



Análise e melhoria de procedimentos de manutenção numa máquina de construção de pneus

VÍTOR HUGO CARVALHO DOS SANTOS

novembro de 2020

ANÁLISE E MELHORIA DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO NUMA MÁQUINA DE CONSTRUÇÃO DE PNEUS

Vítor Hugo Carvalho dos Santos
1150967

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
DEM



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

ANÁLISE E MELHORIA DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO NUMA MÁQUINA DE CONSTRUÇÃO DE PNEUS

Vítor Hugo Carvalho dos Santos
1150967

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação de Francisco J. G. Silva.

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
DEM



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutora Maria João Machado Pires da Rosa

Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Continental Mabor pela oportunidade que me proporcionou de conhecer as suas instalações e por fornecer os meios necessários à realização deste estágio. Permitiu a aquisição de valores e capacidades técnicas que serão uma mais valia para o futuro.

Ao Eng.º Francisco Silva pela diplomacia entre ISEP e Continental Mabor, pela orientação da tese e pela disponibilidade. Uma referência de profissionalismo que levarei sempre durante a minha carreira.

Ao Eng.º Luís Cruz pelos conselhos partilhados ao longo do estágio, exemplo de liderança e partilha de ensinamentos importantes e certamente úteis para o início da minha carreira.

Ao Eng.º João Novais pelo acompanhamento do estágio, tempo despendido e experiência partilhada.

À família que suportou e apoiou toda a minha fase de estudos até este epílogo, sendo que sem eles nada seria possível. Por fim, a todos os amigos que me apoiaram nesta fase.

PALAVRAS CHAVE

Palavras chave: SMED; Manutenção; TPM; Tolerância de máquina; Qualidade.

RESUMO

Esta dissertação foi desenvolvida na Continental Mabor, tendo como tema a melhoria de atividades de manutenção realizadas em máquinas de construção de pneus de grandes dimensões, instaladas recentemente. A metodologia escolhida baseou-se na filosofia *Total Productive Maintenance* (TPM), e também teve em conta aspetos de gestão da qualidade numa empresa.

Foram analisados os principais problemas das máquinas alvo do estudo, desde as avarias mais frequentes até às dificuldades técnicas de realização de ações de manutenção. Através da análise de documentação existente e do conhecimento interno, foram criadas, com alterações pertinentes ao método de trabalho, planos de manutenção preventiva e ações de inspeção do estado de alinhamento das máquinas.

No fim do estudo, foi possível reter conhecimento dos técnicos mais experientes em instruções de trabalho, que podem ser usadas para ações de formação futuras. Foi conseguido uma diminuição de 31% na duração da ação de inspeção do estado de alinhamento, o que permitiu um aumento de disponibilidade significativa. Além disso, foi proposto um método alternativo, não invasivo, de controlo do estado de alinhamento através da criação de cartas de controlo.

KEYWORDS

Keywords: SMED; Maintenance; TPM; Machine tolerance check; Quality.

ABSTRACT

This dissertation was developed at Continental Mabor, under the subject of the improvement of maintenance activities conducted on recently installed equipment for the construction of large tires. The chosen method was based on the total productive maintenance philosophy (TPM) and considered quality management aspects.

The equipment's main problems were studied, from the most frequent breakdowns to the technical difficulties of maintenance activities. By analyzing existing documents, internal knowledge, and changes to work methods, preventive maintenance plans, and machine check tolerance action were created.

At the end of the study, it was possible to retain the knowledge of the most experienced technicians, which can be used for future training actions and a 31% duration decrease in the machine tolerance check activities, which lead to a significant increase in equipment availability. Also, an alternative non-invasive method of controlling the equipment's alignment status was proposed by creating control charts.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

Termo	Designation	Designação
BM	<i>Belt machine</i>	Máquina de fabrico de cintas
BTR	<i>Belt transfer ring</i>	Bobina de transporte da cinta
CBM	<i>Conditioning Based Maintenance</i>	Manutenção baseada na condição
CM	<i>Carcass machine</i>	Máquina de fabricar carcaças
CMM	<i>Coordinate Measuring Machine</i>	Máquina de Medição de coordenadas
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>	Controlo Numérico por Computador
CST	<i>Commercial specialty tires</i>	Setor comercial de pneus especiais
CTU	<i>Carcass transfer unit</i>	Unidade de transporte da carcaça
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	Análise de modos de falha e de Consequências
I-MR	<i>Individual moving range chart</i>	Gráficos de observações individuais e amplitude móvel
LIC	<i>Lower control limit</i>	Limite inferior de controlo
LIE	<i>Lower specification limit</i>	Limite inferior de especificação
LSC	<i>Upper control limit</i>	Limite superior de controlo
LSE	<i>Upper specification limit</i>	Limite superior de especificação
LSM	<i>Large scale metrology</i>	Metrologia de larga escala
MM	<i>Machine maturity</i>	Maturidade de máquina
MTBF	<i>Mean time between failure</i>	Tempo médio entre falhas
MTC	<i>Machine tolerance check</i>	Verificação da tolerância da máquina
MTRR	<i>Mean time to repair</i>	Tempo médio até reparação
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>	Eficiência global da máquina
OTR	<i>Off the road tire</i>	Pneu todo o terreno
PDCA	<i>Plan-do-check-act</i>	Planear-Realizar-Verificar-Agir
PLC	<i>Programable logic controller</i>	Controlo lógico programável
RBM	<i>Risk Based Maintenance</i>	Manutenção baseada no risco
SM	<i>Shaping machine</i>	Máquina de modelação
SMED	<i>Single Minute Exchange Die</i>	Rápida troca de ferramenta
TBM	<i>Time Based Maintenance</i>	Manutenção baseada no tempo
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>	Manutenção produtiva total
TQM	<i>Total Quality Maintenance</i>	Manutenção total da qualidade

Lista de Unidades

Termo	Designação
h	Hora
m ³	Metro cúbico
m	Metro

Lista de Símbolos

Termo	Designação
€	Euros
%	Percentagem
μ	Média
σ	Desvio-padrão
m	Número de amostras
n	Dimensão da amostra
R	Amplitude móvel
\bar{R}	Amplitude média móvel
X	Observações/medições individuais
\bar{X}	Média das observações/medições individuais
d_2	Fator
d_3	Fator
D_4	Fator
LSC_X	Limite superior de controlo das medições individuais
LC_X	Limite central de controlo das medições individuais
LIC_X	Limite inferior de controlo das medições individuais
LSC_R	Limite superior de controlo da amplitude móvel
LC_R	Limite central de controlo da amplitude móvel
LIC_R	Limite inferior de controlo da amplitude móvel
C_p	Índice de capacidade do processo
C_{pk}	Índice de capacidade do processo e centragem
{ x, y, z }	Coordenadas cartesianas

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Termo	Designação
Camada interior	Componente de borracha constituinte da carcaça do pneu.
Carcaça	Conjunto de vários componentes do pneu que compõe a secção interna do pneu.
Carretilha	Peça mecânica cilíndrica responsável pela compactação de borracha.
“Cartilhagem”	Processo em que as carretilhas são pressionadas contra o pneu em construção para compactar a borracha e acondicionar os vários componentes, removendo o ar existente entre eles durante o processo.
Centragem	Estado de alinhamento entre componentes, coincidência entre duas linhas de centro.
<i>Checklist</i>	Lista de verificação.
Cintas	Conjunto de vários componentes do pneu, nomeadamente cintas metálicas impregnadas com borracha, que compõem a secção intermédia do pneu com a função de atribuir resistência.
Concentricidade	Estado de alinhamento entre componentes, coincidência de centros. Termo utilizado internamente para concentricidade e coaxialidade.
Modelação	Processo de adição do piso na construção do pneu.
Paralelismo	Estado de alinhamento entre componentes. Eixos ou arestas de componentes equidistantes ao longo do seu todo.
<i>Ramp-up</i>	Fase de aumento de capacidade de produção, onde são instalados, testados novos equipamentos e implementados novos processos de fabrico.
<i>Standard</i>	Modelo, padrão ou em conformidade.
Talões	Componente do pneu constituído por borracha e fio metálico que permite o encaixe na roda.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - MANUTENÇÃO NUMA PERSPETIVA DE LINHA TEMPORAL, ADAPTADO DE [3].	35
FIGURA 2 - MODO DE FALHA DE MÁQUINAS DURANTE A PRIMEIRA GERAÇÃO DE MANUTENÇÃO, ADAPTADO DE [4].	36
FIGURA 3 - MODO DE FALHA DE MÁQUINA REPRESENTADO PELA CURVA “BATH-TUB” [5].	36
FIGURA 4 - EXPECTATIVAS DAS TRÊS GERAÇÕES DE MANUTENÇÃO, ADAPTADO DE [4].	37
FIGURA 5 - ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO [6].	38
FIGURA 6 - OITO PILARES DA IMPLEMENTAÇÃO TPM [16].	41
FIGURA 7 - DEGRADAÇÃO DE PRECISÃO DE UMA MÁQUINA E NECESSIDADE DE CALIBRAÇÃO PARA MANTER A TOLERÂNCIA [29].	46
FIGURA 8 - METODOLOGIA DE CALIBRAÇÃO PREDITIVA [29].	46
FIGURA 9 - PROCESSO DE DECISÃO PARA ESCOLHA DO TIPO DE CARTA DE CONTROLO	51
FIGURA 10 - SEIS GRAUS DE LIBERDADE DE UM OBJETO.	54
FIGURA 11 - EXEMPLO DE ALINHAMENTO DE EIXOS: A) ESQUEMA REPRESENTATIVO DE DESALINHAMENTO, B) CASO REAL DE FALHA MECÂNICA POR FALTA DE ALINHAMENTO ENTRE EIXOS [47].	55
FIGURA 12 - DEFEITOS TÍPICOS RESULTANTES DE FALHA DE ALINHAMENTO ENTRE ROLOS: A) FALHA NAS BORDAS, B) RUGAS, C) ENROLAMENTO DEFEITUOSO [48].	56
FIGURA 13 - A) COMPARADOR ANALÓGICO; B) COMPARADOR DIGITAL	57
FIGURA 14 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM NÍVEL ÓTICO, ADAPTADO DE [47].	59
FIGURA 15 - CLASSIFICAÇÃO DE METROLOGIA DE LARGA ESCALA [53].	61
FIGURA 16 - A) FARO <i>LASER TRACKERS</i> ; B) CMM PORTÁTIL FARO	62
FIGURA 17 - PNEUS PRODUZIDOS NO SETOR CST [57].	68
FIGURA 18 - PNEUS <i>OFF-THE-ROAD</i> PARA MÁQUINAS AGRÍCOLAS: 1) PISO, 2) CARÇAÇA, 3) TALÕES, 4) CONJUNTO DE CINTAS.	69
FIGURA 19 - FASES DO PROCESSO PRODUTIVO DE PRODUÇÃO DE PNEUS.	70
FIGURA 20 - DIAGRAMA DE PARETO CORRESPONDENTE A AVARIAS OCORRIDAS EM 2019 NA MÁQUINA DE CONSTRUÇÃO DE PNEUS OTR.	74
FIGURA 21 - GRÁFICO DE CONTRIBUIÇÃO DE CADA SISTEMA DE CORTE NAS AVARIAS REGISTRADAS.	75
FIGURA 22 - REPRESENTAÇÃO DO POSICIONAMENTO CONCÊNTRICO, CENTRADO E PARALELO ENTRE O BTR E TAMBOR.	81
FIGURA 23 - DIAGRAMA DE CAUSA EFEITO SOBRE PROBLEMA DE MTC LONGO.	84
FIGURA 24 - INDICADOR DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO MTTR NAS MÁQUINAS OTR.	86
FIGURA 25 - INDICADOR DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO MTBF NAS MÁQUINAS OTR.	86
FIGURA 26 - INDICADOR DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO MM NAS MÁQUINAS OTR.	87
FIGURA 27 - FIXAÇÃO DO COMPARADOR NA MEDIÇÃO DE DESCENTRAMENTO DO TAMBOR DA CARÇAÇA	94
FIGURA 28 - ESQUEMA DE AJUSTE DA VERTICALIDADE DO <i>LASER</i> (ANTES).	95
FIGURA 29 - AJUSTE DOS <i>LASERS</i> (APÓS).	95
FIGURA 30 - MONTAGEM DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE CONCENTRICIDADE E PARALELISMO DO CTU	96

FIGURA 31 - REPRESENTAÇÃO DA PEÇA PROJETA PARA SERVIR DE BASE AOS COMPARADORES.....	97
FIGURA 32 - MONTAGEM DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE CONCENTRICIDADE E PARALELISMO ENTRE CTU E SM (ANTES)	97
FIGURA 33 - MONTAGEM DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE CONCENTRICIDADE E PARALELISMO ENTRE CTU E SM (DEPOIS).	98
FIGURA 34 - MONTAGEM DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE CONCENTRICIDADE E PARALELISMO ENTRE BTR E BM (ANTES)	99
FIGURA 35 - MONTAGEM DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE CONCENTRICIDADE E PARALELISMO ENTRE BTR E BM (DEPOIS)	99
FIGURA 36 - MONTAGEM DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE CONCENTRICIDADE E PARALELISMO ENTRE BTR E SM (ANTES).....	100
FIGURA 37 - MONTAGEM DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE CONCENTRICIDADE E PARALELISMO ENTRE BTR E SM (DEPOIS)	101
FIGURA 38 - GRÁFICO DURAÇÃO DE INTERVENÇÃO VS Nº DE EQUIPAS DE MANUTENÇÃO.	102
FIGURA 39 - GRÁFICO DE CUSTOS POR Nº DE EQUIPAS DE MANUTENÇÃO.	102
FIGURA 40 - RELACIONAMENTO ENTRE POSICIONAMENTO DE TAMBORES E UNIDADES DE TRANSFERÊNCIA.....	104
FIGURA 41 - FLUXOGRAMA DE DECISÃO DE ALINHAMENTO	105
FIGURA 42 - METRASCAN 3D.....	106
FIGURA 43 - DEMONSTRAÇÃO DO USO DO APARELHO DE MEDIÇÃO METRASCAN 3D	106
FIGURA 44 - CARTA DE CONTROLO DAS MÉDIAS DE DESVIO DE 1ª CINTA ANTES DO MTC	109
FIGURA 45 - CARTA DE CONTROLO DE AMPLITUDE DE DESVIO DE 1ª CINTA ANTES DO MTC	110
FIGURA 46 - CARTA DE CONTROLO DE OBSERVAÇÕES INDIVIDUAIS DE DESVIO DE 1ª CINTA APÓS MTC	111
FIGURA 47 - CARTA DE CONTROLO DA AMPLITUDE DE DESVIO DE 1ª CINTA APÓS MTC.....	111
FIGURA 48 - HISTOGRAMA DE OBSERVAÇÕES INDIVIDUAIS RECOLHIDAS ANTES DO MTC.....	112
FIGURA 49 - HISTOGRAMA DE OBSERVAÇÕES INDIVIDUAIS RECOLHIDAS ANTES DO MTC.....	113
FIGURA 50 - MEDIDAS DE CONTROLO DE COMPONENTES ATRAVÉS DE MEDIÇÃO EM IMAGENS RAIO-X	114
FIGURA 51 - CARTA DE CONTROLO DAS MÉDIAS DE DESVIO DA 1ª CINTA ANTES DO MTC	175
FIGURA 52 - CARTA DE CONTROLO DE AMPLITUDE DE DESVIO DA 1ª CINTA ANTES DO MTC.....	175
FIGURA 53 - HISTOGRAMA DE MEDIÇÕES DE DESVIO DA 1ª CINTA METÁLICA ANTES DO MTC	176
FIGURA 54 - HISTOGRAMA DE MEDIÇÕES DE DESVIO DA 1ª CINTA METÁLICA DEPOIS DO MTC.....	176
FIGURA 55 - CARTA DE CONTROLO DAS MÉDIAS DE DESVIO DA 1ª CINTA APÓS MTC.....	177
FIGURA 56 - CARTA DE CONTROLO DE AMPLITUDE DE DESVIO DA 1ª CINTA APÓS MTC.....	177
FIGURA 57 - CARTA DE CONTROLO DAS MÉDIAS DE DESVIO DA 2ª CINTA ANTES DO MTC	178
FIGURA 58 - CARTA DE CONTROLO DE AMPLITUDE DE DESVIO DA 2ª CINTA ANTES DO MTC.....	178
FIGURA 59 - HISTOGRAMA DE MEDIÇÕES DE DESVIO DA 2ª CINTA METÁLICA ANTES DO MTC	179
FIGURA 60 - HISTOGRAMA DE MEDIÇÕES DE DESVIO DA 2ª CINTA METÁLICA ANTES DO MTC	179
FIGURA 61 - CARTA DE CONTROLO DAS MÉDIAS DE DESVIO DA 2ª CINTA DEPOIS DO MTC.....	180
FIGURA 62 - CARTA DE CONTROLO DE AMPLITUDE DE DESVIO DA 2ª CINTA DEPOIS DO MTC.....	180
FIGURA 63 - CARTA DE CONTROLO DAS MÉDIAS DE DESVIO DA 3ª CINTA ANTES DO MTC	181
FIGURA 64 - CARTA DE CONTROLO DE AMPLITUDE DE DESVIO DA 3ª CINTA ANTES DO MTC.....	181

FIGURA 65 - HISTOGRAMA DE MEDIÇÕES DE DESVIO DA 3ª CINTA METÁLICA ANTES DO MTC	182
FIGURA 66 - HISTOGRAMA DE MEDIÇÕES DE DESVIO DA 3ª CINTA METÁLICA DEPOIS DO MTC.....	182
FIGURA 67 - CARTA DE CONTROLO DAS MÉDIAS DE DESVIO DA 3ª CINTA DEPOIS DO MTC.....	183
FIGURA 68- CARTA DE CONTROLO DE AMPLITUDE DE DESVIO DA 3ª CINTA DEPOIS DO MTC	183
FIGURA 69 - CARTA DE CONTROLO DAS MÉDIAS DE DESVIO DA 4ª CINTA ANTES DO MTC.....	184
FIGURA 70 - CARTA DE CONTROLO DE AMPLITUDE DE DESVIO DA 4ª CINTA ANTES DO MTC.....	184
FIGURA 71 - HISTOGRAMA DE MEDIÇÕES DE DESVIO DA 4ª CINTA METÁLICA ANTES DO MTC	185
FIGURA 72 - HISTOGRAMA DE MEDIÇÕES DE DESVIO DA 4ª CINTA METÁLICA APÓS MTC.....	185
FIGURA 73 - CARTA DE CONTROLO DAS MÉDIAS DE DESVIO DA 4ª CINTA DEPOIS DO MTC.....	186
FIGURA 74 - CARTA DE CONTROLO DE AMPLITUDE DE DESVIO DA 4ª CINTA DEPOIS DO MTC.....	186
FIGURA 75 - CARTA DE CONTROLO DAS MÉDIAS DE DESVIO DA 5ª CINTA ANTES DO MTC.....	187
FIGURA 76 - CARTA DE CONTROLO DE AMPLITUDE DE DESVIO DA 5ª CINTA ANTES DO MTC.....	187
FIGURA 77 - HISTOGRAMA DE MEDIÇÕES DE DESVIO DA 5ª CINTA METÁLICA ANTES DO MTC	188
FIGURA 78 - HISTOGRAMA DE MEDIÇÕES DE DESVIO DA 5ª CINTA METÁLICA APÓS MTC.....	188
FIGURA 79 - CARTA DE CONTROLO DAS MÉDIAS DE DESVIO DA 5ª CINTA DEPOIS DO MTC.....	189
FIGURA 80 - CARTA DE CONTROLO DE AMPLITUDE DE DESVIO DA 5ª CINTA DEPOIS DO MTC.....	189

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - NÍVEIS DE IMPLEMENTAÇÃO ESTRATÉGICA DA MANUTENÇÃO.	39
TABELA 2 - TAREFAS ASSOCIADAS A CADA ELEMENTO NA FILOSOFIA TPM.	41
TABELA 3 - MAIORES PERDAS DE TEMPO CONTABILIZADAS NO INDICADOR DE DESEMPENHO OEE.	42
TABELA 4 - ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA SMED	44
TABELA 5 - PRINCIPAIS FERRAMENTAS DA QUALIDADE [38].	48
TABELA 6 - DESIGNAÇÕES <i>SIX SIGMA</i> , <i>LEAN PRODUCTION</i> E <i>KAIZEN</i>	49
TABELA 7 - POSSÍVEIS CONCLUSÕES PELA ANÁLISE DE ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO.	53
TABELA 8 - MÁQUINAS AO LONGO DO PROCESSO PRODUTIVO DE PNEUS	62
TABELA 9 - ASPETOS DE PRODUÇÃO DAS MÁQUINAS DE CONSTRUÇÃO OTR	71
TABELA 10 - PERDAS PRODUTIVAS ASSOCIADAS À REALIZAÇÃO DO PROCEDIMENTO MTC	72
TABELA 11 - PROPOSTAS DE MELHORIA.	76
TABELA 12 - LISTA DE ATIVIDADES DO PROCEDIMENTO MTC SUGERIDO PELO FABRICANTE	77
TABELA 13 - ATIVIDADES DE MTC COMUNS ÀS TRÊS ZONAS PRINCIPAIS DE OPERAÇÃO.	79
TABELA 14 - ATIVIDADES DE MTC DE VERIFICAÇÃO DE POSICIONAMENTO DO <i>LASER</i> .	80
TABELA 15 - ATIVIDADES MTC NAS UNIDADES DE TRANSPORTE	81
TABELA 16 - ATIVIDADES MTC REFERENTES À COLOCAÇÃO DE TALÕES	82
TABELA 17 - PROBLEMAS RELATADOS SOBRE A EXECUÇÃO DO PROCEDIMENTO MTC	83
TABELA 18 - IDEIAS DE MELHORIA	84
TABELA 19 - TAREFAS MTC NA ZONA DA CARÇAÇA.	89
TABELA 20 - TAREFAS MTC NA ZONA DAS CINTAS.	91
TABELA 21 - TAREFAS MTC NA ZONA DE MODELAÇÃO E EXTRUSÃO	91
TABELA 22 - REGISTO DE MEDIÇÕES DA ATIVIDADE 1.1	94
TABELA 23 - RESULTADOS DA APLICAÇÃO DE SMED	103
TABELA 24 - DADOS RELATIVOS AO ALINHAMENTO DE UM COMPONENTE OBTIDOS POR RAIOS-X	108
TABELA 25 - QUADRO RESUMO DE RESULTADOS DOS VÁRIOS COMPONENTES ANALISADOS.	113
TABELA 26 - PROBLEMAS DE QUALIDADE E/OU PRODUÇÃO RELACIONADOS COM MEDIÇÕES MTC	115
TABELA 27 - ESTADO DE CONCLUSÃO DOS OBJETIVOS INICIALMENTE TRAÇADOS.	119

