em dois separadores da vara		Garras voltam à posição inicial	Enformação
Operador coloca dois separadores na máquina			
Operador desloca-se para o tambor			
Operador remove talões do tambor			
Operador sai do raio de ação			
Operador coloca talões na mesa			
	Hidráulico leva talões até às garras		Tabuleiro desce
		Garras fixam talões	

Figura 73 - Estrutura do processo das Apex 6 e 11.

OPERADOR		HIDRÁULICO	GARRAS	TABULEIRO E TAMBOR
			Garras fixam talões	
Operador pega em dois talões da vara	Operador coloca talões na máquina	Hidráulico volta a posição inicial		Tabuleiro desce
Operador coloca dois talões na máquina				Cunha enrola no tambor
Operador pega em dois separadores da vara				Tabuleiro sobe
Operador coloca dois separadores na máquina			Garras levam talões para tambor	
	Operador coloca separadores na máquina		Garras voltam à posição inicial	Enformação
Operador desloca-se para o tambor	Operador remove talões do ciclo anterior			
Operador remove talões do tambor		Hidráulico leva talões até às garras		
Operador sai do raio de ação				
Operador coloca talões na mesa				
Operador movimenta-se da mesa para vara	Operador coloca talões na máquina		Garras fixam talões	
Operador pega em dois talões da vara				
		Hidráulico volta a posição inicial		Tabuleiro desce
Operador coloca dois talões na máquina				

Figura 74 - Estrutura do processo da Apex 7.

	OPERADOR	HIDRÁULICO	GARRAS	TABULEIRO E TAMBOR
Operador coloca talões na mesa				
		Hidráulico leva talões até às garras		Tabuleiro desce
Operador movimenta-se da mesa para vara			Garras fixam talões	
Operador pega em dois talões da vara	Operador coloca talões na máquina	Hidráulico volta a posição inicial		Cunha enrola no tambor
Operador coloca dois talões na máquina				Tabuleiro sobe
Operador pega em dois separadores da vara	Operador coloca separadores na máquina		Garras levam talões para tambor	
Operador coloca dois separadores na máquina			Garras voltam à posição inicial	Enformação
Operador desloca-se para o tambor	Operador remove talões do ciclo anterior			
Operador remove talões do tambor				
Operador sai do raio de ação				
Operador coloca talões na mesa				
		Hidráulico leva talões até às garras		Tabuleiro desce
			Garras fixam talões	

Figura 75 - Estrutura do processo das Apex 8 e 9.

OPERADOR		HIDRÁULICO	GARRAS	TABULEIRO E TAMBOR
Operador coloca talões na mesa				Tabuleiro desce
Operador movimenta-se da mesa para vara	Operador coloca talões na máquina	Hidráulico leva talões até às garras		Cunha enrola no tambor
Operador pega em dois talões da vara			Garras fixam talões	Tabuleiro sobe
Operador coloca dois talões na máquina				
		Hidráulico volta a posição inicial	Garras levam talões para tambor	
Operador pega em dois separadores da vara	Operador coloca separadores na máquina		Garras voltam à posição inicial	Enformação
Operador coloca dois separadores na máquina				
Operador desloca-se para o tambor	Operador remove talões do ciclo anterior			
Operador remove talões do tambor				
Operador sai do raio de ação				
Operador coloca talões na mesa				
				Tabuleiro desce

Figura 76 - Estrutura do processo da Apex 10 e 12.

Apêndice 7 – Cálculo de correções de fadiga

Tabela 51 - Correção de fadiga Apex.

A – Esforço físico resultante da natureza do trabalho	A1 – Força Desenvolvida Média	6
	A2 – Posição de Trabalho	8
	A3 – Vibrações	0
	A4 – Ciclo Curto	0
	A5 – Vestuário de Trabalho Incômodo	2
B – Tensão Mental	B1 – Concentração/Ansiedade	4
	B2 – Monotonia	5
	B3 – Esforços Visuais	2
	B4 – Ruído	1
C – Esforço Físico ou Tensão Mental resultante da Natureza das Condições de Trabalho	C1 – Temperatura e Grau Higrotérmico	3
	C2 – Ventilação	1
	C3 – Fumos e Vapores	0
	C4 - Poeira	0
	C5 – Sujidade	1
	C6 - Humidade	0
Pontos	33	
Correção de Fadiga	16%	

Tabela 52 - Correção de fadiga - Mudança de feira.

A – Esforço físico resultante da natureza do trabalho	A1 – Força Desenvolvida Média	0
	A2 – Posição de Trabalho	6
	A3 – Vibrações	0
	A4 – Ciclo Curto	0
	A5 – Vestuário de Trabalho Incômodo	2
B – Tensão Mental	B1 – Concentração/Ansiedade	4
	B2 – Monotonia	3
	B3 – Esforços Visuais	2
	B4 – Ruído	1
C – Esforço Físico ou Tensão Mental resultante da Natureza das Condições de Trabalho	C1 – Temperatura e Grau Higrotérmico	3
	C2 – Ventilação	1
	C3 – Fumos e Vapores	0
	C4 - Poeira	0
	C5 – Sujidade	1
	C6 - Humidade	0
Pontos	23	
Correção de Fadiga	13%	

Tabela 53 - Correção de fadiga - Mudança de jante.