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	Enquadramento	29
1.2	Objetivos	29
1.3	Metodologia.....	30
1.4	Estrutura.....	30
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	35
2.1	Manutenção Industrial.....	35
2.1.1	Definição de manutenção	35
2.1.2	Breve evolução histórica da manutenção	35
2.1.3	Tipos de manutenção	37
2.1.4	Estratégias de Manutenção.....	39
2.1.4.1	RBM – Risk Based Maintenance.....	40
2.1.4.2	TPM – Total Productive Maintenance	40
2.1.4.3	SMED.....	44
2.1.5	Calibração preditiva.....	45
2.2	Gestão da Qualidade.....	47
2.2.1	Princípios da qualidade	47
2.2.2	Ferramentas da qualidade.....	47
2.2.3	Cartas de controlo estatístico.....	50
2.2.3.1	Tipos de cartas de controlo	51
2.2.3.2	Cartas de controlo de variáveis de valores individuais e amplitude móvel.....	52
2.2.4	Índices de capacidade do processo	53
2.3	Alinhamento de máquinas industriais	54
2.3.1	Princípios básicos de alinhamento	54
2.3.1.1	Porquê alinhar uma máquina industrial?	55
2.3.1.2	Alinhamentos mais comuns na indústria.....	55
2.3.2	Medição tradicional ou manual.....	56
2.3.2.1	Instrumentos de medição tradicional.....	56
2.3.3	Medição com sistemas óticos	58
2.3.3.1	Instrumentos de medição óticos	58
2.3.4	Medição com sistemas eletrónicos	59
2.3.4.1	Instrumentos de medição eletrónicos	59
2.3.5	Alinhamento de máquinas em fabricantes de pneus.....	62

3	DESENVOLVIMENTO	67
3.1	Caracterização da empresa.....	67
3.1.1	Setor CST (Commercial Specialty Tires).....	67
3.1.2	Constituição de um pneu.....	69
3.1.3	Fases do processo produtivo.....	69
3.2	Enquadramento do projeto.....	71
3.2.1	Problemas sentidos.....	71
3.2.2	Necessidade de resolução.....	71
3.3	Caracterização do estado inicial e propostas de melhoria.....	73
3.3.1	Manutenção Preventiva.....	73
3.3.1.1	Tratamento de dados do histórico.....	74
3.3.1.2	Propostas de melhoria.....	76
3.3.2	Procedimento MTC.....	76
3.3.2.1	Crítica ao procedimento MTC.....	82
3.3.2.2	Propostas de melhoria.....	84
3.4	Intervenção na manutenção preventiva.....	85
3.4.1	Elaboração de instruções de trabalho.....	85
3.4.2	Indicadores de desempenho de manutenção.....	85
3.4.3	Registo de dados de intervenção.....	87
3.5	Intervenção no procedimento MTC.....	88
3.5.1	Aplicação da metodologia SMED.....	88
3.5.1.1	Etapa 1: Separação de atividades internas de atividades externas.....	88
3.5.1.2	Etapa 2: Conversão de atividades internas em externas.....	88
3.5.1.3	Etapa 3: Melhoria das restantes atividades internas.....	93
3.5.1.4	Etapa 4: Uniformizar as tarefas manuais.....	101
3.5.1.5	Etapa 5: Minimizar atividades externas.....	103
3.5.1.6	Resultados práticos da aplicação do SMED.....	103
3.5.2	Ajustes de máquina.....	104
3.5.3	Aplicação de tecnologia avançada de metrologia.....	106
3.5.4	Impacto do MTC na qualidade do produto.....	107
3.5.4.1	Testes de qualidade.....	107
3.5.4.2	Análise estatística de característica de qualidade.....	108
3.5.4.3	Relação entre medições controladas pelo MTC e geração de defeitos.....	114
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	119
4.1	Conclusões.....	119
4.2	Propostas de trabalhos futuros.....	121

5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	125
6	ANEXOS.....	131
6.1	Manutenção preventiva OTR zona de carcaças.....	131
6.2	Manutenção preventiva OTR zona de cintas.....	135
6.3	Manutenção preventiva OTR zona de modelação.....	139
6.4	Relatório de acompanhamento do procedimento MTC.....	143
6.5	Desenho técnico – base de fixação de comparador tambor de carcaça.....	149
6.6	Desenho técnico – base de fixação de comparadores tambor de modelação.....	153
6.7	Detenho técnico – Aumentos de tripé de comparador.....	157
6.8	Diagrama de Gant do procedimento MTC.....	161
6.9	Instruções de trabalho de procedimento MTC.....	165
6.10	Tabelas de registo de procedimento MTC.....	169
6.11	Gráficos de controlo.....	173

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

1.2 Objetivos

1.3 Metodologia

1.4 Estrutura

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Devido às exigências do mercado automóvel, as empresas são submetidas a pressão constante, que as leva a desenvolver novas metodologias, técnicas e ideologias de gestão. O objetivo é normalmente minimizar perdas ou desperdício. Estas exigências afetam também o setor de manutenção. Este tem a tarefa difícil de manter as máquinas em condições de funcionamento que garantam padrões de qualidade, procurando não afetar a disponibilidade para produção. A melhoria contínua de atividades de manutenção faz parte do dia a dia de uma empresa, de modo a manter a produção ativa, sem ocorrência de defeitos, avarias e acidentes.

Devido às exigências de alguns processos, as máquinas têm limites de tolerância impostos. O desempenho pode variar ao longo do tempo e assim provocar defeitos. A Calibração/Inspeção é uma atividade fundamental para manter a qualidade nos processos de produção e manter a confiabilidade das máquinas. Outras atividades de manutenção planeada são ainda cruciais para diminuir a ocorrência de avarias. No entanto, uma perspetiva de melhoria contínua destas ações de manutenção deve ser adotada para minimizar tempos de paragem e aumentar a sua eficácia.

A Continental Mabor expandiu recentemente a sua gama de produtos para pneus de grandes dimensões. Procura garantir nas suas máquinas de construção, recentemente instaladas, manutenção apropriada que garanta os níveis de qualidade exigidos pelos clientes e que permita maximizar a produção.

1.2 Objetivos

A realização deste trabalho pretende apresentar a execução de um estudo de melhoria e organização de atividades de manutenção. O objetivo é a redução do tempo de indisponibilidade de máquinas, com particular enfoque em analisar um procedimento de verificação de tolerâncias de uma máquina.

Através deste trabalho, é pretendido que os seguintes objetivos sejam alcançados:

- Elaborar um procedimento de manutenção de verificação de tolerâncias de uma máquina de construção de pneus, procurando a redução do tempo de execução atual;
- Definição e projeto de ferramentas auxiliares para a execução do procedimento de manutenção de verificação de tolerâncias;

- Elaborar um procedimento de manutenção preventiva para uma máquina de construção de pneus.

1.3 Metodologia

Esta dissertação segue o modelo de *Action-Research*, de modo a diagnosticar um problema proposto e desenvolver e implementar soluções baseadas em diagnóstico de condições reais.

Durante a fase de planeamento é proposto investigar métodos de melhoria contínua aplicados a procedimentos de manutenção preventiva e calibração de equipamentos, de modo a maximizar disponibilidade de máquinas. Para isso é pretendido que sejam abordados conceitos de manutenção industrial, gestão da qualidade e alinhamento de máquinas industriais. Em paralelo é também proposto a análise e compreensão do processo produtivo da empresa, em especial a fase de construção de pneus.

A fase seguinte compreende a investigação do histórico de avarias de modo a recolher dados como, tipo de avarias, frequência, tempos de paragem e motivos. Análise de tempo e métodos de execução durante a realização de atividades de manutenção planeada. Por fim recolha de dados de qualidade que possam estabelecer uma ligação com os problemas propostos.

Com dados recolhidos pretende-se otimizar a sequências de trabalho com recurso ao MS Project[®] e elaboração de documentação de atividades de manutenção preventiva e verificação de tolerâncias. Assim como, implementar soluções que possam levar a melhoria de disponibilidade de equipamentos.

Por fim, na última fase, conclusão sobre a eficácia da implementação dos métodos de melhoria contínua, enumeração dos resultados atingidos com as soluções propostas e implementadas e oportunidades para futuros trabalhos

1.4 Estrutura

O presente relatório está organizado em quatro capítulos.

No capítulo 1, introdução, realiza-se o enquadramento do projeto, enumeração dos objetivos e metodologia utilizada.

No capítulo 2, revisão bibliográfica, faz-se enquadramento teórico sobre temáticas essenciais à realização deste trabalho. Uma breve apresentação da evolução do conceito de manutenção é apresentada inicialmente. Após isso, são explorados conceitos de gestão de qualidade em empresas. Por fim, é abordado o assunto do alinhamento de máquinas industriais.

No capítulo 3, desenvolvimento, começa pela descrição da entidade acolhedora. São dados a conhecer os produtos e a dimensão da empresa. De seguida a descrição detalhada dos problemas, caracterizando assim o estado inicial. Por fim são

apresentadas as atividades realizadas com vista a solucionar problemas e melhoria de procedimentos.

No capítulo 4, conclusões, faz-se a apresentação do balanço final do projeto e considerações sobre trabalhos futuros no seguimento deste projeto.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção Industrial

2.2 Gestão da Qualidade

2.3 Alinhamento de máquinas industriais

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção Industrial

2.1.1 Definição de manutenção

Manutenção, segundo a Norma EN 13306:2001, representa a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante um ciclo de vida de um bem, ou seja, ações destinadas a manter ou a repor o estado de desempenho da função requerida, incluindo ações levadas a cabo por diversos meios, tais como o planeamento, o controlo e supervisão da manutenção e a melhoria de métodos na organização, incluindo os aspetos económicos.

Existem outras definições de manutenção, de acordo com outros autores. Segundo Pinto [1], manutenção é um conjunto integrado de atividades que se desenvolve durante todo o ciclo de vida de uma máquina, sistema ou instalação, Sendo atividades que visam manter ou repor a sua operacionalidade nas melhores condições de qualidade, custo e disponibilidade, com total segurança. Kardec acrescenta que a manutenção industrial deve garantir a preservação do meio ambiente [2].

2.1.2 Breve evolução histórica da manutenção

A perceção da manutenção na indústria não foi sempre a mesma ao longo da história. Podemos distinguir três gerações distintas e associar com a manutenção predominante [3], representadas em linha cronológica na Figura 1.

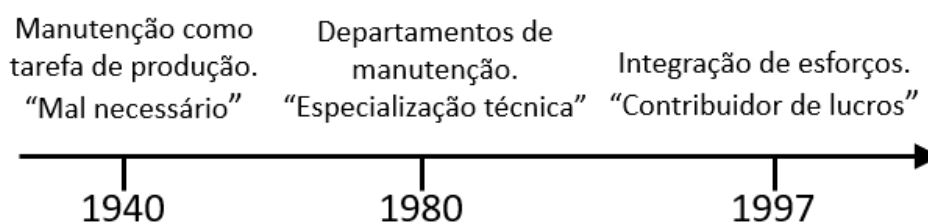


Figura 1 - Manutenção numa perspetiva de linha temporal, adaptado de [3].

A primeira geração era caracterizada por baixa mecanização, máquinas simples, robustas e sobre dimensionadas. O foco da manutenção era na reparação após avaria, ou seja, utilização de máquinas ou componentes até ao seu limite de vida [3]. A manutenção nesta geração era vista como um "mal necessário" e uma tarefa acessória à produção. A reparação ou troca de componentes após avaria obrigava a paragem de produção. A manutenção representava custos elevados, mas necessários. Durante a

primeira geração a falha de um componente ou máquina era considerada quando este se encontrava em zona de desgaste [4], como representado na Figura 2.

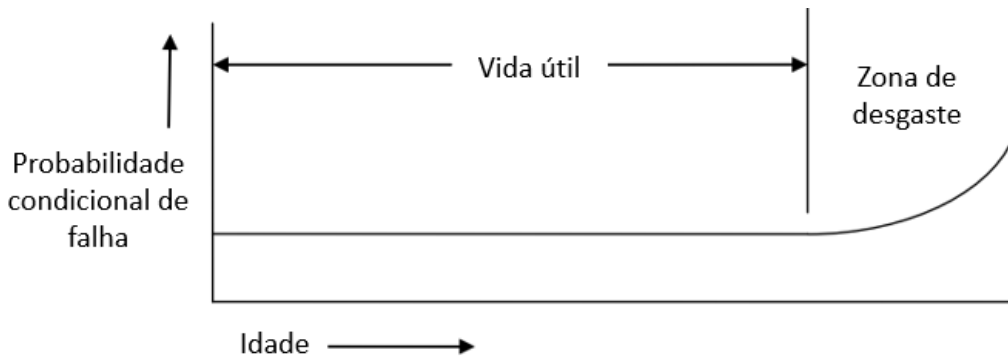


Figura 2 - Modo de falha de máquinas durante a primeira geração de manutenção, adaptado de [4].

Com o aumento da mecanização na indústria após a 2ª Guerra Mundial, podemos distinguir uma segunda geração focada com maior incidência das avarias e aumento dos custos de manutenção. Os processos tornaram-se maiores e mais rápidos. De modo a evitar as longas paragens após avaria de componentes ou máquinas, introduziu-se o conceito de paragem planeada para manutenção. A manutenção passou para uma perspetiva de prevenção da avaria, ou seja, manutenção preventiva com intervalos fixos [3]. Durante esta geração, a manutenção foi reconhecida como um departamento próprio e separado das tarefas de produção. O foco da manutenção era aumentar a disponibilidade das máquinas. A perspetiva dos modos de falha das máquinas era baseado na curva de "bath-tub" [4]. Como representado na Figura 3, este modo era caracterizado por um período de *Break in*, onde ocorrem falhas devido a problemas de instalação, período de vida normal e por fim desgaste da máquina.

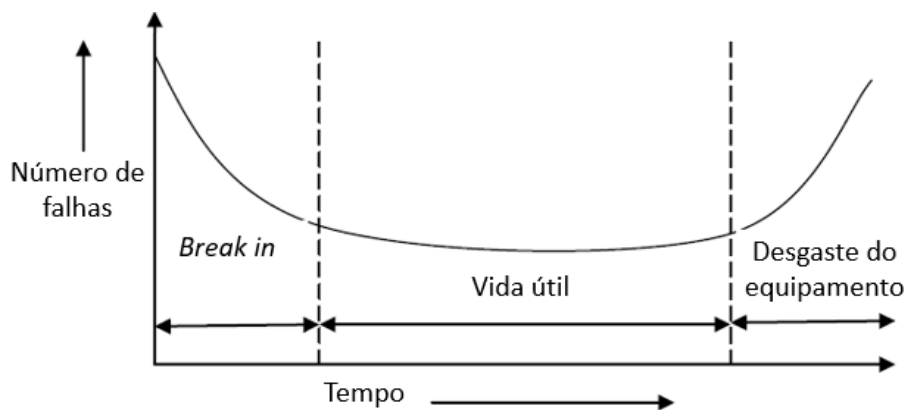


Figura 3 - Modo de falha de máquina representado pela curva "bath-tub" [5].

O custo associado à manutenção aumentou drasticamente devido à complexidade das máquinas, o que levou a uma necessidade de planeamento e controlo com o objetivo de os minimizar [4].

Por fim uma terceira geração aparece após a década de 90, período caracterizado pela procura da eficiência de produção e aumento do nível e complexidade da automação. A manutenção passa a ser um departamento crucial para o sucesso das operações.

Começaram a ser adotados modelos de manutenção que contribuiriam para a eficiência da produção, qualidade, segurança e geração de lucro. E ainda, importante considerar o aparecimento do JIT (sistemas produtivos *Just In Time*) com baixos níveis de inventário, logo mais dependentes da fiabilidade dos fornecedores. Devido à procura da eficiência e qualidade, nesta geração houve um aumento dos custos de manutenção [4]. Na Figura 4, encontram-se resumidas as expectativas chave em cada geração falada anteriormente.

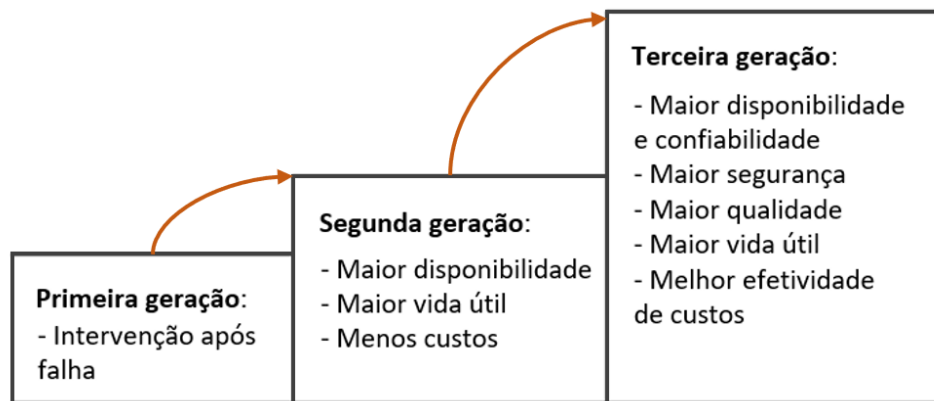


Figura 4 - Expectativas das três gerações de manutenção, adaptado de [4].

2.1.3 Tipos de manutenção

Manutenção inclui todas as atividades precisas para manter uma máquina em máximas condições de operação. As atividades de manutenção são normalmente realizadas tendo em conta uma certa estratégia. As estratégias de manutenção têm acompanhado a evolução dos sistemas produtivos, existindo assim várias, tais como as representadas na Figura 5 [6].

Inicialmente, a manutenção era maioritariamente executada como ação corretiva. Mais tarde, manutenção tornou-se uma tarefa a tempo inteiro, ao invés de atividades isoladas sob resposta de uma avaria. Atualmente, gerir a manutenção tornou-se complexo, sendo necessário equipas com capacidades técnicas e de gestão. Além disso, é ainda importante compatibilizar com as necessidades de produção impostas pela dinâmica do negócio. Estratégias de manutenção têm sido gradualmente modificadas para estratégias preventivas, incluindo manutenção baseada em condição e baseada em utilização [7].

- **Manutenção corretiva**

Manutenção corretiva é a estratégia convencional escolhida por muitas empresas. Esta estratégia é muitas vezes implementada devido à escassez de conhecimento sobre as falhas da máquina [8]. Em situações em que a falha não é crítica, a estratégia de manutenção corretiva pode ser uma opção aceitável. No entanto, razões como a competição de mercado, razões ambientais e de segurança, forçam à necessidade de gestão mais eficiente das estratégias de manutenção [9].

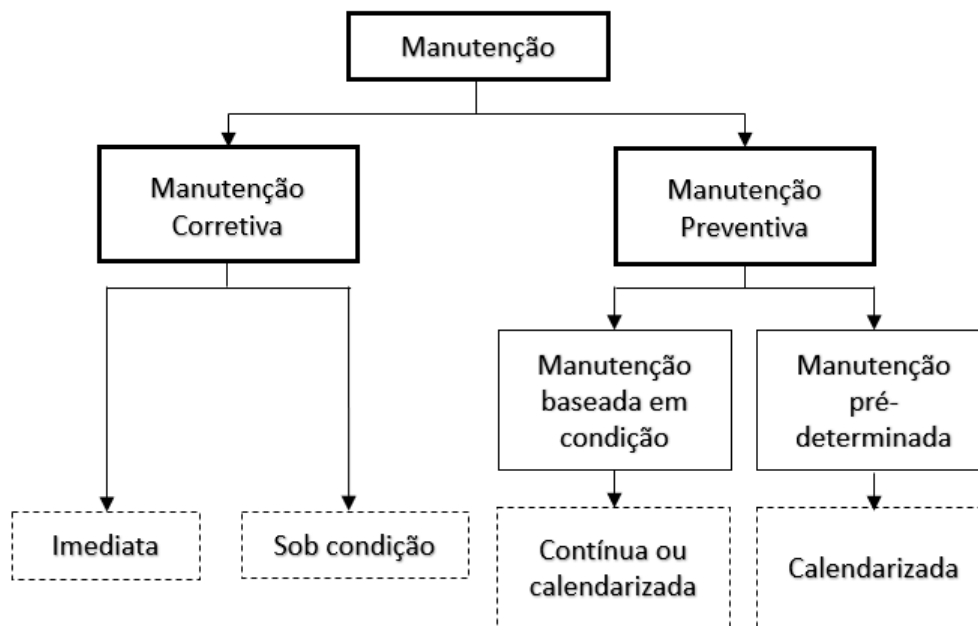


Figura 5 - Estratégias de manutenção [6].

- **Manutenção preventiva**

Manutenção preventiva é executada em intervalos de tempo determinados, ou segundo critérios estabelecidos com o propósito de reduzir a probabilidade de avaria [10]. *Time-Based Maintenance* (TBM), são atividades de manutenção que são executadas baseadas em intervalos de tempo fixos. A grande desvantagem desta estratégia acontece quando é utilizado um período de inspeção inapropriado, podendo existir custos desnecessários. *Condition-Based Maintenance* (CBM) pode ser descrito como um processo que integra tecnologia e capacidades humanas. Usando uma combinação de ferramentas de diagnóstico, histórico de manutenção e testemunho de operador pode ser determinado a possibilidade de uma falha [11].

- **Manutenção preditiva**

Alguns autores separam CBM numa categoria distinta, quando há intenção de prever a ocorrência de uma falha ou avaria. Máquinas geralmente mostram sinais de degradação antes de ocorrer falhas. Logo, é possível controlar a tendência de degradação para que qualquer falha possa ser corrigida antes que cause alguma avaria na máquina. Esta estratégia requer condições de monitorização que permitam detetar sinais de perda de desempenho. Podem ser monitorizados inúmeros parâmetros, tais como, vibração, caudal, temperatura, lubrificação, óleo, contaminantes e ruído [7]. Existem duas perspectivas de uso da manutenção preditiva, nomeadamente, diagnóstica e prognóstica. Diagnóstico remete à identificação da causa-raiz de uma falha, enquanto prognóstica é o processo de prever uma falha no futuro [12].