A – Esforço físico resultante da natureza do trabalho	A1 – Força Desenvolvida Média	15
	A2 – Posição de Trabalho	8
	A3 – Vibrações	0
	A4 – Ciclo Curto	0
	A5 – Vestuário de Trabalho Incómodo	2
B – Tensão Mental	B1 – Concentração/Ansiedade	4
	B2 – Monotonia	3
	B3 – Esforços Visuais	2
	B4 – Ruído	1
C – Esforço Físico ou Tensão Mental resultante da Natureza das Condições de Trabalho	C1 – Temperatura e Grau Higrotérmico	3
	C2 – Ventilação	1
	C3 – Fumos e Vapores	0
	C4 - Poeira	0
	C5 – Sujidade	1
	C6 - Humidade	0
Pontos	40	
Correção de Fadiga	19%	

Tabela 54 - Correção de fadiga - Mudança de composto.

A – Esforço físico resultante da natureza do trabalho	A1 – Força Desenvolvida Média	0
	A2 – Posição de Trabalho	6
	A3 – Vibrações	0
	A4 – Ciclo Curto	0
	A5 – Vestuário de Trabalho Incómodo	2
B – Tensão Mental	B1 – Concentração/Ansiedade	4
	B2 – Monotonia	3
	B3 – Esforços Visuais	2
	B4 – Ruído	1
C – Esforço Físico ou Tensão Mental resultante da Natureza das Condições de Trabalho	C1 – Temperatura e Grau Higrotérmico	3
	C2 – Ventilação	1
	C3 – Fumos e Vapores	0
	C4 - Poeira	0
	C5 – Sujidade	1
	C6 - Humidade	0
Pontos	23	
Correção de Fadiga	13%	

Tabela 55 - Correção de fadiga – Mudança de jante XYZ.

A – Esforço físico resultante da natureza do trabalho	A1 – Força Desenvolvida Média	15
	A2 – Posição de Trabalho	4
	A3 – Vibrações	0
	A4 – Ciclo Curto	0
	A5 – Vestuário de Trabalho Incómodo	2
B – Tensão Mental	B1 – Concentração/Ansiedade	4
	B2 – Monotonia	3
	B3 – Esforços Visuais	2
	B4 – Ruído	1
C – Esforço Físico ou Tensão Mental resultante da Natureza das Condições de Trabalho	C1 – Temperatura e Grau Higrotérmico	0
	C2 – Ventilação	1
	C3 – Fumos e Vapores	0
	C4 - Poeira	0
	C5 – Sujidade	0
	C6 - Humidade	0
Pontos	32	
Correção de Fadiga	16%	

Apêndice 8 – Gráficos de sequência de *setups*

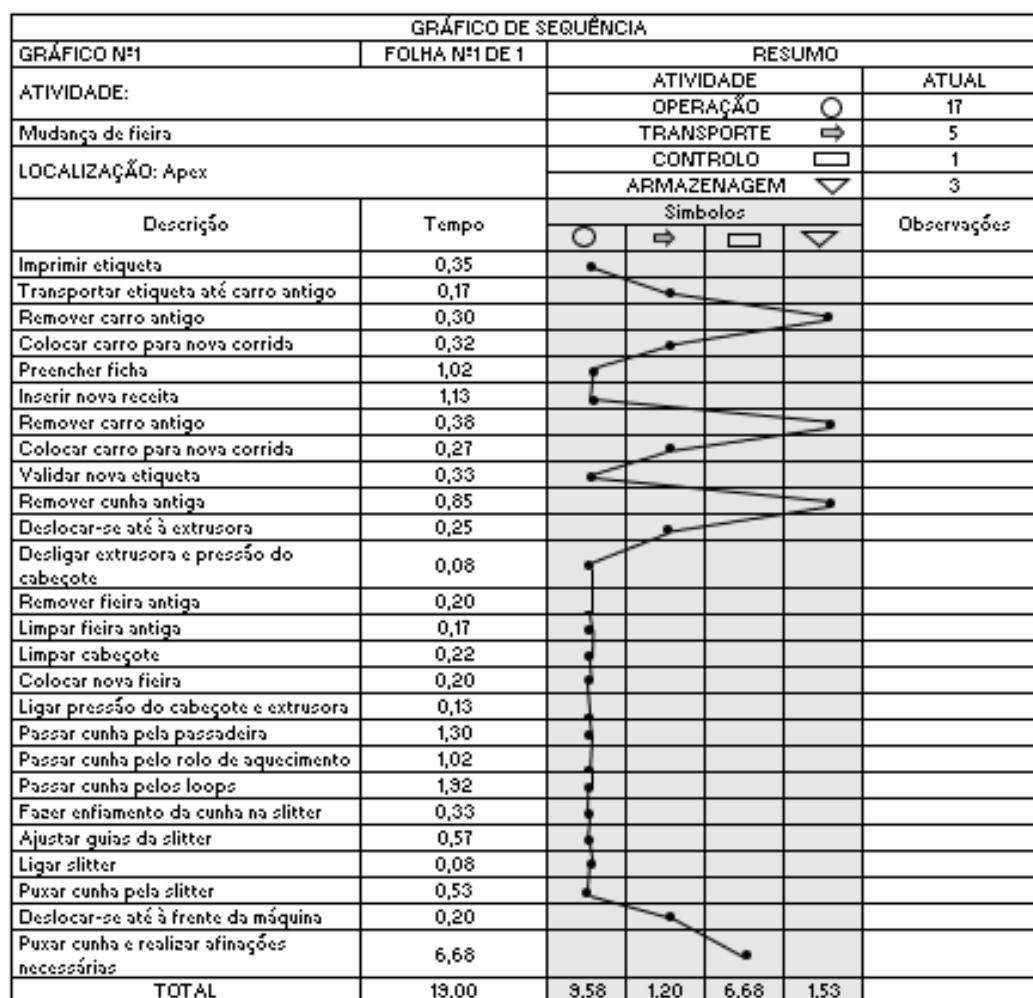


Figura 77 - Gráfico de sequência de mudança de fieira.

GRÁFICO DE SEQUÊNCIA						
GRÁFICO Nº1	FOLHA Nº1 DE 1	RESUMO				
ATIVIDADE:		ATIVIDADE			ATUAL	
Mudança de jante		OPERAÇÃO ○			19	
LOCALIZAÇÃO: Apex		TRANSPORTE ⇔			11	
		CONTROLO □			1	
		ARMAZENAGEM ▽			6	
Descrição	Tempo	Símbolos				Observações
		○	⇔	□	▽	
Imprimir etiqueta	0,35	●				
Transportar etiqueta até carro antigo	0,17		●			
Remover carro antigo	0,30				●	
Colocar carro para nova corrida	0,32		●			
Preencher ficha	1,02	●				
Inserir nova receita	1,13	●				
Remover carro antigo	0,38				●	
Colocar carro para nova corrida	0,27		●			
Validar nova etiqueta	0,33	●				
Remover mesa e tapete	0,58				●	
Deslocar-se até área de armazenamento de tambores e trazer carro	1,77		●			
Desapertar tambor antigo	3,40	●				
Trazer carro com novo tambor para junto da máquina	0,58		●			
Colocar tambor no carro	0,67		●			
Retirar carro e colocar tambor novo no carro	1,72		●			
Empurrar carro de mudanças até ficar centrado na máquina	0,92		●			
Colocar e apertar novo tambor	1,65	●				
Retirar e arrumar carro de mudanças	1,73				●	
Terminar de apertar tambor	2,60	●				
Colocar mesa e tapete na posição inicial	0,82				●	
Posicionar os suportes de talões e separadores	3,13	●				
Remover garras antigas	1,70	●				
Arrumar garras antigas	0,38				●	
Transportar garras novas para junto da máquina	0,40		●			
Posicionar garras novas	2,15	●				
Deslocar-se até a máquina	0,17		●			
Retirar tabuleiros de corte	0,60	●				
Posicionar novos tabuleiros	0,75	●				
Passar cunha pela passadeira	1,30	●				
Passar cunha pelo furo de alinhamento	1,02	●				
Passar cunha pelos loops	1,92	●				
Fazer enfiamento da cunha na slitter	0,33	●				
Ajustar guias da slitter	0,57	●				
Ligar slitter	0,08	●				
Puxar cunha pela slitter	0,53	●				
Deslocar-se até à frente da máquina	0,20		●			
Puxar cunha e realizar afinações necessárias	6,68		●			
TOTAL	42,62	24,57	7,17	6,68	4,20	

Figura 78 - Gráfico de sequência de mudança de jante.