2.1.4 Estratégias de Manutenção

A implementação estratégica da manutenção pode dar-se em três níveis diferentes [9], explicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Níveis de implementação estratégica da manutenção.

Nível:	Descrição:
Ações ao nível estratégico	<ul style="list-style-type: none"> Definir um plano genérico de manutenção, transformando as prioridades organizacionais e de negócio em prioridades da manutenção; Decisões sobre capacidade da manutenção, centralização ou descentralização, ter as competências <i>in-house</i> ou fazer <i>outsourcing</i>.
Ações ao nível tático	<ul style="list-style-type: none"> Determinar a utilização correta dos recursos; Estabelecer um programa pormenorizado com a atribuição de tarefas.
Ações ao nível operacional	<ul style="list-style-type: none"> Assegurar que as tarefas são realizadas por pessoas treinadas e capazes. Além disso, assegurar procedimentos adequados, utilizando as ferramentas corretas; Garantir que o trabalho realizado é registado adequadamente nos sistemas de informação.

No que diz respeito à seleção da estratégia de manutenção, existem três cenários possíveis:

- O fabricante ou vendedor da máquina fornece apoio e serviço completo de manutenção (Estratégia de *outsourcing*). Pode ser temporária, ou seja, apenas durante o período de garantia ou permanente.
- Fabricante ou vendedor da máquina fornece apenas apoio básico de planeamento e documentação, tais como listas de peças de reserva, especificação de lubrificantes e outras informações relevantes. Logo, é selecionado uma estratégia *in-house*, onde a gestão da manutenção, planeamento, e execução das tarefas são realizadas por pessoal interno.
- Serviço de manutenção realizado por uma empresa externa, diferente do fabricante da máquina.

Cada estratégia de manutenção implica vantagens e desvantagens. A subcontratação de serviços de manutenção implica perda de competitividade e estratégia. O contrário acontece, se uma empresa optar por utilizar recursos próprios.

2.1.4.1 RBM – Risk Based Maintenance

Ainda que as estratégias de manutenção preventiva sejam eficazes, estão inevitavelmente associadas a custos elevados e à necessidade de pessoal qualificado. RBM é uma forma de gestão que prioriza os recursos de manutenção para as máquinas que apresentam maior risco de falha. Esta estratégia assenta numa estrutura de duas fases principais:

- Avaliação do risco;
- Planeamento de manutenção baseada no risco.

Risco pode ser calculado como a probabilidade de uma falha ocorrer, assim como as consequências dessa falha. Geralmente, cerca de 20% dos componentes num sistema representam 80% do risco total de avaria. Logo, a estratégia tem como objetivo identificar esses componentes e aumentar o nível de prioridade de intervenção. Deve ser definida a operação de cada componente e consequências da sua falha [13].

As ferramentas básicas usadas nesta estratégia de gestão de manutenção para avaliar o risco de falha incluem:

- FMEA - *Failure mode and Effect analysis*, isto é, análise de modos de falha e de consequências;
- Análise de causas;
- Análise de risco.

2.1.4.2 TPM – Total Productive Maintenance

O TPM é um método alternativo que integra conceitos de manutenção e qualidade através de inspeção diária por operadores treinados. O objetivo é eliminar as maiores causas de tempo de paragem, mudanças de ferramentas e quebras na produção. A implementação desta estratégia requer alto nível de envolvimento por todos os níveis de funcionários. A sigla remete a Manutenção para a Produtividade total. Produtividade remete à necessidade minimizar paragens de produção. Manutenção significa ter a máquina mantida em boas condições de funcionamento. Por fim, total evidencia a necessidade de toda a estrutura estar envolvida no processo [13].

De acordo com Pinto [1], a importância da filosofia TPM não melhora apenas a disponibilidade de máquinas. O incentivo ao progresso e melhoria em termos produtivos, qualidade, assim como capacidades individuais e aumento de espírito de equipa, são melhorias expectáveis. De facto, melhorar qualidade e eficiência de produção são elementos fundamentais que garantem a satisfação dos clientes [14]. Mckone conduziu um estudo que mediu o efeito do TPM e impacto no desempenho de empresas em quatro países, Estados Unidos, Itália, Alemanha e Japão. Como resultado geral, foi detetada a melhoria de custos, qualidade e prazo de entrega [15].

O TPM está sempre focado em melhorar todos os indicadores gerais de desempenho de produção, tais como:

- Indicadores de segurança;
- Utilização de recursos;
- Expansão de capacidade sem investimentos elevados em novas máquinas;
- Mitigação de perdas em manutenção de novas máquinas;
- Maximização de disponibilidade das máquinas.

A implementação da filosofia TPM pode ser descrita em oito pilares fundamentais presentes na Figura 6. As práticas sugeridas por TPM são usualmente chamados de pilares fundamentais [16].

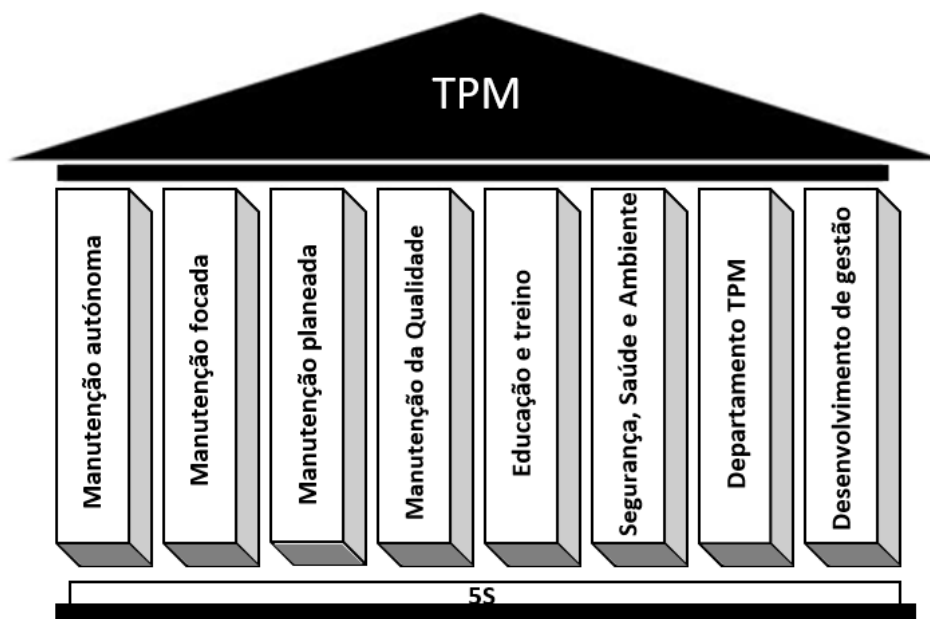


Figura 6 - Oito pilares da implementação TPM [16]

Estas práticas procuram melhorias de desempenho produtivo. Na Tabela 2 encontram-se resumidas as tarefas associadas a cada prática.

Tabela 2 - Tarefas associadas a cada elemento na filosofia TPM.

Manutenção autónoma	Realização de procedimentos de limpeza, lubrificação, ajustes e inspeção.
Manutenção focada	Identificação sistemática e mitigação de perdas.
Manutenção planeada	Planeamento eficiente e efetivo. Manutenção preventiva e preditiva. Listagens de procedimentos de verificação.
Gestão da qualidade	Atingir zero defeitos. Descobrir e atuar sobre problemas de máquinas e causas raiz de avarias.

Educação e treino	Promover formações aos operadores. Alinhar operadores com os objetivos da organização. Avaliação de desempenho.
Segurança, saúde e ambiente	Garantir segurança no ambiente de trabalho. Promover ambiente apropriado de trabalho. Eliminar acidentes. Promover procedimentos normalizados.
Departamento de melhoria contínua	Melhorar sinergia entre funções. Remover procedimentos repetitivos. Foco em problemas de alto dispêndio monetário.
Desenvolvimento de gestão	Mínimo de problemas e instalação apropriada de novas máquinas. Utilizar conhecimento de máquinas existentes e aplicar em novas, iniciativas de melhoria de manutenção.
5S	Conjunto de práticas com vista à redução de desperdícios. Muitas vezes vista apenas como uma prática de organização do local de trabalho, é, todavia, muito mais do que isso. A vantagem de haver organização é a facilidade na deteção de objetos fora do lugar. Os 5'S referem-se à organização, arrumação, limpeza, normalização e autodisciplina.

Um dos fatores de desempenho mais usados é o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), indicador de desempenho que traduz a razão entre o que uma máquina produz e o que poderia estar a produzir. Permite medir a produtividade individual de uma máquina. Ajuda no processo de identificação e medição de perdas em aspetos importantes da operação, nomeadamente disponibilidade, desempenho e qualidade.

Paragens no processo de fabrico, sejam elas crónicas ou esporádicas, resultam em diferentes perdas. Estas podem ser definidas como atividades que absorvem recursos, mas não criam valor. O objetivo do OEE é identificar e quantificar essas perdas. Existem seis grandes grupos de perdas segundo Nakajima [17], tal como podemos observar na Tabela 3.

Tabela 3 - Maiores perdas de tempo contabilizadas no indicador de desempenho OEE.

Perdas por Downtime	Avarias	Paragens que interrompem a produção por avaria.
	Mudança de ferramenta	Mudança de ferramenta ou ajustes na máquina (Micro-paragens do operador).

	Paragens	Perdas de tempo por produtividade reduzida.
Perdas de velocidade	Velocidade reduzida	Perdas de tempo devido à diferença de desempenho entre o tempo de ciclo real e o tempo de ciclo idealizado.
	Defeitos de qualidade	Defeitos de qualidade e retrabalho causadas por mau funcionamento de máquinas
Perdas de qualidade	Início de produção	Perdas ocorridas durante as fases iniciais de produção, desde início de produção até estabilização do processo

Este indicador de desempenho tem sido amplamente usado como ferramenta essencial de medição de produtividade. No entanto, o indicador está limitado ao comportamento individual de máquinas e não tem em conta a complexidade e interceção de várias máquinas num processo produtivo [18]. Um novo modelo proposto por Ivancic [19], incluiu no indicador os tempos despendidos em manutenção planeada. Neste modelo, a disponibilidade da máquina é afetada por dois grupos de perdas distintos: perdas planeadas e não planeadas. Os fatores que as quantificam são MTBF (*Mean time between failure*) e MTTR (*Mean time to repair*).

$$\text{MTBF} = \text{Duração total de funcionamento} / \text{N.º total de falhas}$$

$$\text{MTTR} = \text{Duração total de manutenção} / \text{N.º total de falhas}$$

Especificamente no setor automóvel existe a norma IATF 16949:2016 que impõe a implementação de indicadores de desempenho. Nesse sentido um caso de estudo numa empresa multinacional onde foram implementados indicadores MTBF, MTTR e OEE, através da monitorização e processamento desses dados foi possível analisar o comportamento de cada setor e identificar problemas. Foram implementadas medidas corretivas que permitiu atingir um OEE de 90% [20].

Um caso de estudo no setor automóvel onde foram aplicados os conceitos TPM, com o objetivo de solucionar problemas de falta de disponibilidade de máquina e baixa execução de manutenção preventiva, resultou no aumento de 10% de disponibilidade de máquina. Este aumento representou 8% no OEE e redução significativa de MTTR. Todos os conceitos usados levaram a redução de várias perdas, permitiu a quantificação de melhorias, e estabeleceu um ponto de partida para melhoria contínua [21]. Outro caso de estudo na produção de blocos de motor, onde, em resposta a problemas detetados, vários planos de ação foram desenvolvidos como implementação da ferramenta 5S, gestão visual e programa de treino. Os resultados foram avaliados

através da evolução positiva dos indicadores MTBF e MTTR, atingindo disponibilidade de 97,1% da linha de produção [22].

2.1.4.3 SMED

Uma das categorias do TPM implica a identificação sistemática e mitigação de perdas. *Single Minute Exchange Die (SMED)* é um método de análise desenvolvido para reduzir ao máximo esses tempos improdutivos desenvolvido por Shingo [23]. Alguns podem ser impossíveis de eliminar na sua totalidade devido às exigências do processo, mas devem ser reduzidos ao máximo. O procedimento da análise encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Etapas de implementação da metodologia SMED

1- Separar atividades em internas e externas	Atividades internas implicam paragem da máquina enquanto as atividades externas podem ser realizadas enquanto a máquina opera.
2- Converter atividades internas em externas	Eliminar parte do tempo de paragem da máquina.
3- Usar engenharia nas restantes atividades internas	Alterações mecânicas como desaperto rápido de componentes ou ainda mudanças estruturais na máquina. Ferramentas de auxílio ao procedimento, como plataformas deslizantes.
4- Uniformizar as tarefas manuais	Eliminar discrepâncias entre operadores
5- Minimizar atividades externas	Em muitos casos, não há tempo suficiente para a realização de tarefas durante o processo de produção, logo atividades externas devem ser minimizadas.

Existem vários casos de sucesso na implementação desta metodologia. Numa empresa de produção de rolhas de cortiça, foi aplicada esta metodologia com vista à redução de tempo fora de serviço, causado pela mudança de ferramentas. Após modificações, tais como o rearranjo de componentes para mais fácil acesso, bem como aplicação da filosofia 5S, foi atingida uma redução de cerca de 43% [24]. Outro estudo, aplicou a ferramenta num processo de extrusão de fio metálico em várias máquinas. Cerca de 45% do tempo de set-up passou a ser executado como atividade externa e a uma nova sequência de procedimento e melhorias aplicadas permitiu uma melhoria adicional de 20% [25]. Por fim, num caso de estudo na indústria automóvel, através da organização de ferramentas necessárias à execução da troca de componentes, substituição de parafusos por fixações de desaperto rápido e aplicação da filosofia 5S, foram atingidas

diminuições de 58,3% no tempo necessário de *Set-up* [26]. A maioria dos casos de aplicação de SMED centra-se na redução de tempo de *set-up*, no entanto Borris [27] sugeriu que é possível aplicar a metodologia SMED a tarefas de manutenção preventiva. O objetivo principal é minimizar o tempo que uma máquina não é capaz de fabricar. Normalmente, isso implica *set-up*, mas pode aplicar-se a outros procedimentos. Existem dois princípios para a sugestão de Borris:

- Ao decidir entre atividades externas e internas, é possível identificar quais tarefas impossibilitam o funcionamento da máquina e quais podem ser realizadas durante a produção.
- Ao revisar cada ação em um nível prático, é possível identificar quais tarefas são essenciais, melhoradas ou removidas.

2.1.5 Calibração preditiva

Como já descrito, uma das perdas de produção que podemos encontrar num processo são perdas por qualidade. Manter o desempenho das máquinas é essencial para evitar componentes defeituosos e, conseqüentemente, perdas de tempo por falha de qualidade. Recentemente, surgiu o conceito de calibração preditiva que tem como objetivo eliminar falhas e perdas de tempo, neste caso, devido à falta de precisão da máquina. A frequência de calibração é um compromisso entre ritmo de produção e necessidade de manter qualidade [28].

As ferramentas que permitem medições para avaliar a precisão de máquinas tem vindo a ser amplamente disponibilizadas. Por esta razão, as estratégias de manutenção preditiva e técnicas de diagnóstico têm vindo a atrair atenção. As estratégias passam por utilizar metrologia moderna e técnicas de análise para identificar e prever sinais de deterioração ou falha iminente. A Figura 7 mostra um esquema de medição e calibração de modo a manter uma máquina dentro da tolerância necessária, através de calibrações periódicas [29].

Calibração é uma atividade fundamental para manter a qualidade de máquinas de medição. Também pode ser aplicada a processos de produção, para controlar qualidade e manter a confiabilidade das máquinas. A calibração completa requer medição de um número significativo de fontes de erro, especialmente em máquinas de grandes dimensões [28].

Devido às exigências do processo, as máquinas têm limites de tolerância impostos, especialmente aquelas que trabalham com um nível de precisão elevado. O seu desempenho pode variar ao longo do tempo. A incapacidade de uma máquina produzir peças dentro de uma tolerância específica pode ser considerada uma falha ou avaria [29]. As causas podem variar muito, dependendo do sistema, tais como:

- Erros de programação;
- Excessivo uso de velocidades críticas;
- Manutenção inapropriada;
- Desalinhamentos;

- Folgas mecânicas;
- Erros de instalação;
- Deficiências de projeto original.

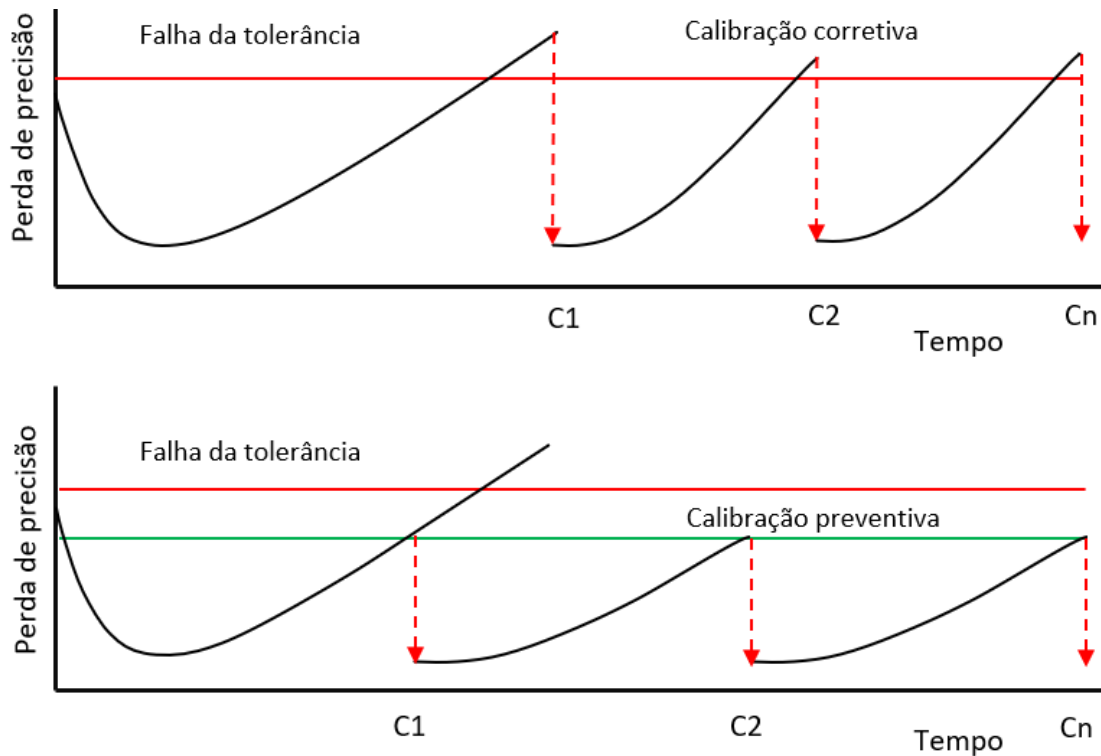


Figura 7 - Degradação de precisão de uma máquina e necessidade de calibração para manter a tolerância [29].

Calibração preditiva é uma nova metodologia proposta, análoga à manutenção preditiva. Consiste numa tentativa de formalizar a metodologia aplicada a máquinas para medir e controlar a degradação de componentes mecânicos, de modo a manter a precisão das máquinas. No entanto, precisão de uma máquina é difícil de avaliar continuamente, logo necessário adotar uma estratégia periódica de medição, como podemos observar na Figura 8 [30].

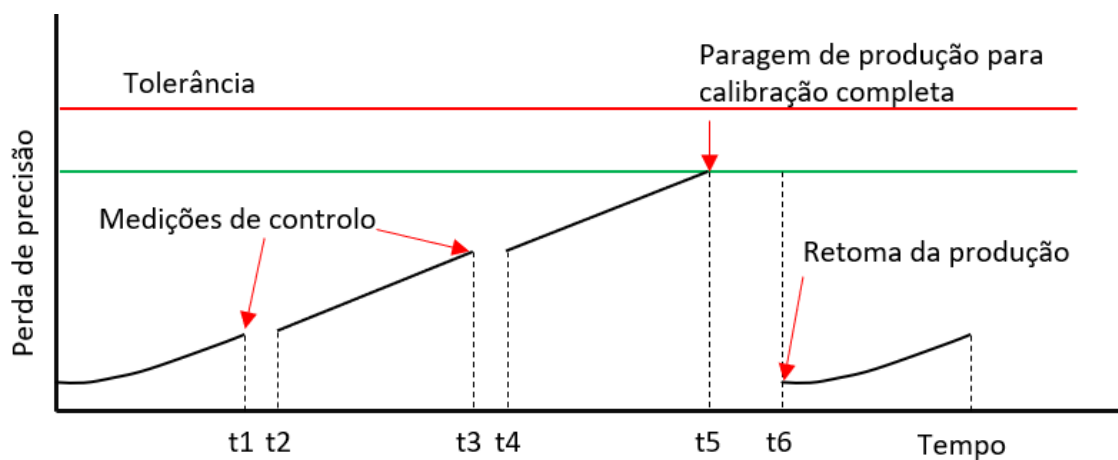


Figura 8 - Metodologia de Calibração preditiva [29]

A análise do histórico da máquina pode permitir avaliar a degradação das condições de uma máquina. Contudo, é necessária a criação de um histórico de inspeções através de técnicas de medição adequadas. Estabelecer as tolerâncias apropriadas do processo e comparar com o histórico de inspeção, representa uma método viável para avaliar as tolerâncias da máquina [30].

2.2 Gestão da Qualidade

2.2.1 Princípios da qualidade

A evolução da indústria tem sido acompanhada pelo desenvolvimento paralelo da qualidade [31]. Existem vários modelos e critérios de qualidade aplicados com sucesso, no entanto, a norma ISO 9001:2008 (Padrão internacional de sistemas de gestão da qualidade) fornece uma lista definitiva de princípios da qualidade:

- Focalização no consumidor;
- Liderança;
- Envolvimento das pessoas;
- Abordagem por processos;
- Abordagem da gestão como um sistema;
- Melhoria contínua;
- Abordagem à tomada de decisões baseada em factos;
- Relações mutuamente benéficas com os fornecedores.

Para responder as exigências dos clientes e melhoria do desempenho do negócio, mais de um milhão de organizações de todos os setores de atividade, implementaram esta norma [32]. Qualidade está fundamentalmente relacionada com a melhoria contínua, seja um produto, processo ou desempenho organizacional [31]. Existem diferentes formas de conseguir melhorias num ambiente industrial. Geralmente, requerem algum produto e/ou medição para estabelecer um nível de conformidade. A técnica de medição deve ser reproduzível para garantir a consistência da informação, para que seja possível o seu uso no desenvolvimento do produto [33].

2.2.2 Ferramentas da qualidade

A maior parte da literatura sobre qualidade pode ser relacionada a indivíduos como os americanos, Edward Deming, Joseph Juran e Philip Crosby. Estes foram os pioneiros a usar o termo de TQM (*Total Quality Management*). Os japoneses Kaoru Ishikawa, Genichi Taguchi e Shingeo Shingo também deram contribuições significativas [34]–[37].

Seja qual for a filosofia adotada, a base de um sistema de qualidade implica dizer o que se fez, fazer o que se diz, registar o que se fez, verificar os resultados e agir de acordo com a diferença registada [38].

- **Dizer o que se fez:** escrever, em detalhe, todos os procedimentos. Isso inclui procedimentos de calibração, procedimentos operacionais, protocolos e instruções de trabalho.
- **Fazer o que se diz:** seguir os procedimentos ou instruções de trabalho, sendo extremamente importante para garantir a repetibilidade no método.
- **Registo o que se fez:** registar com precisão os resultados das medições e ajustes, de modo a criar bases de dados comparáveis.
- **Verificar os resultados:** garantir que a máquina de inspeção, medição e teste se encontram dentro de tolerâncias recomendadas para a execução dos procedimentos selecionados.
- **Agir de acordo com a diferença registada:** corrigir desvios, ou medições fora de tolerância, isto é, calibração de máquinas de produção, reavaliação do processo de produção e medidas corretivas.

As boas práticas de metrologia sugerem que os intervalos de calibração sejam determinados com base no desempenho da máquina em questão, ou seja, dados do histórico. A tendência dos registos suporta uma decisão fundamentada do valor de intervalo de calibração. Algumas das ferramentas da qualidade que ajudam a analisar os dados do histórico são descritas na Tabela 5 [38].

Tabela 5 - Principais ferramentas da qualidade [38].

Folha de verificação	A função de uma folha de verificação é apresentar informação de um modo eficiente, num formato gráfico. Isto pode ser alcançado com simples listas de itens. No entanto, pode ser significativamente melhorada em alguns casos, ao incorporar representação automática do sistema.
Gráfico de Pareto	Gráficos de Pareto são extremamente úteis, já que podem ser usados para identificar os fatores que têm um maior efeito cumulativo. São criados ao representar as frequências cumulativas dos dados de frequência relativa em ordem decrescente.
Fluxograma	Fluxograma é um esquema que representa um processo. Ao dividir o processo em partes, o fluxograma pode ser útil ao identificar erros que podem ser encontrados no sistema.
Diagrama causa-efeito	Também chamado de diagrama Ishikawa ou espinha de peixe, é usado para associar diferentes causas a um único efeito. O ramo principal representa o efeito (a qualidade característica que é necessário melhorar ou controlar). Cada ramo secundário corresponde a uma diferente classe de falha.
Histograma	Visualização de dados acumulados, incluindo a sua dispersão e tendência central. Histogramas são fáceis de construir e são uma das formas mais fáceis de avaliar a distribuição de dados.

Gráficos de dispersão	Gráficos de dispersão são ferramentas gráficas que tentam diferenciar a influência que uma variável tem numa segunda variável.
------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Cartas de controlo	Ferramentas estatísticas de controlo do processo. Indicam a variabilidade de um fator que se pretende controlar.
---------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

No setor automóvel, existe um ênfase adicional nas ferramentas e técnicas da qualidade, tais como, FMEA, SPC (controlo de processo estatístico), MSA (Sistema de análise de medições) e APQP (Planeamento avançado de qualidade do produto) [32]. No entanto, importante frisar a importância de métodos de melhoria como *Lean*, *Kaizen* e *Six Sigma* como evidenciado por Fonseca [39] num estudo sobre competências essenciais para gestores de qualidade. E demonstrado na prática num estudo na produção de moldes, onde através de uma análise de Pareto que revelou os principais eventos que contribuíam para paragens e através da implementação de ferramentas *Lean* e *Six Sigma*, foram obtidas melhorias de aproximadamente 20% do OEE [40]. De modo a esclarecer as diferenças dos termos apresentados, estes são descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Designações *Six Sigma*, *Lean Production* e *Kaizen*

<i>Six Sigma</i>	Pode ser vista como uma ferramenta de TQM. Baseada num método disciplinado para redução drástica de defeitos, associado a metodologias como por exemplo DMAIC (<i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control</i>) [41].
<i>Lean Production</i>	Conceito de redução de perdas para atingir melhorias de custos, qualidade e flexibilidade. Incorpora várias ferramentas de melhoria como por exemplo TPM e SMED, mencionados anteriormente, e ferramentas de análise comuns com TQM e <i>Six Sigma</i> [41].
<i>Kaizen</i>	Filosofia de produção adotada na indústria japonesa para aumentar a competitividade muito similar ao conceito de <i>Lean Production</i> [41].

Noutro estudo realizado num fabricante de pneus nacional, foram implementadas cartas de controlo para controlo da produção de talões. Depois de uma análise do processo inicial e análise de Pareto com o objetivo de identificar as não conformidades mais frequentes, foram implementadas cartas de controlo em parâmetros dimensionais e peso, bem como variáveis de produção, como temperatura e velocidade. Várias experiências foram executadas e através da análise das cartas de controlo foi possível determinar os parâmetros ótimos para minimizar a não conformidade mais frequente. Os resultados da implementação dos novos parâmetros de processo resultaram numa diminuição de não conformidades em cerca de 41%. Este estudo mostra a

potencialidade de aplicação de ferramentas de qualidade e *Six Sigma* para melhoria de desempenho de processos [42].

2.2.3 Cartas de controlo estatístico

As cartas de controlo estatístico representam uma amostra sequencial que revela a alteração de um processo devido a causas especiais de variação. São especialmente utilizadas no controlo de processos repetitivos em que é possível medir características (variáveis) ou itens (atributos). Permitem determinar se o processo está ou não em controlo estatístico e delinear ações para a melhoria de capacidade do processo [43].

A carta de controlo é constituída por uma linha média e limites de controlo que são determinados de acordo com a amostra selecionada. A linha média permite detetar tendências em relação a algum limite e os limites permitem determinar a dispersão da característica analisada.

Os limites de controlo, sendo que os valores analisados seguem uma distribuição aproximadamente normal, são calculados por:

$$LSC = \mu + 3\sigma \quad (2.1)$$

$$LC = \mu \quad (2.2)$$

$$LIC = \mu - 3\sigma \quad (2.3)$$

Sendo que:

μ - Média

σ - Desvio padrão da característica analisada

Os limites de controlo estão assim a três desvios-padrão da linha central. Significa que a probabilidade de um ponto estar entre os limites calculados é de 99,73%. Logo, quando encontramos um ponto fora dos limites de controlo, podemos atribuir a uma causa especial de variação. Existe apenas um erro de 0,27% de probabilidade de que uma medição encontrada fora dos limites de controlo pertença à distribuição estatística e não causado por uma causa especial [44].

Para classificar um processo sob controlo estatístico a distribuição dos valores recolhidos deve ser compreendida entre os limites de controlo superior e inferior. No entanto, existem outros casos onde é possível detetar tendências especiais e não comportamento aleatório como esperado. De acordo com a norma 7870-2:2013, as seguintes regras adotadas são usadas para analisar e detetar tendências especiais:

- Pontos fora dos limites de controlo;
- Nove pontos seguidos do mesmo lado da linha central;
- Seis pontos consecutivos no sentido ascendente ou descendente;
- Catorze pontos consecutivos crescendo e decrescendo alternadamente;

- Dois de três pontos consecutivos na entre $\pm 2\sigma$ e $\pm 3\sigma$ do mesmo lado da linha central;
- Quatro de cinco pontos consecutivos além de $\pm 1\sigma$ do mesmo lado da linha central
- Quinze pontos consecutivos dentro de $\pm 1\sigma$ acima e abaixo da linha central;
- Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha central além de $\pm 1\sigma$.

2.2.3.1 Tipos de cartas de controlo

Existem várias cartas de controlo disponíveis. A sua seleção depende das características do produto e parâmetros do processo que queremos controlar. Podemos considerar dois grandes grupos: cartas de controlo de variáveis e cartas de controlo de atributos. O processo de decisão da escolha da carta de controlo a utilizar que se encontra na Figura 9, contempla ainda a dimensão da amostra (n) [45].

- **Cartas de controlo de variáveis** são escolhidas quando as características a controlar podem ser expressas por uma escala quantitativa contínua, como é exemplo, distância ou peso. Nestas cartas, é controlada a centralidade e dispersão dos dados.
- **Cartas de atributos** são escolhidas quando não é possível expressar por uma escala quantitativa contínua as características a controlar, como é exemplo, contagem de defeitos. Estas cartas de controlo, são as mais adequadas para analisar globalmente o estado de qualidade de um processo.

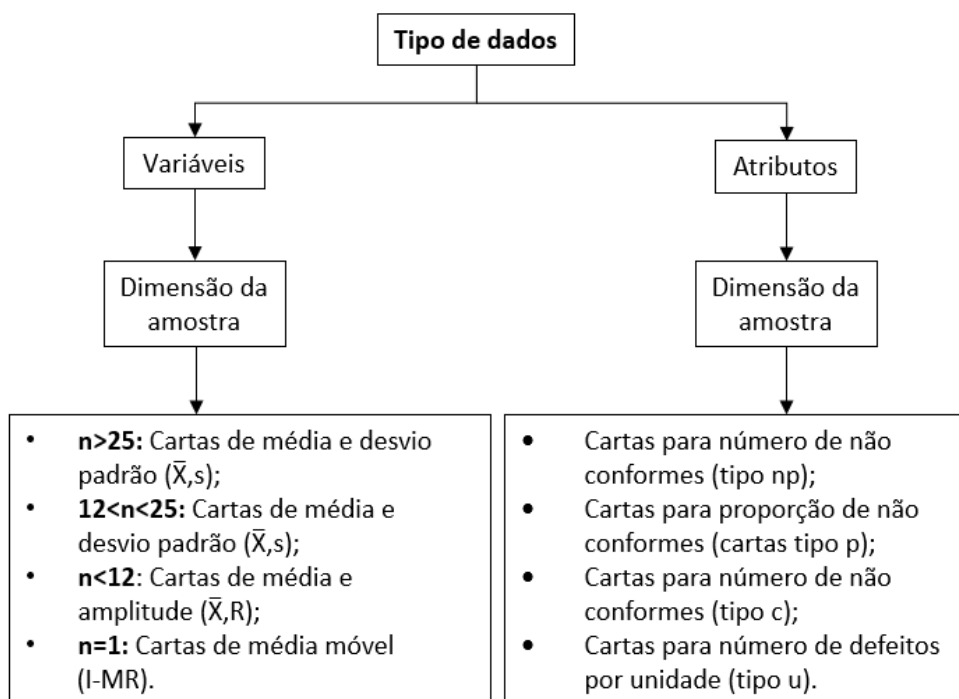


Figura 9 - Processo de decisão para escolha do tipo de carta de controlo

Habitualmente, para a construção de cartas de controlo de variáveis, são usadas entre 25 e 30 amostras com uma dimensão de 4 ou 5 medições. Alguns autores não

corroboram esta regra prática e sugerem que a dimensão da amostra não é suficiente para afirmar que os limites calculados são representativos do processo [44]. A regra seguinte pode ser adotada:

$$m \geq \frac{400}{(n-1)} \quad (2.4)$$

Sendo:

m – Número de amostras;

n – Tamanho da amostra.

2.2.3.2 Cartas de controlo de variáveis de valores individuais e amplitude móvel

Por vezes, não é possível obter amostragens com a dimensão mais desejado devido a condicionantes operacionais. Nesses casos, devem utilizar-se cartas de observações individuais e amplitude móvel (I-MR), utilizando observações individuais consecutivas [44]. A amplitude pode ser calculada através da diferença entre duas observações consecutivas, dadas por:

$$R = |X_2 - X_1|, |X_3 - X_2|, \dots, |X_m - X_{m-1}| \quad (2.5)$$

Os valores representativos da distribuição da média e desvio padrão são dados pelas equações 2.6 e 2.7:

$$\hat{\mu} = \bar{X} \quad (2.6)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.7)$$

O valor dos limites e linha central da carta são calculados por:

$$LSC_X = \bar{X} + \frac{3\bar{R}}{d_2} \quad (2.8)$$

$$LC_X = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m} \quad (2.9)$$

$$LIC_X = \bar{X} - \frac{3\bar{R}}{d_2} \quad (2.10)$$

O valor dos limites e linha central da carta são calculados por:

$$LSC_R = D_4 \times \bar{R} \quad (2.11)$$

$$LC_R = \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m-1} \quad (2.12)$$

$$LIC_R = D_3 \times \bar{R} \quad (2.13)$$

Os valores d_2 , D_3 e D_4 variam consoante o número de observações usadas, sendo estes tabelados.

2.2.4 Índices de capacidade do processo

O processo pode estar em controlo estatístico mas ainda assim não cumprir com os requisitos desejados. O índice C_p representa a capacidade do processo, ou seja, razão entre especificação definida para o parâmetro de qualidade e a dispersão das medições analisadas, sendo então o parâmetro utilizado para determinar o controlo de um processo de fabrico. De notar que este indicador não tem em conta a centragem das medições [43]. Quando lidamos com valores que seguem uma distribuição normal, podemos considerar a dispersão das medições 6σ , sendo que σ é o desvio padrão da característica analisada. Logo C_p é dado por:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (2.14)$$

Sendo que:

LSE – Limite superior de especificação/tolerância

LIE – Limite inferior de especificação/tolerância

O valor de $C_p = 1,33$ é considerado o valor comumente aceitável pela indústria. O índice C_{pk} representa a capacidade do processo, tendo em conta a centragem da média ao valor desejado. O cálculo deste índice é dado por:

$$C_{pk} = \text{Min} \left(\frac{LSE - X}{6\sigma}; \frac{X - LIE}{6\sigma} \right) \quad (2.15)$$

A interpretação dos índices pode ser consultada na Tabela 7. Em resumo, valores de C_p e C_{pk} devem ser tão altos quanto possível traduzindo assim um processo dentro de controlo e com média centrada no valor alvo. Valores entre 1 e 1,33 revelam que o equipamento pode cumprir a especificação se não houver descentramentos. Por fim, abaixo de 1 os índices revelam falta de capacidade da máquina.

Tabela 7 - Possíveis conclusões pela análise de índices de capacidade do processo.

C_p	C_{pk}	Conclusão	Ações recomendadas
$C_p > 1,33$	$C_{pk} < 1,33$	Capacidade adequada	Controlar ativamente o processo
$C_p > 1,33$	$C_{pk} < 1,33$	Medições descentradas	Alinhamento de máquinas Correção do descentramento
$1 < C_p < 1,33$	$1 < C_{pk} < 1,33$	Necessita de intervenções	Investigar causas Melhorar índices até 1,33
$0 < C_p < 1$	$0 < C_{pk} < 1$	Falta de capacidade da máquina	Melhorar o processo

2.3 Alinhamento de máquinas industriais

2.3.1 Princípios básicos de alinhamento

Quando nos referimos a alinhamento na área de mecânica, geralmente falamos de uma relação de posicionamento entre dois componentes mecânicos. Podemos caracterizar o posicionamento de um objeto através de graus de liberdade. Qualquer objeto livre no espaço possui seis graus de liberdade, que podem ser visualizados na Figura 10.

Através de graus de liberdade e coordenadas cartesianas, é possível descrever a relação entre objetos. Se descrevermos centros de dois objetos com coordenadas cartesianas, conseguimos através de matemática e geometria calcular a relação entre os mesmos. No entanto, um centro de um objeto não é prático de se usar como ponto de medição.

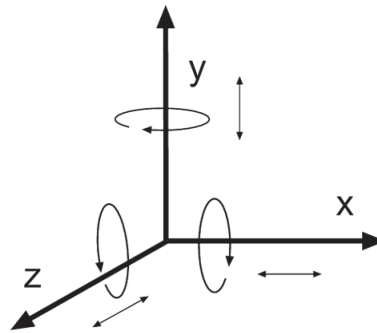


Figura 10 - Seis graus de liberdade de um objeto.

A solução passa por escolher atributos do objeto que possam ser medidos na prática e descritos como um ponto simples. Este conceito permite determinar pontos através de medições mais complexas. Por exemplo, um círculo descreve um ponto central, um cilindro, um eixo entre dois pontos e a interseção de três planos, um ponto. Se uma série de objetos puderem ser descritos com pontos relativamente a uma referência comum podemos caracterizar o alinhamento entre os mesmos.

Em termos práticos, existem dois alinhamentos que precisamos de ter em conta. O objeto necessita ser localizado relativamente a outro e com um ângulo específico entre eles. Podemos generalizar em duas categorias comuns de alinhamento: paralelismo e perpendicularidade. Em ambos os casos, a componente a ser alinhada pode ser descrita com pontos de coordenadas e a posição relativa a uma referência.

A forma como são realmente recolhidas as medições necessárias dos objetos podem variar significativamente, dependendo da aplicação. No entanto, com instrumentos próprios e algum conhecimento da máquina, quase tudo pode ser alinhado [46].

2.3.1.1 Porquê alinhar uma máquina industrial?

A maioria dos sistemas mecânicos são dinâmicos e constantemente sujeitos a vibração, desgaste, cargas operacionais e impactos. Estes estímulos podem continuamente modificar as condições de alinhamento entre componentes de uma máquina industrial. Para investigar causas de modificação de desempenho, é extremamente benéfica a criação de um histórico completo de alinhamentos executados. O alinhamento de máquinas deve fazer parte da manutenção preventiva. Uma máquina bem alinhada beneficia de inúmeros aspetos mecânicos e de processo [47].

2.3.1.2 Alinhamentos mais comuns na indústria

Na indústria, a necessidade de alinhamentos de máquinas atinge vários setores e graus de importância. Uma das aplicações mais comuns é o alinhamento entre eixos, representado na Figura 11, normalmente encontrados na ligação entre máquinas rotativas, como bombas ou motores e veios acionados. A coaxialidade destes componentes deve ser o mais perfeita possível na instalação e mantido o estado de alinhamento ao longo do tempo, especialmente numa ligação rígida que quando exposta a desalinhamentos está extremamente sujeita a falha por fadiga devido ao número elevado de ciclos. Mesmo existindo acoplamentos mais flexíveis que reduzem a necessidade de alinhamentos tão precisos, os melhores alinhamentos prolongam a vida de um acoplamento [47].

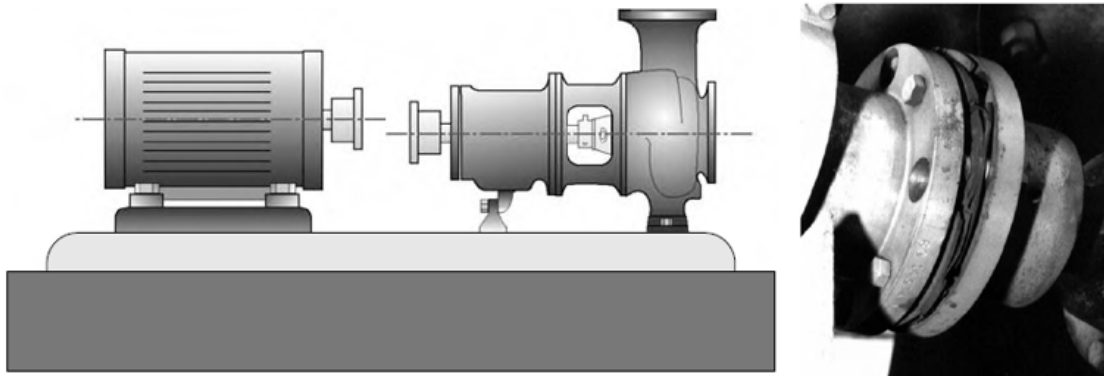


Figura 11 - Exemplo de alinhamento de eixos: a) Esquema representativo de desalinhamento, b) Caso real de falha mecânica por falta de alinhamento entre eixos [47].

Os desalinhamentos vão lentamente danificando os componentes da máquina ao longo de largos períodos. Algumas das consequências de alinhamentos defeituosos são descritas em seguida:

- Falha prematura de rolamentos, veios, acoplamentos e vedações;
- Elevadas temperaturas junto a rolamentos;
- Excessivo vazamento de lubrificante junto a rolamentos;
- Sinais de desgaste prematuro em componentes como acoplamentos;
- Parafusos soltos ou danificados junto a acoplamentos;

Outra das aplicações mais vistas é no alinhamento de rolos (Figura 12). Muitos processos de fabrico usam mecanismos com rolos para guiar o produto ao longo da máquina, como é o caso da indústria do papel. O paralelismo entre rolos é essencial para a estabilidade e qualidade do produto. Os rolos podem ser alinhados paralelamente através de diferentes métodos, incluindo mecânicos, óticos e *lasers* [46].

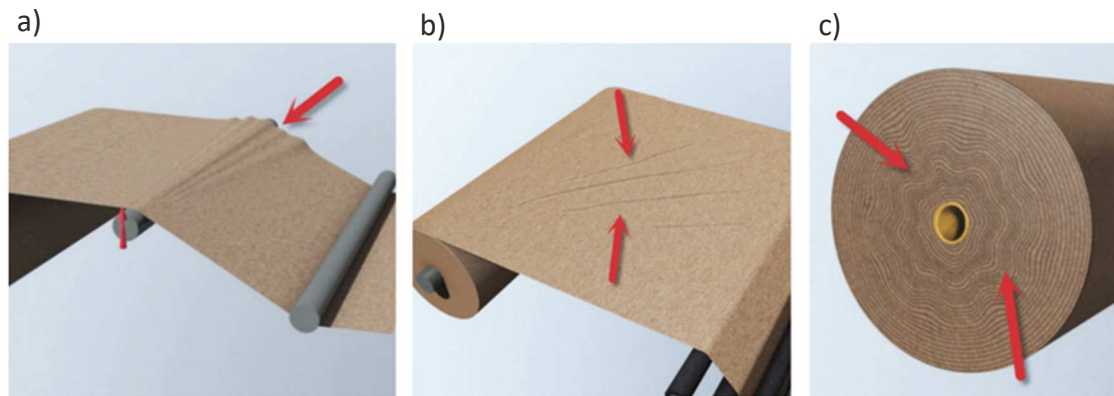


Figura 12 - Defeitos típicos resultantes de falha de alinhamento entre rolos: a) falha nas bordas, b) rugas, c) enrolamento defeituoso [48].