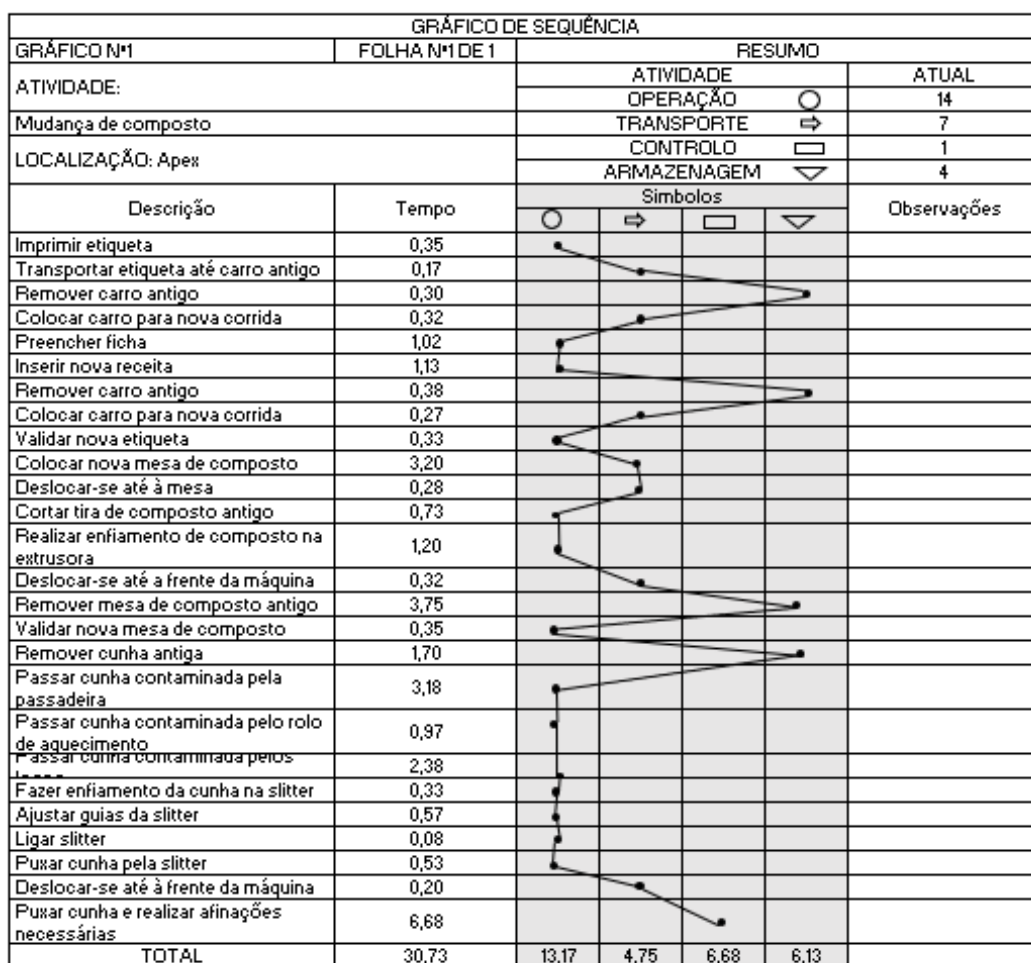


Figura 79 - Gráfico de sequência de mudança de composto.

Apêndice 9 – Gráficos de atividades múltiplas de *setups*

00:00,0		Imprimir etiqueta
00:01,0	Deslocar-se até área de armazenamento de tambores e trazer carro	Transportar etiqueta até carro antigo
00:02,0		Remover carro antigo
00:03,0		Colocar carro para nova corrida
00:04,0	Remover garras antigas	Preencher ficha
00:05,0		Inserir nova receita
00:06,0	Arrumar garras antigas	Remover carro antigo
00:07,0	Transportar garras novas para junto da máquina	Colocar carro para nova corrida
00:08,0		Validar nova etiqueta
00:09,0	Posicionar garras novas	Remover mesa e tapete
00:10,0		
00:11,0	Posicionar os suportes de talões e separadores	Desapertar tambor antigo
00:12,0		
00:13,0		
00:14,0	Trazer carro para junto da máquina	
00:15,0		Colocar tambor no carro
00:16,0		
00:17,0	Retirar carro e colocar tambor novo no carro	
00:18,0		
00:19,0		
00:20,0	Empurrar carro de mudanças até ficar centrado na máquina	
00:21,0		
00:22,0		Colocar e apertar novo tambor
00:23,0		
00:24,0		
00:25,0	Retirar e arrumar carro de mudanças	Terminar de apertar tambor
00:26,0		
00:27,0		
00:28,0		Colocar mesa e tapete na posição
00:29,0		Deslocar-se até a máquina
00:30,0		Retirar tabuleiros de corte
00:31,0		Posicionar novos tabuleiros
00:32,0		
00:33,0		Acompanhar cunha ao longo da máquina
00:34,0		
00:35,0		
00:36,0		Acompanhar cunha ao longo da slitter
00:37,0		
00:38,0		
00:39,0		Iniciar produção
00:40,0		
OPERADOR AJUDANTE		OPERADOR APEX

Figura 80 - Gráfico de atividades múltiplas de mudança de jante.