Muitos outros exemplos de aplicação poderiam ser aprofundados, tais como:

- Turbinas, bombas e compressores;
- Equipamentos de maquinagem;
- Gabaritos.

2.3.2 Medição tradicional ou manual

O alinhamento manual é a abordagem tradicional, ou seja, a que normalmente é utilizada. Este método depende de técnicos que medem, através de várias ferramentas comuns como réguas, esquadro e fita-métrica, uma variedade de medições. Essas medições são utilizadas para avaliar o posicionamento de certos componentes e também para calcular possíveis alinhamentos que sejam necessários efetuar.

A abordagem manual no alinhamento de máquinas industriais oferece uma solução económica. No entanto, é um método com baixa precisão e poderá ainda resultar em tempos de paragem superiores a métodos mais modernos. De salientar ainda que este método é muito suscetível a erro humano [49].

2.3.2.1 Instrumentos de medição tradicional

As tarefas de medição de distâncias com precisão é um desafio antigo. Atualmente, com a ajuda de instrumentos de precisão, conseguimos medir distâncias de micrómetros até centenas de metros. Para selecionar o instrumento de medição mais indicado, é importante entender como estes funcionam. Uma das maiores causas de confusão e falta de precisão está relacionada com a falta de conhecimento técnico do instrumento a ser utilizado [47].

Os instrumentos básicos de medição mecânicos são os seguintes:

- Fita-métrica e réguas;
- Calibradores;
- Paquímetro;
- Micrómetro;
- Comparador.

Fita-métrica e réguas são tipicamente usadas para medir distâncias ou verificar alinhamento através da aresta retificada de uma régua. É importante ter em conta que, usualmente, a graduação destes instrumentos permite medir na escala dos milímetros, sendo que a dimensão mais pequena que o humano consegue distinguir através de observação a “olho nu” é também o milímetro [47].

Calibradores de folgas são pequenas secções de metal com diferentes espessuras. São usadas para medir pequenas folgas na ordem das centésimas de milímetro [47].

Os comparadores (Figura 13) são provavelmente os instrumentos mais universais de metrologia utilizados em inspeções básicas, verificações ou atividades de alinhamento. Em particular o comparador com mecanismo de êmbolo, é definido como um instrumento com um ponto de contacto com ligação a um fuso e engrenagens que movem um ponteiro num mostrador. Os mostradores dos comparadores têm várias graduações que ampliam a escala de diferentes medições lineares. Usualmente, para qualquer medição, um comparador deve ser selecionado tendo idealmente uma variação mínima de êmbolo de aproximadamente 2,5 mm e, no mínimo, uma precisão de 0,001 mm de divisão [50].



Figura 13 - a) Comparador analógico; b) Comparador digital

Se estivermos a falar num dispositivo analógico, o movimento do ponteiro deve ser observado para evitar confusões na leitura de medições [50]. Comparadores são usualmente disponibilizados com sistemas de montagem, de modo a oferecer a montagem de um ou vários comparadores. Por vezes, dependendo dos componentes a serem alinhados, certas modificações ou extensões podem ser necessárias para realização das medições. Dependendo da dimensão da extensão necessária para montagem do fixador magnético, há deflexão devido ao peso próprio do sistema de

montagem. Para evitar erros de medição é extremamente importante calcular a potencial deflexão de toda a montagem do comparador [50]. Problemas típicos associados a comparadores mecânicos, podem incluir:

- Erros causados por incoerências que são amplificadas através do conjunto de engrenagens;
- Problemas associados a fricção, que podem resultar em redução de precisão;
- Erros residuais do dispositivo;
- Histerese causada por flexão, tensão axial, inercia, fricção, ou esforços conjugados.

2.3.3 Medição com sistemas óticos

Nível ou plano horizontal é um plano imaginário tangente ao planeta em qualquer ponto. Devido à gravidade exercida pela Terra, que é normal à sua curvatura, o plano horizontal pode ser determinado por vários métodos. Uma das formas mais eficientes de determinar inclinação é através de instrumentos que usam colunas de água. Através de uma bolha de ar possibilitam a interpretação da condição de nivelamento de uma superfície. Outras formas de medição do plano horizontal envolvem pêndulos, instrumentos eletrônicos e níveis óticos.

O nível ótico é usualmente usado na indústria para medição da elevação entre pontos, usando o plano horizontal da Terra como uma referência, permitindo a medição entre instrumentos e posições.

Plano horizontal é uma referência universal que é consistente por toda a máquina. Muitas vezes, é mais fácil e rápido basear uma medição de um componente em outro adjacente. Quando o paralelismo desses dois componentes é essencial a medição relativa é adequada. No entanto, quando toda a máquina industrial é considerada, basear o alinhamento de várias medições em componentes adjacentes, pode levar a acumulação de erros [46].

2.3.3.1 Instrumentos de medição óticos

Instrumentos de alinhamento óticos consistem em dispositivos que combinam telescópios de baixo alcance com níveis de bolha de alta precisão e micrómetros óticos para determinar elevações com precisão [47].

Estes instrumentos possuem precisão na ordem das centésimas de milímetro, que é obtida através do alinhamento da mira, usando um dispositivo de nivelamento montado no telescópio. A medição é efetuada através de alvos que são posicionados nos locais de medição, através de bases magnéticas. O ajuste do micrómetro é usado para alinhar as marcações com as linhas do alvo. Quando alinhado, a leitura é efetuada tendo em conta a posição das marcações no alvo e na posição angular do micrómetro, que pode ser lida através de uma escala [47]. Um esquema de funcionamento de um instrumento com estas características pode ser visto na Figura 14.

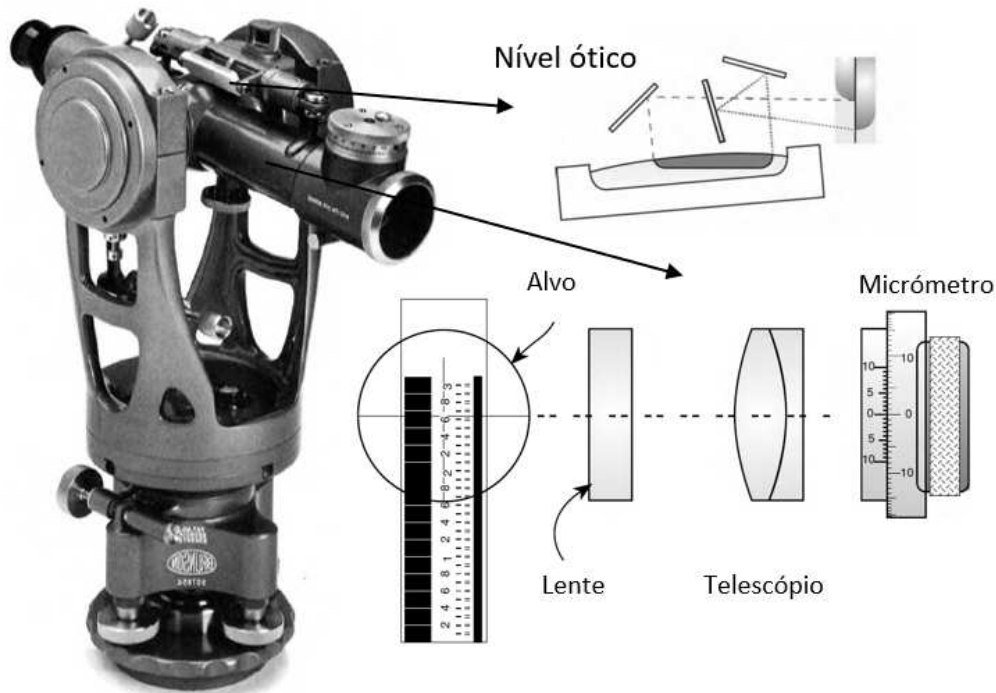


Figura 14 - Esquema de funcionamento de um nível óptico, adaptado de [47].

2.3.4 Medição com sistemas eletrônicos

Lasers ou outros sistemas eletrônicos são também usados para medição e alinhamento. Alguns podem ser fixos permanentemente e realizar monitorização contínua, como é o caso de *encoders* que monitorizam a posição angular de um motor. Outros equipamentos, como *lasers trackers*, usam rastreamento a *laser* e *software* para medição de coordenadas com precisão elevada. O uso destes instrumentos de medição pode ser mais rápido e confiável do que os métodos de alinhamento manuais. Além de inspeção e alinhamento, dispositivos de medição a *laser* podem ser úteis na instalação inicial da máquina com bastante precisão [49].

2.3.4.1 Instrumentos de medição eletrônicos

Os instrumentos básicos de medição eletrônicos são os seguintes:

- Sensores de proximidade;
- *Encoders* ou codificadores;
- *Lasers* e detetores;

Sensores de proximidade são sensores de deslocamento usados para monitorizar sobretudo vibração em máquinas rotativas como motores, turbinas e compressores. Movimentos do veio no rolamento são monitorizados, podendo revelar problemas de falta de balanceamento, desalinhamento, desgaste e estado de lubrificação. Acelerómetros também podem ser usados para o mesmo objetivo [51].

Encoders ou codificadores são dispositivos eletromecânicos usados frequentemente para medir velocidade ou posição de veios. O seu funcionamento baseia-se num disco com várias ranhuras, uma fonte de luz que aponta para o disco e, por fim, um detetor de luz que permite fazer a contagem das ranhuras e assim calcular a posição e velocidade da rotação [47].

Tecnologias de elevada precisão passam pela calibração usando sistemas de medição a *laser* especialmente idealizado para esse propósito. As propriedades físicas características de *lasers* permitem uma vasta gama de medição e precisão [50]. Existem vários sensores de medição de distâncias com diferentes princípios de funcionamento. Interferométricos comportam um largo conjunto de aplicações possíveis. Com estes, é possível medir não só distância, mas também outros parâmetros como inclinação rotação, planeza, paralelismo e perpendicularidade. Sensores de medição com o princípio de triangulação, são desenvolvidos para várias aplicações em controlo de processo e qualidade [52].

Os instrumentos de medição descritos são normalmente usados para monitorização contínua das condições da máquina ou qualidade do produto. Para aplicações de inspeção e recolha de várias medições, não são uma escolha versátil. Sistemas de grandes dimensões podem requerer outras soluções. Diferentes tecnologias como *laser trackers*, CMM (*coordinate measuring machine*) e sistemas de medição com recurso a *scanners*, podem ser usados para estas aplicações. *Large scale metrology* (LSM), define equipamentos de medição que são usados em processos para inspeção geométrica, com objetos a variar de 1 metro até 100 metros em dimensão linear. Sistemas de medição para aplicações de grande escala podem ser divididos em sistemas centralizados e distribuídos (Figura 15). Um sistema centralizado consiste num instrumento que consegue, independentemente, medir coordenadas de um ponto num objeto. Instrumentos distribuídos, consistem em várias unidades separadas que recolhem informação e, depois de processada, consegue determinar coordenadas de um ponto [53].

De salientar que a escolha de um destes sistemas deve ser considerada com cautela. Mesmo com o bom nível de desempenho e a facilidade de uso, é necessário considerar os possíveis problemas técnicos. Características de superfície, condições do ambiente, bem como o custo de implementação, são alguns dos fatores que é importante ter em consideração [53].

CMM são usadas quando se pretende minimizar a incerteza o máximo possível. Normalmente, são usadas em laboratórios de metrologia. Porém, máquinas de maiores dimensões podem chegar a volumes de trabalho de 4 m x 11 m x 3,5 m, com erros associados na ordem do micrómetro. Podem funcionar através de medição por toque de sonda ou equipados com *lasers*. A grande desvantagem de sistemas mecânicos como os CMMs são os volumes de trabalhos disponíveis. Leis fundamentais de redimensionamento de estruturas mecânicas referem que quando maiores as

distâncias, maior a massa sendo necessárias tolerância mais rígidas, o que se torna impraticável. Avanços na tecnologia levaram ao uso de braços de medição com o mesmo princípio, menos precisos, mas portáteis, como podemos ver na Figura 16.

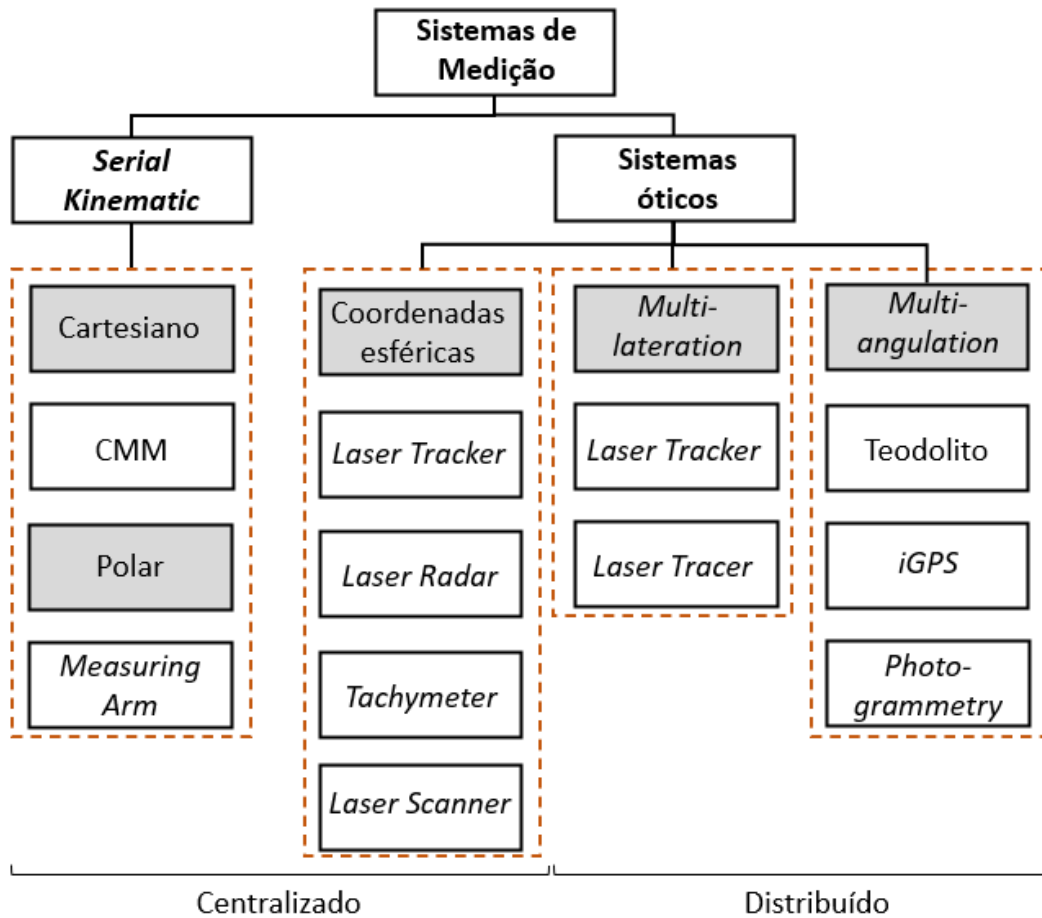


Figura 15 - Classificação de metrologia de larga escala [53]

Sistemas *laser trackers* são uma combinação de duas tecnologias, um sensor *laser* de medição de distância e codificadores que medem a posição angular dos seus eixos. O sistema emite um feixe *laser* de baixa intensidade em direção a um alvo refletor que pode ser fixo na máquina, ou apenas posicionado momentaneamente. A luz é refletida de novo em direção ao sistema, onde um detetor de luz analisa e mede a distância absoluta entre o dispositivo e o alvo refletor. Coordenadas polares são transformadas em cartesianas e em características geométricas como pontos, planos e eixos. Com a análise destas características geométricas podemos avaliar posicionamento, paralelismo, perpendicularidade, concentricidade, entre outras relações de alinhamento. Tipicamente, estes dados são apresentados instantaneamente, permitindo comparação imediata dos dados recolhidos. Leica T-probe, API IntelliProbes e Trackers da Faro (Figura 16) são três aparelhos disponibilizados no mercado [41,44].



Figura 16 - a) Faro Laser trackers; b) CMM portátil Faro

Uma das grandes desvantagens destes sistemas são limitações impostas pela ocultação, isto é, o sistema apenas opera em linha de visão. Logo, se houverem obstáculos, é necessário configurar o posicionamento do sistema [50].

2.3.5 Alinhamento de máquinas em fabricantes de pneus

Como vimos no capítulo 2.3.1.2, existe a necessidade de alinhamento de máquinas em vários setores da indústria. A indústria automóvel, e em concreto o fabrico de pneus, não é exceção. A garantia de pneus seguros e com qualidade implica máquinas a operar com altos padrões de desempenho. A inspeção e alinhamento de máquinas como parte de planos de manutenção regular, representa uma oportunidade para garantir esses padrões. Ao longo de todo o processo de fabrico de um pneu, da preparação da borracha até às prensas de vulcanização, existem máquinas que podem beneficiar de inspeções e alinhamento, os quais são descritos na Tabela 8.

Tabela 8 - Máquinas ao longo do processo produtivo de pneus

Máquina	Descrição
Misturadoras	O processo começa com matérias-primas como borracha natural e vários produtos químicos. Os componentes rotativos destas máquinas podem ser inspecionados.
Extrusoras	Durante o processo de extrusão, calor e pressão são aplicados ao composto de borracha. Nesta máquina, o alinhamento do parafuso de extrusão deve estar devidamente centrado com o eixo axial da caixa de engrenagens. Falta de alinhamento pode provocar desgaste no parafuso ou tambor e, conseqüentemente, falhas na produção, mistura inadequada, entre outros problemas.
Calandras	Rugas e quebras no material podem ser reduzidas com rolos alinhados adequadamente. Nas calandras, são produzidas camadas de borracha com espessuras específicas por calandragem. A borracha é esmagada entre rolos que lhes conferem a espessura.

	<p>Por vezes, também podem ser inseridos fios de tecido ou arame durante este processo.</p> <p>Os rolos devem estar alinhados horizontalmente e paralelos entre si. O alinhamento desta máquina também promove aumento de vida dos rolamentos e outras peças mecânicas.</p>
Máquinas de construção	<p>Nestas máquinas, são colocados num tambor rotativo os vários componentes constituintes de um pneu. Os alinhamentos dos tambores de construção com os alimentadores de componentes são essenciais para evitar pneus não conformes. O alinhamento destas máquinas é mais crítico durante a instalação, no entanto, deve ser observada a deterioração do estado de alinhamento.</p>
Prensas de vulcanização	<p>Etapa onde os pneus “em verde” são vulcanizados. Uma prensa com um molde através de calor e alta pressão conferem a forma final de um pneu. O alinhamento entre ambas as partes da prensa são extremamente importantes para a qualidade do produto final e longevidade da máquina. No caso de haver mecanismos automáticos de carregamento de pneu, também são um ponto crítico de alinhamento.</p>

Os processos de fabrico de pneus podem tornar-se mais eficientes e confiáveis quando as máquinas são submetidas a inspeções e alinhamento, especialmente quando integrados no planeamento de manutenção. Espera-se aumento de qualidade do produto final e menos desperdício devido a produto final não conforme com as especificações [54].

Problema, Desenvolvimento e Resultados

- 3.1 Caracterização da empresa
- 3.2 Enquadramento do projeto
- 3.3 Caracterização do estado inicial e propostas de melhoria
 - 3.4 Intervenção na manutenção preventiva
 - 3.5 Intervenção no procedimento MTC

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Caracterização da empresa

A Continental Mabor faz parte da Continental AG, que foi fundada em Hannover (Alemanha), em outubro de 1871. Na sua origem, fabricava artefactos de borracha flexível e pneus para carruagens e bicicletas. Em 1898, iniciou a produção de pneus lisos para automóveis. A partir de então, acompanha a evolução na indústria automóvel, com o estudo e aplicação de técnicas, produtos e outras inovações.

O grupo Continental tem várias fábricas de produção de pneus, assim como centros de desenvolvimento e pistas de testes. Atualmente, o grupo consiste em 269 fábricas de produção, investigação e desenvolvimento em 46 países. Em Portugal, o grupo continental está presente em 7 empresas: Continental Mabor, Continental Pneus, Indústria Têxtil do Ave, Continental Teves, Continental Lemmer, Continental Engineering Services e a Continental Advanced Antenna.

A Continental Mabor, localizada em Lousado, Vila Nova de Famalicão, nasceu em dezembro de 1989, como empresa ligada à indústria de pneus. O seu nome provém da união de duas empresas de renome na manufatura da borracha, a Mabor (Manufatura Nacional de Borracha, S.A) e a Continental AG.

A produção da empresa é muito variada, inclui no seu portefólio pneus destinados a SUV's (*Sport Utility Vehicles*), pneus de alto desempenho, ContiSeal (tecnologia anti furo), ContiSilent (tecnologia de baixo ruído) e *off-the-road* para máquinas agrícolas e de indústria mineira. A sua gama de fabrico inclui pneus de vários tamanhos de jante e produz atualmente uma média diária de cerca de 60.000 pneus. Mais de 98% da sua produção segue para o mercado externo, sobretudo distribuído pelas diversas linhas de montagem das mais prestigiadas marcas de fabricantes automóveis.

A empresa Continental Mabor é caracterizada pelo seu sucesso e qualidade de desempenho. Em 2017 foram produzidos mais de 18 milhões de unidades, tendo sido considerada uma das fábricas mais eficientes do grupo [55]. A empresa ganhou o prémio de qualidade de desempenho do grupo entre os anos de 2013 a 2017. Além disso, o investimento nesta fábrica tem sido contínuo, levando à expansão de setores já existentes e novos setores.

3.1.1 Setor CST (Commercial Specialty Tires)

Em 2017, foi inaugurado o setor da empresa designado CST (*Commercial Specialty Tires*). Este setor consiste numa linha de fabrico de pneus agrícolas e de outras máquinas

industriais. Estes possuem dimensões e tecnologia distinta dos pneus para veículos ligeiros já produzidos na Continental Mabor [56]. Alguns exemplos de pneus produzidos neste setor podem ser vistos na Figura 17. Em paralelo, foi construído um centro de testes onde a equipa de investigação e desenvolvimento da Continental Mabor, avalia o desempenho e qualidade dos pneus produzidos [55].

Segundo Thorsten Bublitz, responsável pelo segmento de negócio de pneus agrícolas na Continental, “Devido ao crescimento contínuo da população mundial e à necessidade crescente de produção agrícola, está a aumentar o número de operações em grande escala e, conseqüentemente, a procura de pneus eficientes para agricultura”. O parque estimado de pneus agrícolas é superior a 460 mil pneus em Portugal, sendo o tempo médio de vida útil cerca de 15 anos.



Figura 17 - Pneus produzidos no setor CST [57]

Os pneus fabricados são especificamente desenvolvidos para utilização combinada em estrada e fora de estrada. A carcaça flexível e amplitude de pressão de ar permitem mais velocidade na estrada e resistir a condições agressivas fora de estrada [57]. Recentemente, a Continental lançou um novo pneu agrícola híbrido e inteligente. Consiste num pneu com sensores inteligentes para monitorização digital de pneus, oferecendo controlo sobre o desempenho do pneu para maximizar eficiência e reduzir compactação do solo [58]. Esta inovação demonstra bem o espírito inovador do grupo Continental. Segundo Pedro Carreira, presidente do conselho de administração da Continental Mabor: “Lousado é a única fábrica no Grupo Continental a produzir estes produtos e das mais avançadas de toda a indústria de pneus agrícolas”.

3.1.2 Constituição de um pneu

Para melhor entendimento das operações necessárias à produção de um pneu OTR, segue-se a explicação da composição do mesmo. Podemos dividir um pneu em três secções principais:

- **Carcaça:** secção mais interior do pneu, constituída por uma camada interior e vários componentes de borracha e talões;
- **Conjunto de cintas:** secção intermédia que tem como função dar resistência, constituída por cintas metálicas ou têxteis impregnadas de borracha;
- **Piso:** Secção mais exterior, tem como objetivo suportar o desgaste causado pelo rolamento e obtenção da forma ideal para a mais indicada pegada no terreno, autolimpeza e tração.

A Figura 18 evidencia duas particularidades inovadoras que a Continental desenvolveu na produção dos seus pneus: talões produzidos por um único fio metálico que permitem maior resistência ao longo do tempo e melhor montagem. Outra inovação diz respeito ao material da carcaça, com patente pendente, suficientemente flexível para absorver o impacto e regressar à sua forma original sem deformação [57].

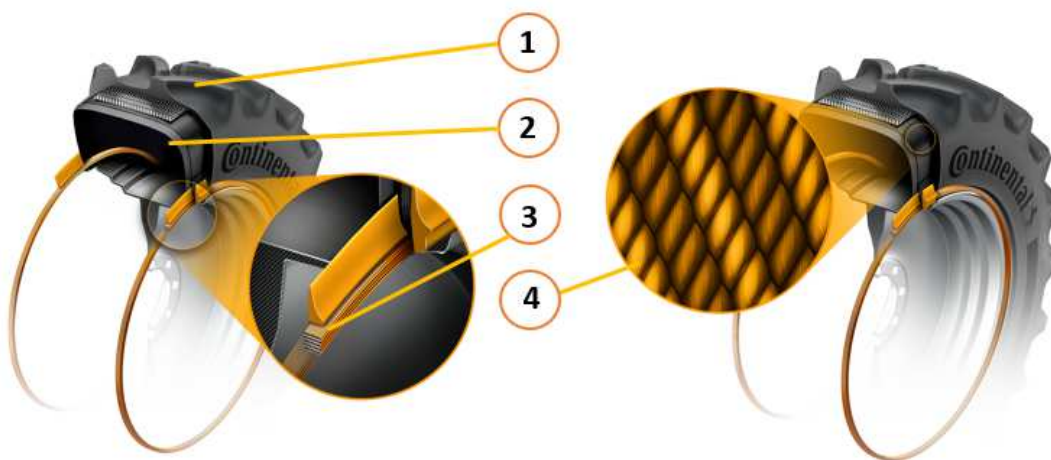


Figura 18 - Pneus *off-the-road* para máquinas agrícolas: 1) Piso, 2) Carcaça, 3) Talões, 4) Conjunto de cintas.

3.1.3 Fases do processo produtivo

O processo produtivo da Continental Mabor está dividido em cinco fases principais. As fases do processo produtivo encontram-se representadas na Figura 19.

Devido às características do produto, existem dois processos produtivos que apenas partilham em comum a primeira fase de misturação. O setor CST contém estações de trabalho e máquinas de todas as fases, à exceção da fase de misturação.

**Fase I: Misturação**

É o início do processo produtivo, onde são misturados todos os compostos (borracha, pigmentos, óleo mineral, sílica, negro de fumo entre outros) para que, depois de extrusão a borracha possa passar para a fase seguinte.

**Fase II - Preparação:**

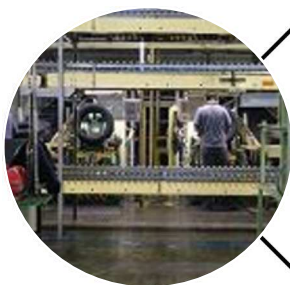
Nesta fase são feitos vários componentes do pneu como talões, perfis, cintas têxteis e cintas metálicas. As extrusoras, as calandras e as máquinas de corte são responsáveis pela preparação destes materiais, que seguem depois em carros de transporte para a área de construção.

**Fase III - Construção:**

Todos os produtos fabricados nas etapas anteriores são aqui montados, ficando pronto o “pneu em verde” ou esboço. São utilizadas as máquinas de construção que juntam os vários componentes previamente preparados.

**Fase IV - Vulcanização:**

Nesta fase, o pneu é submetido a elevadas temperaturas e pressão em prensas, onde os moldes dão o aspecto final ao pneu.

**Fase V - Inspeção Final:**

São feitas as verificações e testes para garantir todos os requisitos de qualidade do pneu. Depois desta fase, os pneus seguem para o armazém de produto acabado

Figura 19 - Fases do processo produtivo de produção de pneus.

3.2 Enquadramento do projeto

3.2.1 Problemas sentidos

Este projeto surgiu de várias necessidades de um departamento de engenharia no setor CST. Este departamento de engenharia tem como principal responsabilidade a instalação de novas máquinas e efetuar manutenção planeada e corretiva para maximizar disponibilidade para produção.

Atualmente, não estão definidos procedimentos de manutenção em várias máquinas do setor, devido à sua recente implementação, nomeadamente nas máquinas de construção OTR. Logo, pretende-se a elaboração de procedimentos de manutenção preventiva que minimizem intervenções corretivas.

Além dos procedimentos de manutenção preventiva existem intervenções das equipas de manutenção, de modo a realizar verificações de tolerâncias das máquinas de construção, designadas por MTC (*Machine tolerance check*). Estes procedimentos são exigidos para manter a qualidade do produto fabricado. No entanto, o procedimento atual é muito longo, levando a que se registem perdas de capacidade produtiva significativas. Atualmente, a realização do procedimento MTC tem um tempo de execução de 3 dias e a obrigatoriedade de serem executados em cada 26 semanas.

3.2.2 Necessidade de resolução

O setor CST encontra-se em expansão, através da instalação de novas máquinas de construção. Pode-se dizer que o setor CST se encontra numa fase de *ramp-up*, ou seja, a máxima capacidade de produção possível ainda não foi atingida. O processo ainda se encontra em estabilização, através de ajustes em parâmetros do processo e qualidade. A capacidade máxima de produção é projetada para 2024, onde quatro máquinas de construção serão responsáveis por produzir cerca de 40 000 pneus anualmente, como podemos verificar na Tabela 9.

Tabela 9 - Aspetos de produção das máquinas de construção OTR

OTR	2020	2021	2022	2023	2024
Quantidade de máquinas	2	4	4	4	4
Ciclo médio de produção (min.)	65	61	61	61	61
Volume de produção anual (uni.)	7000	16 000	25 000	33 000	40 000

Existe um grande desafio proposto às equipas de engenharia associadas a esta expansão do setor. Por um lado, é necessário garantir a qualidade da produção garantindo que as

máquinas são instaladas na melhor das condições possíveis, sendo necessário também manter essas condições ao longo do tempo, através do planeamento adequado de manutenção. Por outro lado, é necessário garantir a disponibilidade de máquina para produção, garantindo que seja possível atingir as metas de capacidade projetadas para 2024.

As intervenções preventivas têm impacto na disponibilidade das máquinas, já que são paragens planeadas. Contudo, influenciam diretamente a prevenção de avarias. Existe necessidade de elaborar procedimentos de manutenção com o objetivo de reduzir avarias. Existe atualmente cerca de 44% de tempo em perdas. Estas contabilizam perdas por manutenção planeada, paragens para refeições, desenvolvimento do produto (pneus de teste), trocas de ferramentas, entre outras perdas associadas, valor que é esperado que diminua com a estabilização da produção nos próximos anos e redução de troca de ferramentas.

As perdas de capacidade produtiva provocadas pela realização de MTC representam 2% de perda de capacidade nas máquinas de construção OTR. Estas impedem que as metas projetadas para 2024 sejam atingidas, já que representam mais de 500 pneus que não são fabricados anualmente. Na Tabela 10, podemos observar as perdas associadas à execução dos procedimentos MTC. A melhoria do procedimento, ao diminuir o tempo de execução de modo a maximizar a disponibilidade da máquina para produção, pode levar a ganhos que justificam o investimento neste projeto.

Tabela 10 - Perdas produtivas associadas à realização do procedimento MTC

OTR	2020	2021	2022	2023	2024
Número de pneus não produzidos	-200	-500	-500	-500	-500
Perdas monetárias por mão de obra	2 000 €	3 700 €	3 700 €	3 700 €	3 700 €
Perdas monetárias por paragem de máquina	5 000 €	9 500 €	9 500 €	9 500 €	9 500 €
Total	7 000 €	13 200 €	13 200 €	13 200 €	13 200 €

No entanto, é importante ter em conta que a natureza deste procedimento é uma necessidade imposta pelo departamento de qualidade, com a intenção de garantir um produto conforme com as especificações exigidas. A realização de MTC garante que

defeitos como desvios de massa (pneu desequilibrado), imperfeições visuais, entre outros defeitos, não tenham sido provocadas por desafinações na máquina. Estes defeitos provocam a necessidade de trabalho adicional no pneu, de modo a tornar possível a sua comercialização. A ambição do departamento de qualidade é garantir o mínimo de defeitos possível. O MTC representa então uma ferramenta importante para a procura de causas das imperfeições encontradas. Existe necessidade de compatibilizar a execução do procedimento MTC nas máquinas de construção OTR, minimizando o seu impacto na capacidade produtiva e mantendo a correta execução do mesmo.

3.3 Caracterização do estado inicial e propostas de melhoria

3.3.1 Manutenção Preventiva

A máquina objeto de estudo foi colocada em funcionamento recentemente, como tal, não existem procedimentos de manutenção preventiva implementada. Contudo, o fabricante da máquina forneceu informação relativa à manutenção. Esta informação é bastante extensa e minuciosa, pelo que deve ser estudada antes de qualquer implementação. A manutenção da máquina contém três áreas distintas:

- **Mecânica:** Verificação do funcionamento da máquina. Limpeza de guias, tambores e sistemas de transferência. Regulação de tensão de transportadores. Limpeza de máquinas de corte. Verificação de folgas e empeno. Lubrificação de componentes como rolamentos e chumaceiras.
- **Pneumática:** Regular as pressões de serviço dos vários componentes pneumáticos. Limpeza de filtros.
- **Elétrica:** Verificação de máquinas de segurança. *Backup* de informação. Limpeza de cabinas de controladores.

As ações de manutenção preventiva realizadas evidenciam a ausência de método de trabalho por parte dos técnicos de manutenção. Estes realizam ações com base na sua experiência, ao invés das indicações do fabricante ou procedimentos de trabalho.

A manutenção preventiva é benéfica a longo prazo na prevenção de avarias catastróficas ou em avarias frequentes que afetam a produtividade da máquina. No entanto, a manutenção preventiva impõe paragens. Algumas intervenções sugeridas pelo fabricante são pertinentes ou até essenciais, como lubrificação de componentes. Outras têm menos prioridade, como verificação manual de funcionamento de todos os sistemas. Verificar o funcionamento de certos componentes pode ser feito através de manutenção nível um, ou seja, diariamente pelo operador da máquina, sem necessidade de proceder a paragens e técnicos especializados. Para que fosse possível identificar o tipo de componentes mais críticos, procedeu-se a uma análise do histórico de avarias desde a instalação da máquina.

3.3.1.1 Tratamento de dados do histórico

A máquina objeto de estudo, contém um sistema informático que regista avarias. Essas avarias são categorizadas em zona de incidência e descritas por um técnico assim que a avaria é resolvida. A informação contida na base de dados sobre o último ano de funcionamento até à data, foram exportados para um ficheiro MS Excel®, de modo a serem analisados. Para ser perceptível a frequência e impacto das diferentes avarias que ocorreram, recorreu-se à disposição dos dados num diagrama de Pareto, tendo sido então possível categorizar as avarias. O diagrama de Pareto obtido encontra-se na Figura 20, representando as avarias com mais impacto em tempo perdido (minutos).

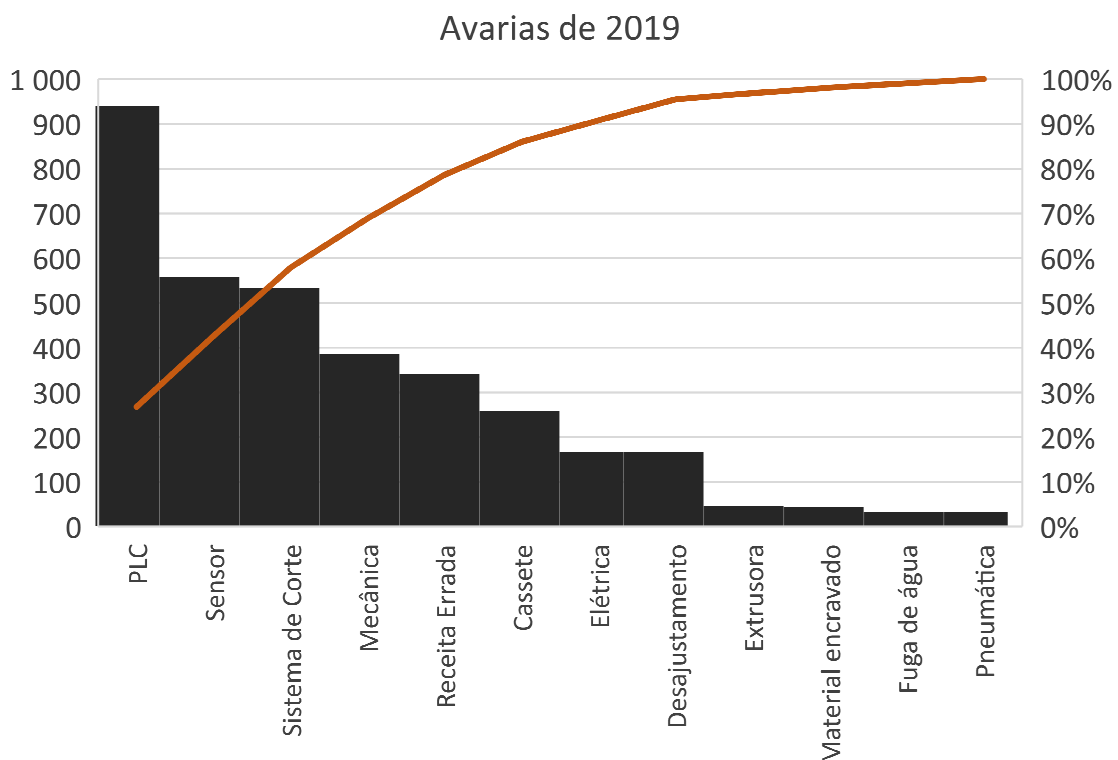


Figura 20 - Diagrama de Pareto correspondente a avarias ocorridas em 2019 na máquina de construção de pneus OTR.

As categorias escolhidas foram ao encontro das avarias que ocorreram com maior frequência, sendo que as menos frequentes foram classificadas como um grupo, como, por exemplo, avarias mecânicas. As que ocorreram com mais frequência foram as seguintes:

- Categoria de avaria PLC:** associada a erros no programa lógico de controlo. O programa está suscetível à receção de sinais transmitidos por sensores, sejam fins de curso ou sensores de posição. As paragens associadas a esta categoria provocam *downtime* de produção, pois o programa não avança na ausência de sinal. As causas raiz destas avarias podem ser várias, de natureza elétrica ou mau funcionamento de sensor. A avaria era considerada resolvida quando não ocorria a mesma paragem.

- **Categoria de avaria de Sensor:** associada a mau funcionamento de sensores. Sejam sensores de segurança, fins de curso ou sensores de posição, quando ocorre mau funcionamento destes componentes o programa lógico de controlo emite avisos e erros. As causas raiz desta categoria de avarias podem ser várias, desde sujidade no sensor, ultrapassagem dos limites de segurança ou sensores danificados.
- **Categoria de avaria Sistema de corte:** associada ao mau funcionamento de sistemas de corte. Normalmente provocadas por encravamento das lâminas.

Como existem vários sistemas de corte na máquina OTR, procedeu-se à avaliação de quais os sistemas de corte que contribuía mais para as avarias. Foi possível concluir, pela análise da Figura 21, o sistema de corte que mais contribuiu.

Avárias em sistemas de corte

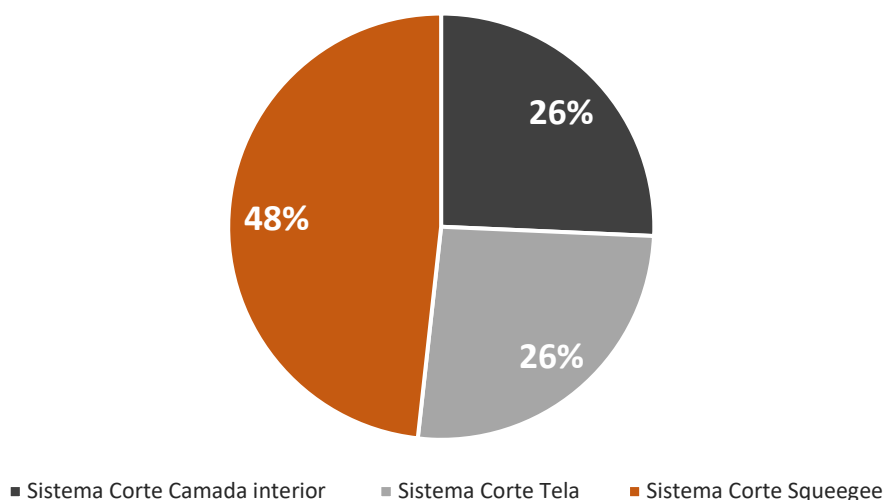


Figura 21 - Gráfico de contribuição de cada sistema de corte nas avarias registadas

- **Categoria de avarias mecânicas:** Empeno, desaperto de componentes e encravamentos, são algumas das avarias classificadas como mecânicas.
- **Receitas erradas:** receita é um termo usado para designar a informação de sequência e constituintes do pneu a ser produzido. Esta informação é transferida por sistema informático para a máquina. A informação tem influência em vários parâmetros de funcionamento da máquina, tais como, velocidade, posicionamento dos *lasers*, entre outros. Quando a receita é introduzida erradamente, ou a receita contém valores errados, pode comprometer o funcionamento correto da máquina.
- **Cassete:** Equipamento usado para transporte de bobinas de material, tais como, cintas metálicas ou camada interior. Este equipamento é acoplado a motores para desenrolar o material a ser usado na construção do pneu. As avarias associadas a este equipamento podem ser de diferentes naturezas.
- **Elétricas:** Avarias associadas a equipamentos elétricos, como desconexões ou mau funcionamento.

- **Desajustamento:** Falta de alinhamento dos *lasers* de posicionamento ou de componentes de transferência.

Desta análise de avarias mais recorrentes surgiram várias oportunidades de melhoria e que resultaram em redução de intervenções e tempos perdidos, nomeadamente a otimização de *software* da máquina e no desenvolvimento de soluções para melhorar os sistemas de corte.

3.3.1.2 Propostas de melhoria

Com vista à resolução dos problemas descritos no subcapítulo anterior, foi elaborada uma lista de propostas de melhoria para avaliação e discussão. Estas podem ser vistas na Tabela 11.

Tabela 11 - Propostas de melhoria.

Problema	Propostas de melhoria
Falta de procedimentos <i>standard</i> de manutenção	Estudo de documentação do fabricante e elaboração de procedimentos de manutenção preventiva.
Falta de histórico de intervenção preventiva	Criação de <i>checklist</i> para confirmação de atividades executadas.
Tempo de paragens de máquina para procedimentos de manutenção preventiva	Adaptação dos procedimentos de manutenção preventiva às avarias mais frequentes encontradas na análise do histórico de avarias. Definição de periodicidade de manutenção com base nas avarias encontradas

Além dos problemas encontrados descritos anteriormente, é ainda notória a dificuldade de extração destes dados do histórico. As categorias de avaria podem ser criadas de modo a evitar designações semelhantes, e a explicação deve ser concisa e de fácil entendimento. Um histórico de avarias deve permitir a análise rápida de um certo período, tornando possível determinar a eficácia das atividades de manutenção.

3.3.2 Procedimento MTC

MTC é um procedimento de manutenção planeada executado nas máquinas da fase de construção de pneus. O objetivo é verificar as folgas, desvios ou falhas em componentes críticos que afetam a correta execução de um pneu. A colocação dos componentes tem uma ordem e posicionamento específico, que é determinante para a obtenção das propriedades mecânicas projetadas. Por exemplo, se um *laser* estiver descentrado com o tambor de cintas, é provável que a construção do pneu seja incorreta, contendo as

cintas desviadas. Estes desvios podem comprometer o comportamento do pneu, podendo levar a pneus rejeitados.

A execução deste procedimento é exigida para manter a qualidade adequada e exigida pelos clientes. Como tal, foram definidas tolerâncias com o objetivo de garantir essa qualidade. A lista de atividades de execução do MTC encontra-se na Tabela 12.