00:00,0		Imprimir etiqueta
00:01,0	Colocar nova mesa de composto	Transportar etiqueta até carro antigo
00:02,0		Remover carro antigo
00:03,0		Colocar carro para nova corrida
00:04,0		Preencher ficha
00:05,0		Inserir nova receita
00:06,0		Deslocar-se até a mesa
00:07,0		Cortar tira de composto antigo
00:08,0		Realizar enfiamento de composto na extrusora
00:09,0		Deslocar-se até a frente da máquina
00:10,0		Validar nova mesa de composto
00:11,0	Remover mesa de composto antigo	
00:12,0		
00:13,0		Acompanhar cunha ao longo da máquina
00:14,0		
00:15,0		
00:16,0		
00:17,0		Acompanhar cunha ao longo da slitter
00:18,0		
00:19,0		
00:20,0		Iniciar produção
00:21,0	OPERADOR AJUDANTE	OPERADOR APEX

Figura 81 - Gráfico de atividades múltiplas de mudança de composto.

ANEXOS

A. ESFORÇO FÍSICO RESULTANTE DA NATUREZA DO TRABALHO

A1 - Força Desenvolvida Média

- Toma-se em consideração a integridade do elemento de trabalho ou do intervalo de tempo para o qual é necessário fixar um complemento de repouso e determina-se a força desenvolvida média.
- O número de pontos atribuídos à força desenvolvida média varia conforme o tipo de esforço produzido pela operação. Esse esforço pode ser de uma das seguintes categorias:

Esforço Médio: Para actividades do tipo (1) transportar ou suportar fardos, (2) padejar, martelar e realizar outros movimentos rítmicos. Esta categoria engloba a maior parte das operações.

Esforço Fraco: Para actividades que implicam essencialmente esforços tais como: (1) transferir o peso do corpo para exercer uma força, tal como acontece quando se acciona um pedal, exerce todo o peso do corpo sobre um objecto contra um tampão, (2) suportar ou transportar cargas bem equilibradas fixadas ao corpo por meio de uma correia ou suspensas das espáduas, permanecendo os braços e mãos livres.

Esforço Elevado: Para actividades que implicam essencialmente esforços que consistem em: (1) levantar fardos, (2) exercer uma força utilizando continuamente músculos dos dedos ou braços, (3) levantar ou suportar cargas em posições incómodas ou manipular pesos importantes em posições desconfortáveis, (4) efectuar operações a temperaturas elevadas: trabalhar metais a quente, etc.

ESFORÇO MÉDIO - PONTOS ATRIBUÍDOS À FORÇA DESENVOLVIDA MÉDIA										
Kg	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
0	0	0	0	0	3	6	8	10	12	14
5	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10	25	26	27	28	29	30	31	32	32	33
15	34	35	36	37	38	39	39	40	41	41
20	42	43	44	45	46	46	47	48	49	50
25	50	51	51	52	53	54	54	55	56	56
30	57	58	59	59	60	61	61	62	63	64
35	64	65	65	66	67	68	69	70	70	71
40	72	72	72	73	73	74	74	75	76	76
45	77	78	79	79	80	80	81	82	82	83
50	84	85	86	86	87	88	88	88	89	90
55	91	92	93	94	95	95	96	96	97	97
60	97	98	98	98	99	99	99	100	100	100
65	101	101	102	102	103	104	105	106	107	108
70	109	109	109	110	110	111	112	112	112	113

ESFORÇO FRACO - PONTOS ATRIBUÍDOS À FORÇA DESENVOLVIDA MÉDIA										
Kg	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
0	0	0	0	0	3	6	7	8	9	10
5	11	12	13	14	14	15	16	16	17	18
10	19	19	20	21	22	22	23	23	24	25
15	26	26	27	27	28	28	29	30	31	31
20	32	32	33	34	34	35	35	36	36	37
25	38	38	39	39	40	41	41	42	42	43
30	43	43	44	44	45	46	46	47	47	48
35	48	49	50	50	50	51	51	52	52	53
40	54	54	54	55	55	56	56	57	58	58
45	58	59	59	60	60	60	61	62	62	63
50	63	63	64	65	65	66	66	66	67	67
55	68	68	68	69	69	70	71	71	71	72
60	72	73	73	73	74	74	75	75	76	76
65	77	77	77	78	78	78	79	80	80	81
70	81	82	82	82	83	83	84	84	84	85

ESFORÇO ELEVADO - PONTOS ATRIBUÍDOS À FORÇA DESENVOLVIDA MÉDIA										
Kg	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
0	0	0	0	3	8	11	13	15	17	18
5	20	21	22	24	25	29	28	29	30	32
10	33	34	35	37	38	39	40	41	43	44
15	45	46	47	48	49	50	51	52	54	55
20	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
25	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
30	76	76	77	78	79	80	81	82	83	84
35	85	86	87	88	88	89	90	91	92	93
40	94	94	95	96	97	98	99	100	101	101
45	102	103	104	105	105	106	107	108	109	110
50	110	111	112	113	114	115	115	116	117	118
55	119	119	120	121	122	123	124	124	125	126
60	127	128	128	129	130	130	131	132	133	134
65	135	136	136	137	137	138	139	140	141	142
70	142	143	143	144	145	146	147	148	148	149