Tabela 12 - Lista de atividades do procedimento MTC sugerido pelo fabricante

Ordem	Atividade
1.1	Descentramento do tambor da carcaça
1.2	Circunferência do tambor da carcaça
2.1	Verificação do carregador de talões externo, diâmetro e folgas nos apoios
2.2	Verificação do carregador de talões interno, diâmetro e folgas nos apoios
2.3	Concentricidade entre CTU e tambor da carcaça
2.4	Paralelismo do CTU sobre o tambor da carcaça
2.5	Centragem do CTU com o tambor da carcaça
2.6	Concentricidade do CTU sobre a cabeça de modelação
2.7	Paralelismo do CTU sobre a cabeça de modelação
2.8	Centragem do CTU em relação à cabeça de modelação
3.1	Concentricidade do BTR sobre tambor da cinta
3.2	Paralelismo do BTR sobre o tambor da cinta
3.3	Centragem do BTR sobre o tambor da cinta
3.4	Centragem do BTR sobre cabeça de modelação.
3.5	Concentricidade da BTR sobre a cabeça de modelação.
3.6	Paralelismo da BTR sobre a cabeça de modelação
4.1	Tangência do alimentador da camada interior com o tambor da carcaça
4.2	Centragem do tambor da carcaça com alimentador da camada interior
4.3	Verticalidade do <i>laser</i> no alimentador de camada interior.
4.4	Rotação do <i>laser</i> no alimentador de camada interior
4.5	Centragem do <i>laser</i> no alimentador de camada interior
5.1	Tangência do alimentador de tela com o tambor da carcaça
5.2	Centragem do tambor da carcaça com alimentador da tela
5.3	Verticalidade do <i>laser</i> no alimentador de tela.
5.4	Rotação do <i>laser</i> no alimentador de tela.
5.5	Centragem do <i>laser</i> no alimentador de tela
6.1	Centragem das carretilhas do alimentador de tela na posição frontal
6.2	
6.3	Centragem das carretilhas do alimentador de tela na posição traseira.
6.4	
6.5	Centragem da marcação central do alimentador de tela na posição traseira.
6.6	Centragem da marcação central do alimentador de tela na posição frontal
7.1	Centragem do tambor da carcaça com alimentador de perfil

8.1	Folga nas cabeças de modelação da máquina de modelação
8.2	Centragem das cabeças de modelação da máquina de modelação
9.1	Centragem das carretilhas da máquina de modelação (Posição traseira e
9.2	frontal)
10.1	Verticalidade do <i>laser</i> na máquina de modelação
10.2	Rotação do <i>laser</i> na máquina de modelação.
10.3	Centragem do <i>laser</i> na máquina de modelação.
11.1	Folga no eixo da roda do braço aplicador na máquina de modelação
11.2	Perpendicularidade da roda do braço aplicador na máquina de modelação
11.3	Centragem da roda do braço aplicador na máquina de modelação
11.4	Verificação de sensor na máquina de modelação
12.1	Folga nos rolos de pressão da extrusora
12.2	Verificação de folga periférica no parafuso da extrusora
13.1	Centragem das carretilhas na zona de cintas
14.1	Centragem dos alimentadores de tela na zona de cintas
15.1	Verticalidade do <i>laser</i> no alimentador de cinta
15.2	Rotação do <i>laser</i> no alimentador da cinta.
15.3	Centragem do <i>laser</i> no alimentador da cinta
16.1	Diâmetro do tambor da cinta

A lista de atividades a executar é bastante longa e de execução demorada. Esta comporta atividades que são de procedimento semelhante, mas em diferentes zonas da máquina. A máquina pode ser dividida em três zonas principais de operação: zona da carcaça, zona das cintas, zona de modelação. Em cada uma destas zonas existe um tambor com liberdade de translação (através de guias lineares) na direção do seu eixo que ao parar em frente aos alimentadores permite enrolar componentes à sua volta, posicionados com o auxílio de um *laser*. Além disso, existe ainda um sistema de carretilhas que tem como função fazer pressão nas camadas enroladas compactando assim borracha. Todas estas zonas têm atividades comuns como as descritas na Tabela 13.

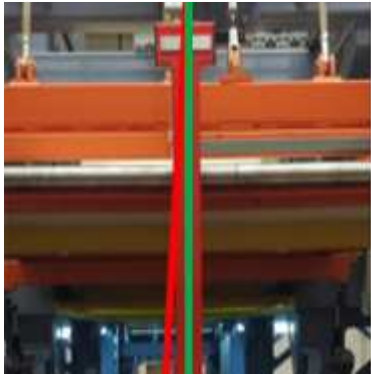

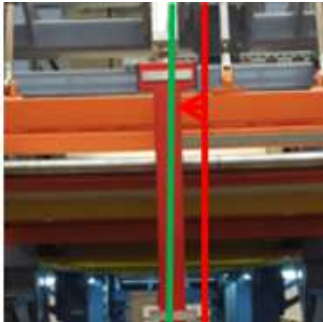
As tolerâncias que estas atividades verificam não são as mais críticas. A máquina pode funcionar e construir pneus com qualidade se houver descentramento do tambor em relação ao seu eixo de rotação, diâmetro do tambor não constante ou alimentadores não centrados com os tambores, no entanto, dificultam a operação. Os operadores têm trabalho mais dificultado para garantir o alinhamento, o que pode levar a velocidade mais baixa de operação.

Tabela 13 - Atividades de MTC comuns às três zonas principais de operação.

Atividade	Descrição	Imagem
Descentramento do tambor em relação ao eixo de rotação	Normalmente realizada com o auxílio de comparadores analógicos com tripé e base magnética. São retiradas várias medições em pontos opostos do tambor.	
Diâmetro do tambor	Executada com o auxílio de fita métrica. São retiradas medições em cada extremidade e comparados os valores. O tambor tem a função de expansão entre vários diâmetros.	
Centragem entre tambores e alimentadores	Este procedimento é realizado com fita métrica e régua aço. Além disso também se verifica a tangência do alimentador.	
Centragem de carretilhas	As carretilhas transladam segundo a movimentação de um parafuso sem-fim para lados opostos. Estas devem estar centradas para haver simetria na compactação. São utilizadas fita métrica e régua para verificação.	

Outro procedimento comum a todas as zonas é a regulação de posicionamento de *laser* descrito na Tabela 14. O posicionamento do *laser* é crucial. Indica o posicionamento correto dos componentes de construção do pneu. Existem *lasers* fixos, mas possíveis de ser regulados e *lasers* que se movimentam de modo a indicar diferentes posições de colocação de componentes. Os *lasers* móveis contêm mecanismo por correia dentada que lhes impõe um movimento linear sempre que um servo motor é acionado.

Tabela 14 - Atividades de MTC de verificação de posicionamento do *laser*.

Atividade	Descrição	Imagem
Verticalidade do <i>laser</i>	Uso de Aparelho de regulação do <i>laser</i> , que consiste numa peça em aço com bases retificadas e marcações de referência no centro, 50 mm à esquerda e 50 mm à direita. Depois de montado o aparelho, os <i>lasers</i> devem estar coincidentes com as referências ao longo de todo o seu comprimento.	
Rotação do <i>laser</i>	O <i>laser</i> deve estar coincidente com as referências, quaisquer que seja a posição de projeção no tambor. Nesta atividade, o tambor é submetido a rotação e é controlada a coincidência do <i>laser</i> nas referências em várias posições.	
Centragem do <i>laser</i>	Depois de verificados os dois passos anteriores, é ainda necessário verificar que o <i>laser</i> se encontra centrado com o tambor, com recurso a fita métrica.	

Outros conjuntos importantes são as unidades de transporte, como a unidade de transporte da carcaça, ou *carcass transport unit* (CTU), e unidade de transporte das cintas, ou *belt transport ring* (BTR). CTU tem como função transferir a carcaça entre o tambor da carcaça e a zona de modelação. Como tal, é necessário garantir a concentricidade, paralelismo e centragem do CTU sobre o tambor da carcaça e sobre o tambor de modelação. O BTR tem como função transferir o conjunto de cintas entre o tambor de cintas e a zona de modelação, representado na Figura 22. Como tal, é necessário garantir concentricidade, paralelismo e centragem sobre o tambor de cintas, e sobre o tambor de modelação.

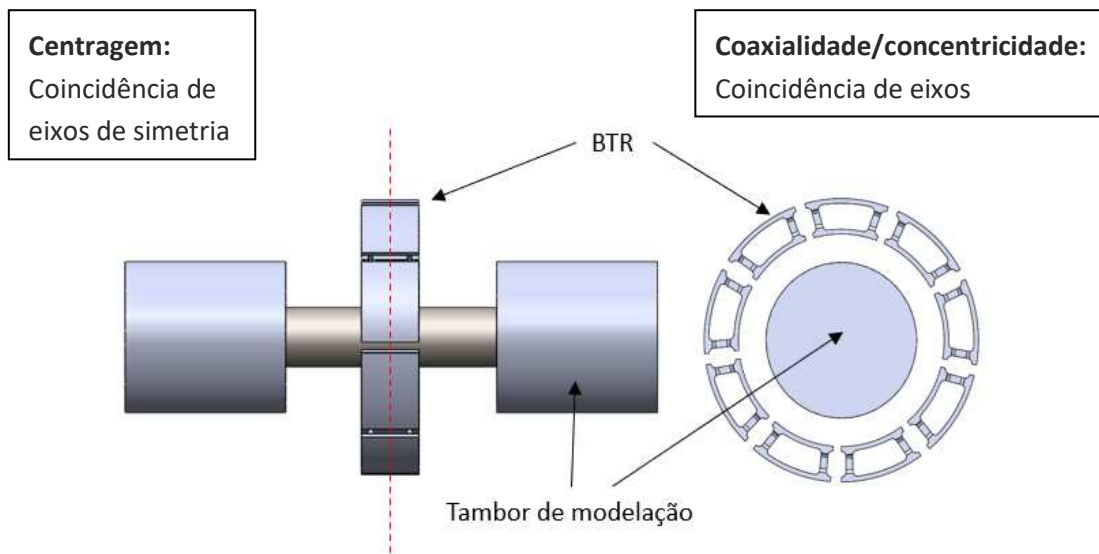


Figura 22 - Representação do posicionamento concêntrico, centrado e paralelo entre o BTR e tambor.

Os procedimentos em ambas as unidades de transporte são semelhantes e podem ser vistos na Tabela 15. Ainda assim, ao CTU acresce a função de colocação de talões, o que leva a mais duas atividades que podem ser vistas na Tabela 16.

Tabela 15 - Atividades MTC nas unidades de transporte

Atividade	Descrição	Imagem
Concetricidade ao tambor	<p>CTU: Um anel de referência metálico é usado no lugar dos talões. Um comparador é usado para medir variações ao longo da superfície interior do anel de medição.</p> <p>BTR: Um comparador é usado para medir variações na parte interior de cada segmento do BTR.</p>	
Paralelismo ao tambor	<p>CTU: Um anel de referência metálico é usado no lugar dos talões. Um comparador é usado para medir variações ao longo da superfície lateral do anel de medição.</p> <p>BTR: Um comparador é usado para medir variações na lateral de cada segmento do BTR.</p>	

Centragem ao tambor

CTU: Fita métrica é usada para medir distâncias entre as extremidades do tambor e o CTU.

BTR: Um fio de prumo é usado para marcar a extremidade do tambor e é medida a distância entre o BTR e cada extremidade do tambor.



Os talões têm posições definidas de colocação. Essa colocação é robotizada, mas é necessário garantir que quando o talão é recolhido, este esteja na posição ideal. A Tabela 16 contém as tarefas associadas ao carregador de talões.

Tabela 16 - Atividades MTC referentes à colocação de talões

Atividade	Descrição	Imagem
Carregador de talões externo	Colocar anel de medição nos apoios e medir folgas com calibrador metálico (“apalpa-folgas”).	
Carregador de talões interno	Colocar anel de medição nos apoios e medir folgas com calibrador metálico.	

3.3.2.1 Crítica ao procedimento MTC

Após visualização das instruções de MTC existentes e troca de conhecimento com os técnicos de manutenção, foram registados os problemas detetados e descritos na Tabela 17.

Tabela 17 - Problemas relatados sobre a execução do procedimento MTC

Atividades	Descrição
Todas	Processo de MTC muito demorado
Todas as atividades onde há o uso de comparador	Uso de comparadores analógicos dificulta leitura de medições
Concetricidade e paralelismo do CTU e BTR apenas sobre tambor de modelação	Colocação do comparador é feita através de cinta de aperto ou por remoção de segmentos por falta de sítio adequado à base magnética
Concetricidade e paralelismo do BTR	Comprimento do tripé do comparador não é suficiente para fazer ligação com a máquina
Centragem de carretilhas	Muito sujeito à sensibilidade do técnico
Alinhamento	Indecisão na resolução de problemas encontrados

De modo a analisar as causas que podem contribuir para o problema em análise, procedeu-se à elaboração de um diagrama causa-efeito, representado na Figura 23. Com esta análise é perceptível a existência de causas de natureza distinta a contribuírem para o problema. Mesmo sendo perceptível que as causas com mais influência são as relacionadas com o método de trabalho, existem outros fatores contribuidores para o problema, nomeadamente as listadas de seguida:

- **Máquina:** falta de pontos de fixação de comparador e movimentação da máquina no que diz respeito ao posicionamento dos seus próprios componentes para medição;
- **Material disponível:** causas relacionadas com o material disponível. Ferramentas disponíveis revelam-se pouco práticas, devido às dimensões da máquina;
- **Mão de obra:** o n.º de técnicos de manutenção que efetuam o procedimento afeta a quantidade de tarefas que se podem sobrepor. Além disso, a falta de treino e formação destes profissionais acarreta menos eficácia no procedimento estabelecido.

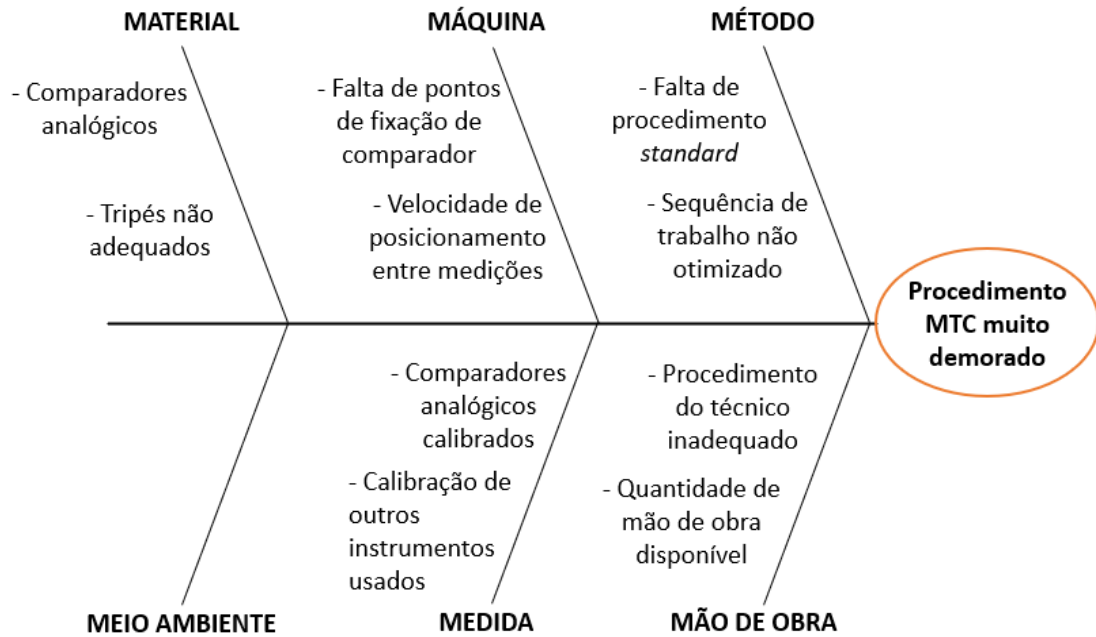


Figura 23 - Diagrama de causa efeito sobre problema de MTC longo.

3.3.2.2 Propostas de melhoria

Com vista à resolução dos problemas descritos no subcapítulo anterior, procedeu-se à listagem de propostas de melhoria para avaliação e discussão. Estas podem ser vistas na Tabela 18.

Tabela 18 - Ideias de melhoria

Problema	Ideia de melhoria
MTC muito demorado	Estudo de sequência de execução de atividades e recursos necessários para diminuir tempo de execução.
Dificuldade na leitura de medições	Substituição de equipamentos de medição por instrumentos digitais.
Procedimento de colocação do comparador muito demorado	Projeto de suportes e ligações diretas com a máquina.
Falta de procedimento e repetibilidade de medições	Criação de instruções de trabalho detalhadas.
Indecisão na resolução de problemas	Criação de um fluxograma de resolução de problemas.

Foram ainda identificadas propostas de melhoria para diminuir o tempo global de MTC:

- Aplicação de sensores de medição a *laser* para substituir o uso dos comparadores;
- Uso de novas tecnologias de medição;

- Avaliação da necessidade de intervenção através do estudo dos mecanismos associados à tolerância e avaliação de possibilidade de perda de tolerância;
- Uso de SMED para melhoria do procedimento.

3.4 Intervenção na manutenção preventiva

3.4.1 Elaboração de instruções de trabalho

Na empresa, a manutenção preventiva já estava a ser executada nas máquinas OTR. No entanto, como foi visto no subcapítulo 3.3.1, um dos problemas indicados foi a falta de instruções de trabalho de manutenção. As instruções de trabalho foram criadas para uniformizar as ações preventivas executadas. As máquinas OTR são de grande dimensão, pelo que uma ação de manutenção preventiva na máquina demora bastante tempo. Logo, de modo a tornar as ações de manutenção exequíveis, a ação preventiva foi dividida por zonas da máquina. As instruções de trabalho poderão ser consultadas em:

- Anexo 6.1 – Manutenção preventiva OTR zona de carcaças;
- Anexo 6.2 – Manutenção preventiva OTR zona de cintas;
- Anexo 6.3 – Manutenção preventiva OTR zona de modelação.

3.4.2 Indicadores de desempenho de manutenção

Foram analisados os indicadores de desempenho de manutenção dos primeiros meses de 2020. O objetivo desta análise foi perceber o estado de manutenção atual e possibilidade de melhorias com a implementação de manutenção preventiva. Na Figura 24 estão representados os valores do indicador de desempenho MTTR (tempo necessário para reparar as máquinas OTR até a sua total funcionalidade). Este indicador em particular, indica-nos a eficiência das ações executadas em reparações das máquinas. Quanto menor for o MTTR, maior é a eficiência de reparação durante um período específico (neste caso, por mês). O objetivo para este indicador é assinalado no gráfico, ou seja, abaixo de 0,3.

Apenas três dos seis meses analisados estiveram dentro do objetivo traçado, pelo que podemos concluir que existe espaço para melhorar este indicador. Uma das possibilidades é controlar peças de substituição e níveis de inventários para diminuir o tempo de obtenção dos componentes necessários a reparações. Outra das possibilidades é a implementação de estratégias de manutenção preditiva, especialmente em componentes que impõem longos períodos de reparação. Ambas as possibilidades estão a ser exploradas, no entanto, não se enquadram no âmbito deste trabalho.

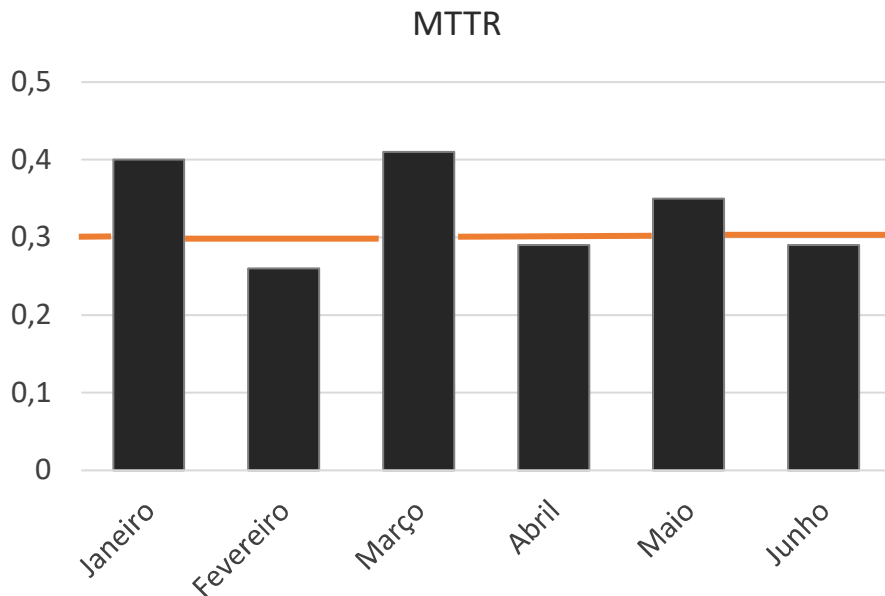


Figura 24 - Indicador de desempenho de manutenção MTTR nas máquinas OTR.

Na Figura 25 estão representados os valores do indicador de desempenho MTBF (tempo operacional entre reparações nas máquinas OTR). Valores mais elevados de MTBF são preferíveis, já que indicam que há menos paragens de produção porque a máquina não apresenta tantas falhas.

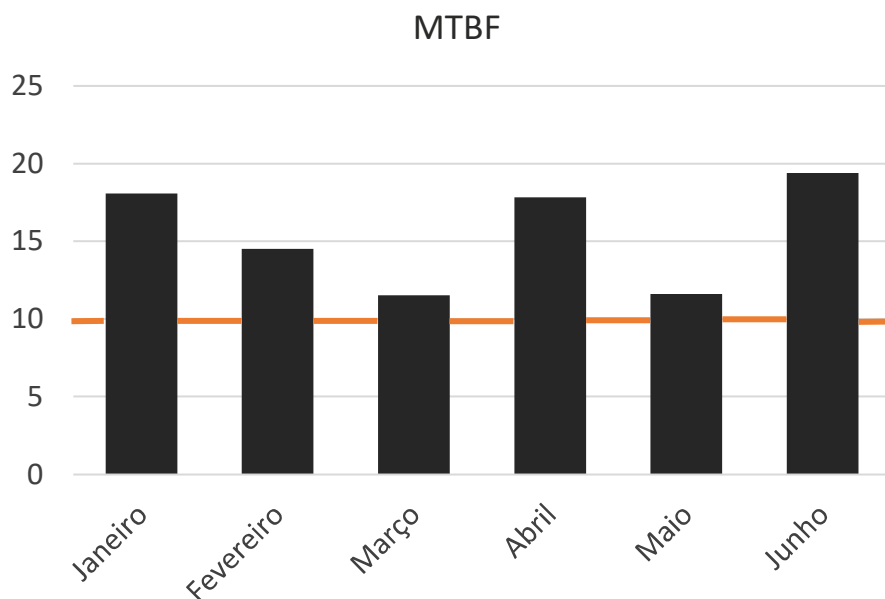


Figura 25 - Indicador de desempenho de manutenção MTBF nas máquinas OTR.