A2 - Posição de Trabalho

• Critérios de atribuição dos pontos: o trabalhador está sentado, de pé, debruçado ou dobrado sobre si próprio? Ele pode manipular a carga facilmente ou de maneira incómoda?	
Comodamente sentado.	0
Sentado de forma incómoda ou meio sentado meio de pé.	2
De pé ou andando sem entraves.	4
Sobe ou desce uma escada sem transportar carga.	5
De pé ou andando com uma carga.	6
Sobe/desce escada, debruça-se/levanta-se/estica-se para alcançar/lançar objectos periodicamente.	8
Levanta de forma incómoda, padeja cascalho num cesto.	10
Debruça-se, levanta, estica-se ou lança constantemente.	12
Extraí carvão com uma picareta, deitado num veio estreito.	16

A3 - Vibrações

• Critérios de atribuição dos pontos: impacto das vibrações ou de uma série de choques ou sacudidas no corpo, nos membros ou nas mãos, esforço mental suplementar provocado pelas vibrações.	
Padejar matérias leves.	1
Máquina de costura eléctrica. /	2
Prensa hidráulica ou tesoura, se o operador segura a matéria a cortar ou embutir.	2
Cortar em bocados. / Padejar cascalho. / Berbequim eléctrico portátil accionado por uma mão.	4
Cavar.	6
Berbequim eléctrico (accionado por ambas as mãos).	8
Desfazer um piso de betão com martelo pneumático.	15

A4 - Ciclo Curto			
Para trabalhos muito repetitivos, se uma série de elementos muito curtos forma um ciclo que se repete continuamente durante um período relativamente longo. Os pontos são atribuídos de acordo com a seguinte tabela, para compensar a falta de possibilidade de variar o leque de músculos utilizados.			
Tempo médio do ciclo (em centiminutos)		Tempo médio do ciclo (em centiminutos)	
16 - 17	1	8 - 9	6
15	2	7	7
13 - 14	3	6	8
12	4	5	9
10 - 11	5	Menos que 5	10

A5 - Vestuário de Trabalho Incómodo	
CrITÉRIOS de atribuição dos pontos: influência do peso do vestuário de protecção sobre o esforço e o movimento, redução eventual da ventilação e da capacidade respiratória do trabalhador.	
Luvas de Borracha finas - luvas cirúrgicas.	1
Luvas de Borracha para trabalhos caseiros. / Botas de Borracha.	2
Óculos de Rectificador.	3
Luvas industriais de borracha ou de couro.	5
Máscara facial (por exemplo, para pintura à pistola).	8
Vestuário de protecção em amianto ou capa de tela encerada.	15
Combinação de protecção que entrava os movimentos e o aparelho respiratório	20

B. TENSÃO MENTAL

B1 - Concentração/Ansiedade	
CrITÉRIOS de atribuição dos pontos: o que sucederá se o operador relaxar a atenção, responsabilidade confiada ao executante, necessidade de respeitar as exigências de tempo para cada movimento, precisão ou exactidão requerida.	
Trabalhos simples e usuais de montagem / Padejar cascalho	0
Trabalhos usuais de embalagem / Lavador de veículos	1
Conduzir um pequeno carro ao longo de corredores desimpedidos.	
Alimentar uma prensa conservando a mão afastada da prensa.	2
Re-nivelar uma bateria de acumuladores.	
Pintar paredes.	3
Reunir objectos para formar lotes simples e de pequena importância, sem reflectir muito.	4
Coser com uma máquina de orientação automática.	
Recolher materiais pedidos ao armazém com um pequeno carro. / Controlo simples.	5
Carregar e descarregar uma prensa à mão. / Pintura de materiais à pistola.	6
Adicionar algarismos. / Controlar pequenas peças soltas.	7
Gravar e polir.	8
Guiar à mão uma peça numa máquina de costura.	10
Embalar e escolher um sortido de chocolates segundo uma disposição que o executante deve memorizar e os chocolates em função dessa orientação. Trabalho de montagem demasiado complexo para permitir ao executante a aquisição de automatismos.	
Soldar peças sustidas por uma montagem.	
Conduzir um autocarro num nevoeiro espesso ou quando a circulação é intensa.	15
Marcação minuciosa ou muito precisa.	

B2 - Monotonia	
• Critérios de atribuição dos pontos: grau de estímulo mental, existência eventual de laços de camaradagem, de espírito de competição, de um fundo musical, etc.	
Dois trabalhadores trabalhando por empreitada.	0
Limpar sapatos durante meia hora.	3
Operador executando trabalho repetitivo. / Operador executando sozinho um trabalho não repetitivo.	5
Controlo de rotina.	6
Adicionar colunas de algarismos parecidos.	8
Operador executando sozinho um trabalho altamente repetitivo.	11

B3 - Esforços Visuais	
• Critérios de atribuição dos pontos: condições de iluminação, encandeamento, luzes intermitentes, nível de iluminação, cor e proximidade da peça a maquinar, duração do esforço exercido.	
Trabalho industrial normal.	0
Controlo/detecção de defeitos facilmente discerníveis. Trabalho industrial em más condições de iluminação. Classificar por cores objectos de cores diferentes.	2
Controlo a intervalos diversos: detecção de pequenos defeitos. / Escolha de maçãs.	4
Ler jornal num veículo em movimento.	8
Soldar a arco com utilização de máscara. Controlo visual contínuo (tecido saindo de um tear).	10
Gravar utilizando uma lupa.	14

B4 - Ruído	
• Critérios de atribuição dos pontos: o ruído afecta a concentração? Se se trata de um ruído de fundo, produz-se regularmente ou de forma imprevisível? É irritante, ou, pelo contrário, calmante?	
Trabalho num gabinete calmo, sem que disperse a atenção. Fábrica montagem de elementos leves.	0
Trabalho num gabinete na cidade, tendo o ruído contínuo da circulação exterior como ruído de fundo. Oficina de mecânica ligeira.	1
Gabinete ou oficina de montagem na qual o ruído constitui uma fonte de distração.	2
Oficina de carpintaria industrial.	4
Accionar um martelo pilão com uma forja.	5
Rebitar num estaleiro de construção naval.	9
Desfazer o solo com um martelo pneumático.	10

C. ESFORÇO FÍSICO OU TENSÃO MENTAL RESULTANTE DA NATUREZA DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO

C1 - temperatura e Grau Higrométrico				
• Critérios de atribuição dos pontos: condições atmosféricas gerais de temperatura e humidade, que se classificam numa das categorias do seguinte quadro. Escolher de acordo com a temperatura média.				
Grau Higrométrico (%)	Temperatura (até 14°C)	14,1 - 25 °C	25,1 - 32 °C	Acima de 32,1 °C
Até 75 %	0	1 - 5	6 - 9	10 - 16
de 76% até 85%	1 - 3	4 - 7	8 - 12	13 - 23
Acima de 86%	4 - 6	7 - 11	12 - 17	18 - 36

C2 – Ventilação

- Critérios de atribuição dos pontos: qualidade e frescura do ar, circulação do ar por climatização ou por ventilação natural.

Escritórios.	0
Fábricas com condições de trabalho análogas às dos escritórios.	
Oficinas em que a ventilação é conveniente, mas com algumas correntes de ar.	1
Oficinas expostas a fortes correntes de ar.	3
Trabalhar em esgotos.	14

C3 - Fumos e Vapores

- Critérios de atribuição dos pontos: natureza e concentração dos fumos e vapores: são tóxicos e nocivos para a saúde? são irritantes para os olhos, o nariz, a garganta, a pele? Têm um cheiro desagradável?

Trabalho no torno com líquidos refrigerantes.	0
Pintura emulsionada / Cortar com maçarico / Colagem com resinas.	1
Gás de escape de um motor de veículo a funcionar numa pequena oficina de reparações.	5
Aplicação de tinta celulósica.	6
Fundidor enchendo um molde de metal em fusão.	10

C4 - Poeira

- Critérios de atribuição dos pontos: o volume e natureza da poeira.

Escritório / Operações de montagem de elementos leves / Oficina de prensas.	0
Operações de rebolo ou de polir com uma boa aspiração de poeiras.	1
Serrar madeira.	2
Despejar cinzas.	4
Alisar soldaduras com abrasivo.	6
Despejar em vagões ou cestos o carvão contido em tegões.	10
Descarregar cimento.	11
Demolir um imóvel.	12

C5 - Sujidade

- Critérios de atribuição dos pontos: natureza do trabalho e desagregações provocadas pela sua natureza sujadora. Este complemento cobre o "tempo de lavagem" quando ele é pago (ou seja quando se lhe atribui aos executantes 3 ou 5 minutos para se lavar). Não atribuir simultaneamente tempo e pontos.

Trabalho de escritório. / Operações normais de montagem. / Trabalho de duplicador.	0
Varrer.	1
Desmontar um motor de combustão interna.	4
Trabalho realizado numa viatura velha.	5
Descarregar sacos de cimento.	7
Trabalho de mineiro. / Limpar uma chaminé com vassoura.	10

C6 - Humidade	
• Critérios de atribuição dos pontos: efeito cumulativo da exposição a este factor durante longo período.	
Operações industriais normais. / Trabalho no exterior, por exemplo de carteiro.	1
Trabalho permanente em meio húmido.	2
Limpar com água superfícies murais.	4
Manipulação contínua de objectos molhados.	5
Lavandaria / tinturaria, trabalho a vapor, na humidade, num solo coberto com água, com as mãos molhadas.	10

TABELA DE CONVERSÃO DOS PONTOS

Pontos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11
10	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12
20	13	13	13	13	14	14	14	14	15	15
30	15	16	16	16	17	17	17	18	18	18
40	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23
50	24	24	25	26	26	27	27	28	28	29
60	30	30	31	32	32	33	34	34	35	36
70	37	37	38	39	40	40	41	42	43	44
80	45	46	47	48	48	49	50	51	52	53
90	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
100	64	65	66	68	69	70	71	72	73	74
110	75	77	78	79	80	82	83	84	85	87
120	88	89	91	92	93	95	96	97	99	100
130	101	103	105	106	107	109	110	112	113	115
140	116	118	119	121	122	123	125	126	128	130

Figura 82 - Tabelas para cálculo da correção de fadiga.

(Barroso, 2000)

Anexo 2 – Área Apex

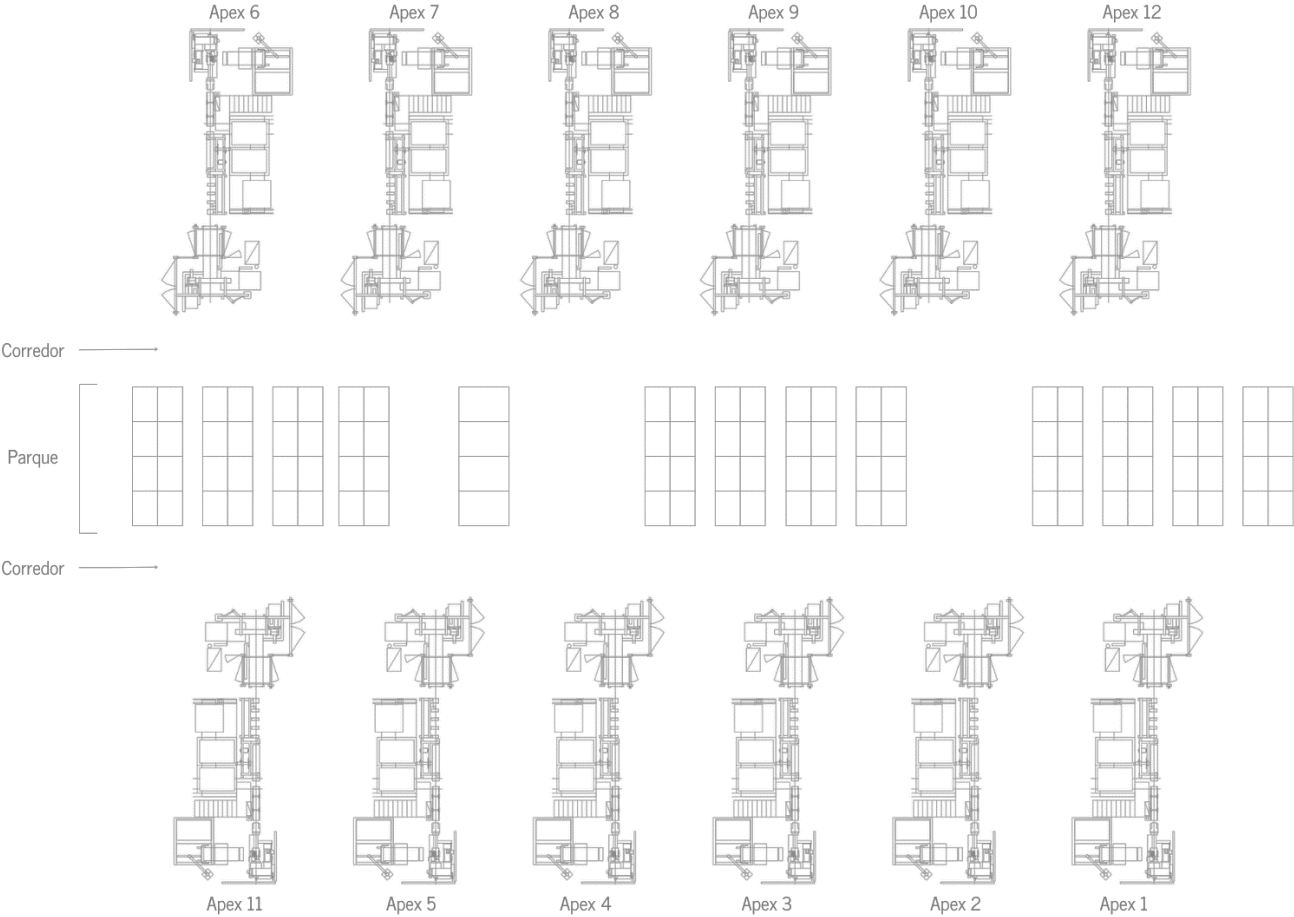


Figura 83 - Área Apex.