Todos os meses analisados estiveram dentro do objetivo traçado (10 horas) pelo que podemos concluir que nesses meses houve um número paragens aceitável. Estratégias de manutenção preventiva podem melhorar estes indicadores. Ações preventivas de manutenção como lubrificação ou alinhamento de máquinas levam à diminuição de falhas, prolongando assim o tempo de operação.

Na Figura 26 estão representados os valores do indicador de desempenho MM (maturidade). Usado pela empresa para relacionar a quantidade de intervenções preventivas e corretivas. O indicador é então a razão entre o tempo despendido em manutenções preventivas e o tempo despendido em manutenções corretivas. Através da análise dos dados, podemos concluir que existe já uma grande preocupação e investimento em manutenção preventiva. Os meses de abril e junho com maior percentagem de manutenções preventivas executadas, foram também estes meses os que apresentaram mais elevados indicadores de MTBF.

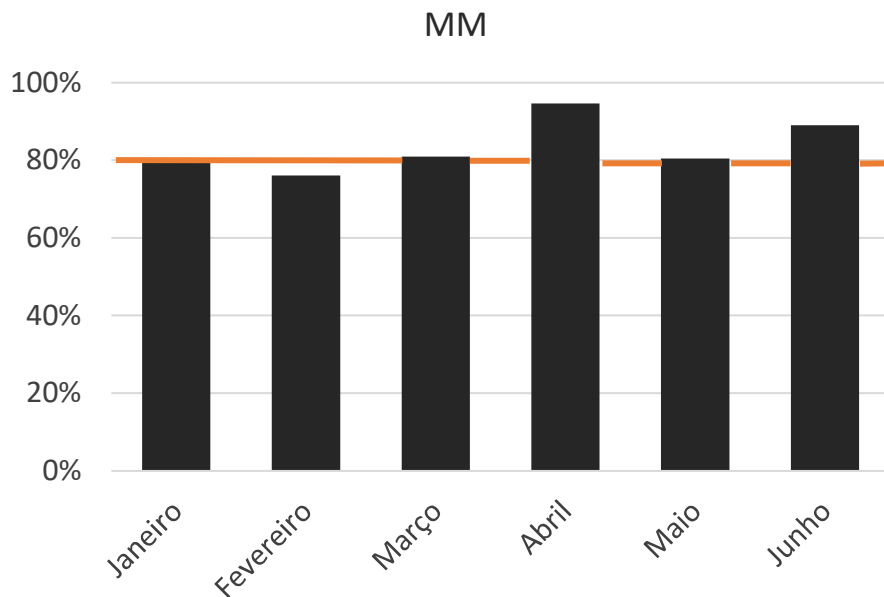


Figura 26 - Indicador de desempenho de manutenção MM nas máquinas OTR.

As instruções de trabalho efetuadas para as máquinas de OTR, podem ter um impacto positivo em todos os indicadores. Idealmente, após implementação das instruções de trabalho, estes devem ser controlados com o objetivo de verificar as ações preventivas sugeridas. Com a implementação de manutenção preventiva espera-se:

- Diminuição de MTTR, devido a antecipação de falhas, especialmente em componentes com largos períodos de reparação;
- Aumento de MTBF, devido à intervenção nos sistemas e componentes com falhas mais comuns;
- Aumento de MM, visto que é esperado menos ocorrências de falhas e ações corretivas.

3.4.3 Registo de dados de intervenção

As ações de manutenção preventiva, por norma, têm limite de tempo de execução. Dependendo do estado da máquina, certas atividades preventivas podem ser mais morosas que outras, e assim impedir que todo o procedimento recomendado nas instruções de trabalho seja efetuado. Quando ocorre uma avaria, ou falha de componente é importante conseguir determinar facilmente se houve intervenção preventiva naquele componente, ou se é necessário atualizar o procedimento de

trabalho. Com esse objetivo, foi explorada a possibilidade de implementação de uma ferramenta de trabalho que permita a criação de relatórios de intervenção por parte das equipas de manutenção. Consiste numa folha de verificação em MS Excel[®] programada com código VBA, que automatiza o cálculo da percentagem de ações preventivas executadas. Algumas das suas vantagens são as seguintes:

- Permite a consulta rápida de atividades preventivas a ser executadas;
- Criação de histórico de intervenção preventiva detalhada;
- Facilidade de passagem de informação para o gestor de manutenção.

No entanto, a principal desvantagem desta ferramenta é a dificuldade de alteração. Qualquer alteração de atividades preventivas a serem executadas, impõe a reprogramação da folha de verificação que pode revelar-se uma tarefa demorada. Esta ferramenta não foi implementada devido à constante atualização dos procedimentos de manutenção.

3.5 Intervenção no procedimento MTC

3.5.1 Aplicação da metodologia SMED

3.5.1.1 Etapa 1: Separação de atividades internas de atividades externas

Todo o procedimento é efetuado com a máquina fora de produção e, como tal, todas as atividades podem ser consideradas internas no estado inicial. No entanto, podemos considerar etapas externas que já são feitas, relacionadas com a preparação de ferramentas necessárias à realização do MTC.

3.5.1.2 Etapa 2: Conversão de atividades internas em externas

Para facilitar o tratamento de dados o procedimento MTC foi dividido por zona de máquina, dando origem assim a três procedimentos distintos que podem ser executados simultaneamente. A Tabela 19 contém as atividades realizadas na zona da carcaça. A Tabela 20 contém as atividades realizadas na zona das cintas. A Tabela 21 contém as atividades realizadas na zona de modelação e extrusão. Estas estão classificadas como internas, impossíveis de serem realizadas com a máquina em produção, e externas, possíveis de serem convertidas em atividades realizadas durante a produção. Os tempos apresentados têm como base uma recolha de tempos e métodos durante uma intervenção, sendo o tempo decorrido o tempo total que passou desde o início até ao fim da atividade e o tempo da atividade, o tempo necessário para executar a tarefa. O relatório sobre o acompanhamento do procedimento pode ser encontrado no anexo 6.4.

Tabela 19 - Tarefas MTC na zona da carcaça.

Atividade	Tempo decorrido (min.)	Tempo da atividade (min.)	Atividade Interna	Atividade Externa
1.1-Descentramento do tambor da carcaça	90	90		X
1.2- Verificação da Circunferência do tambor da carcaça	95	5		X
2.1-Verificação do carregador de talões externo, diâmetro e folgas nos apoios	100	5	X	
2.2-Verificação do carregador de talões interno, diâmetro e folgas nos apoios	110	10	X	
2.3-Concentricidade entre CTU e tambor da carcaça	170	60	X	
2.4-Paralelismo do CTU sobre o tambor da carcaça			X	
2.5-Centragem do CTU com o tambor da carcaça	180	10	X	
4.1-Tangência do alimentador da camada interior com o tambor da carcaça	185	5		X
4.2-Centragem do tambor da carcaça com alimentador da camada interior	190	5		X
4.3-Verticalidade do <i>laser</i> no alimentador de camada interior.	210	20	X	
4.4-Rotação do <i>laser</i> no alimentador de camada interior	230	20	X	
4.5-Centragem do <i>laser</i> no alimentador de camada interior	250	20	X	
5.1-Tangência do alimentador de tela com o tambor da carcaça	255	5		X

Atividade	Tempo decorrido (min.)	Tempo da atividade (min.)	Atividade Interna	Atividade Externa
5.2-Centragem do tambor da carcaça com alimentador da tela	260	5		X
5.3-Verticalidade do <i>laser</i> no alimentador de tela.	280	20	X	
5.4-Rotação do <i>laser</i> no alimentador de tela	300	20	X	
5.5-Centragem do <i>laser</i> no alimentador de tela	320	20	X	
6.1,6.2-Centragem das carretilhas do alimentador de tela na posição frontal.			X	
6.3,6.4-Centragem das carretilhas do alimentador de tela na posição traseira.	380	60	X	
6.4-Centragem da marcação central do alimentador de tela na posição traseira.			X	
6.6-Centragem da marcação central do alimentador de tela na posição frontal			X	
7.1-Centragem do tambor da carcaça com alimentador de perfil	395	15	X	
Tempo total:			280	115

A atividade 1.1, descentramento do tambor da carcaça, pode ser executada como atividade externa, para isso têm de ser criadas condições de inspeção dos tambores fora da máquina, para que, quando instalados estejam em perfeitas condições, eliminando assim a necessidade de verificar na máquina, e ocupando disponibilidade de produção.

As atividades de verificação de circunferência de tambor podem ser feitas como manutenção autónoma sempre que outra referência de pneu é selecionada, ou sempre que há troca de tambor.

As atividades de tangência dos alimentadores com os tambores e centragem dos tambores com alimentadores podem ser realizadas como manutenção autónoma e visual. Os tambores e alimentadores têm marcações centrais que podem ser usadas para verificar a centragem. A tangência não é uma atividade crítica para a qualidade final do produto, mas facilita o trabalho do operador. Inspeção autónoma pode ser usada por parte dos operadores da máquina para avaliar este alinhamento.

Tabela 20 - Tarefas MTC na zona das cintas.

Atividade	Tempo Corrido	Tempo da atividade	Atividade Interna	Atividade Externa
3.1-Concentricidade do BTR sobre tambor da cinta	60	60	X	
3.2-Paralelismo do BTR sobre o tambor da cinta			X	
3.3-Centragem do BTR sobre o tambor da cinta	65	5	X	
13.1-Centragem das carretilhas na zona das cintas	95	30	X	
14.1-Centragem dos alimentadores de tela na zona das cintas	155	60	X	
15.1-Verticalidade do <i>laser</i> no alimentador de cinta	215	60	X	
15.2-Rotação do <i>laser</i> no alimentador da cinta.	275	60	X	
15.3-Centragem do <i>laser</i> no alimentador da cinta	335	60	X	
16.1- Circunferência do tambor das cintas	345	10		X
Tempo total:			335	10

Tabela 21 - Tarefas MTC na zona de modelação e extrusão

Atividade	Tempo Corrido	Tempo da atividade	Atividade Interna	Atividade Externa
2.6-Concentricidade do CTU sobre a cabeça de modelação	60	60	X	
2.7-Paralelismo do CTU sobre a cabeça de modelação			X	

2.8-Centragem do CTU em relação à cabeça de modelação	65	5	X
3.4-Centragem do BTR sobre cabeça de modelação.	70	5	X
3.5-Concetricidade da BTR sobre a cabeça de modelação	140	70	X
3.6-Paralelismo da BTR sobre a cabeça de modelação			X
8.1-Folga nas cabeças de modelação da máquina de modelação	150	10	X
8.2-Centragem das cabeças de modelação da máquina de modelação	155	5	X
9.1,9.2-Centragem das carretilhas da máquina de modelação (Posição traseira e frontal)	175	20	X
10.1-Verticalidade do <i>laser</i> na máquina de modelação	195	20	X
10.2-Rotação do <i>laser</i> na máquina de modelação.	215	20	X
10.3-Centragem do <i>laser</i> na máquina de modelação	235	20	X
11.1-Folga no eixo da roda do braço aplicador na máquina de modelação			X
11.2-Perpendicularidade da roda do braço aplicador na máquina de modelação	265	30	X
11.3-Centragem da roda do braço aplicador na máquina de modelação			X

11.4-Verificação do sensor na máquina de modelação			X
12.1-Folga nos rolos de pressão da extrusora	295	30	X
12.2-Verificação de folga periférica no parafuso da extrusora	325	30	X
Tempo total:			325
			0

3.5.1.3 Etapa 3: Melhoria das restantes atividades internas

De todas as atividades internas, com necessidade de paragem de máquina obrigatória, existem algumas que despendem mais tempo para a sua execução. De seguida, são explicadas em detalhe cada uma delas e as soluções exploradas.

❖ Descentramento do tambor:

Esta atividade tem como objetivo verificar a existência de descentramento do tambor da carcaça. Para a execução desta medição é usado um comparador, preso por base magnética à máquina que suporta o conjunto veio e tambor. Podemos ver a fixação do comparador na Figura 27. Como podemos observar, o tambor é constituído por vários segmentos desmontáveis, com espaços entre eles (estes segmentos permitem a expansão do tambor para diferentes diâmetros). Tal característica dificulta a operação de medição. Para se obter o descentramento do veio existem duas opções:

- Desmontar os segmentos e realizar a medição diretamente no veio;
- Realizar a medição em cada um dos segmentos constituintes do tambor na zona central (Como é demonstrado no detalhe à direita na Figura 27).

Ambas as opções não são as ideais. A primeira opção implica desmontar componentes. A segunda opção não é ideal, pois implica uma medição descontínua, ou seja, é necessário um registo por cada um dos 18 segmentos. A variação relativa entre cada segmento não deve ultrapassar 1 mm. O procedimento repete-se em três zonas distintas do tambor.

A Tabela 22 indica valores registados nas últimas três medições. Como podemos observar, os valores registados são sempre inferiores à tolerância. Através da análise de causas é possível concluir que um possível desajuste só pode dever-se à incorreta montagem dos segmentos. Os segmentos possuem quatro ligações aparafusadas e pinos de alinhamento.

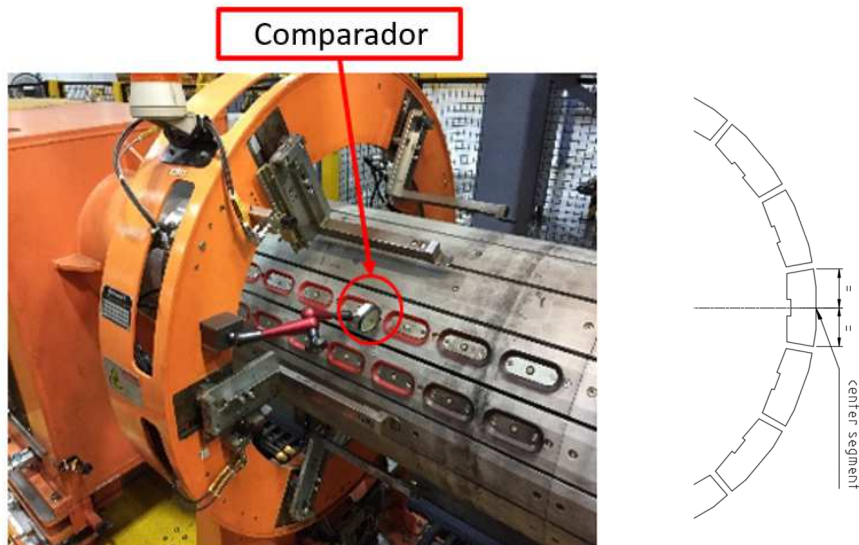


Figura 27 - Fixação do comparador na medição de descentramento do tambor da carcaça

Tabela 22 - Registo de medições da atividade 1.1

Radial Run-out	30/11/2018	14/06/2019	19/12/2019
Esquerda (mm)	-0,28	0,28	-0,37
Centro (mm)	0,57	0,35	0,5
Direita (mm)	-0,45	0,52	-0,37

Propostas de melhoria selecionada:

- Utilizar tambor calibrado, vindo do departamento responsável pela manutenção de ferramentas, ou seja, inspeção dos segmentos fora da máquina;

Por fim, esta atividade de medição foi desconsiderada do procedimento e indicado aos técnicos de manutenção a necessidade de verificar o correto aperto dos parafusos de cada segmento nas instruções de trabalho de mudança de ferramenta.

❖ Verificação dos lasers:

Esta atividade tem como objetivo verificar o posicionamento de um conjunto de *lasers*. A descrição desta atividade encontra-se na Tabela 14 e pode ser visualizada na Figura 28. Existem cinco zonas da máquina que contêm um sistema de *laser* e, como tal, no procedimento MTC são verificados e calibrados os cinco sistemas.

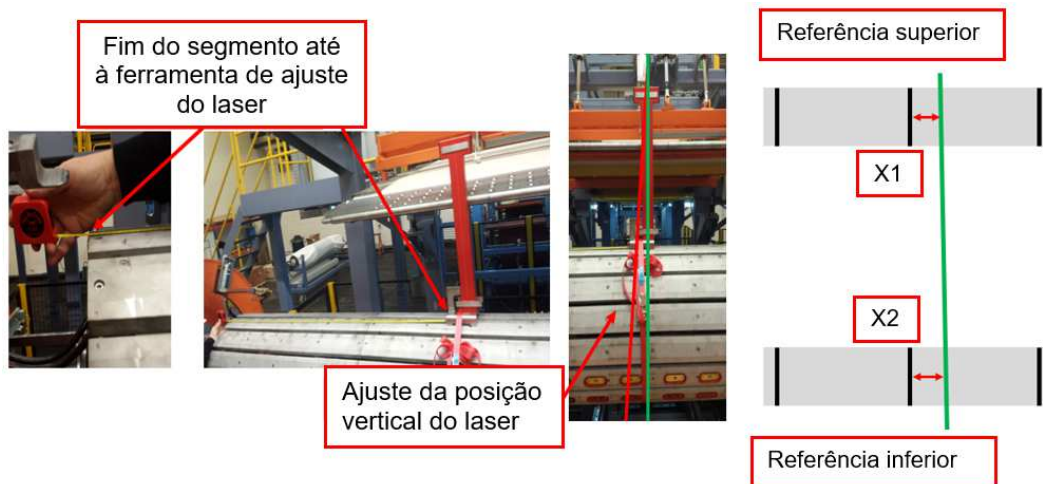


Figura 28 - Esquema de ajuste da verticalidade do *laser* (Antes).

Proposta de melhoria selecionada:

- Modificação de método de trabalho.

Este procedimento é pouco intuitivo. Mesmo com instrução de trabalho, é de difícil interpretação. A correta execução impõe que a ferramenta de ajuste do *laser* seja colocada perfeitamente no centro do tambor e nivelada, sendo que a ferramenta não tem uma base simétrica nem conformada à superfície do tambor, o que acrescenta dificuldade à tarefa, podendo até levar a conclusões erradas na inspeção. Um novo método de trabalho foi sugerido e implementado, que pode ser visto na Figura 29. Consiste no alinhamento dos *lasers* às fundações da máquina, por chapas de referência.



Figura 29 - Ajuste dos *lasers* (Após).

❖ Posicionamento dos tambores (CTU + tambor da carcaça):

Esta atividade permite verificar a concentricidade, paralelismo e centragem do CTU em relação ao tambor da carcaça. Relembrando que durante a produção existe a passagem do conjunto da carcaça entre o tambor da carcaça e CTU, logo o correto alinhamento destes componentes é essencial para manter a qualidade do produto. A descrição desta atividade pode ser consultada na Tabela 15 e pode ser visualizada na Figura 30.

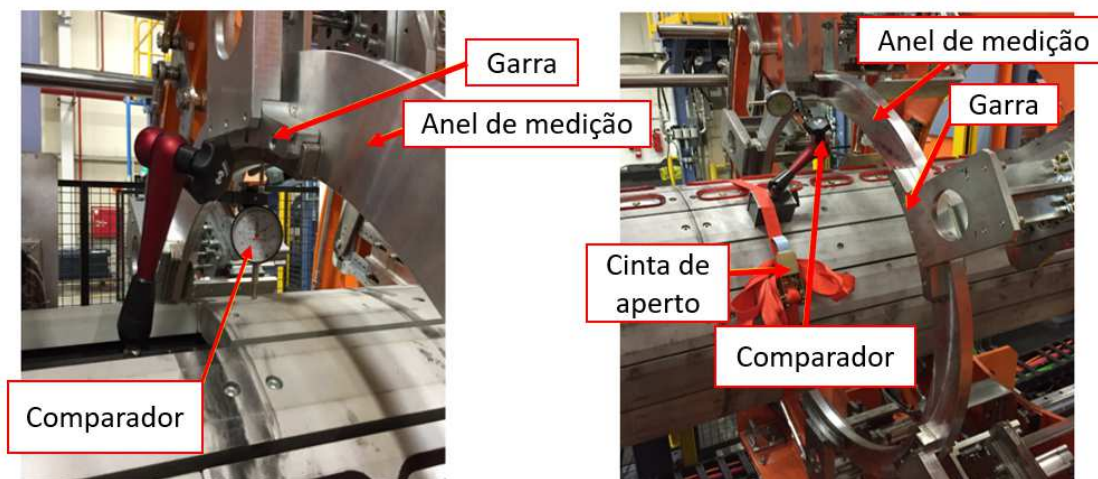


Figura 30 - Montagem de equipamentos de medição de concentricidade e paralelismo do CTU

Um comparador é usado para medir variações na concentricidade ou no paralelismo do tambor em relação a um anel de referência. A fixação do comparador é feita através de um tripé que facilita o manuseamento do comparador entre posições. A fixação do tripé pode ser efetuada de dois modos: através de cinta de aperto (evidenciado na parte à direita da Figura 30) ou por ligação magnética diretamente ao veio do tambor. De notar que os segmentos não são compatíveis com ligação magnética. Este último caso implica a remoção de um segmento do tambor para que haja acesso ao veio do tambor.

Propostas de melhoria selecionadas:

- Nova base de fixação do tripé que permita a fixação de dois tripés em simultâneo e potencie a leitura das medições de concentricidade e paralelismo em simultâneo;
- Evitar o uso da cinta de aperto ou remoção de segmentos, para facilitar a fixação rápida;
- Substituição de comparadores analógicos por digitais.

Uma nova base de fixação do tripé, representada na Figura 31, foi projetada com o objetivo de permitir a montagem de segmentos no tambor de carcaça. A base é fixa ao comparador através de ligação aparafusada, eliminando a necessidade de desmontar componentes. O desenho técnico da ferramenta pode ser visto no anexo 6.5.

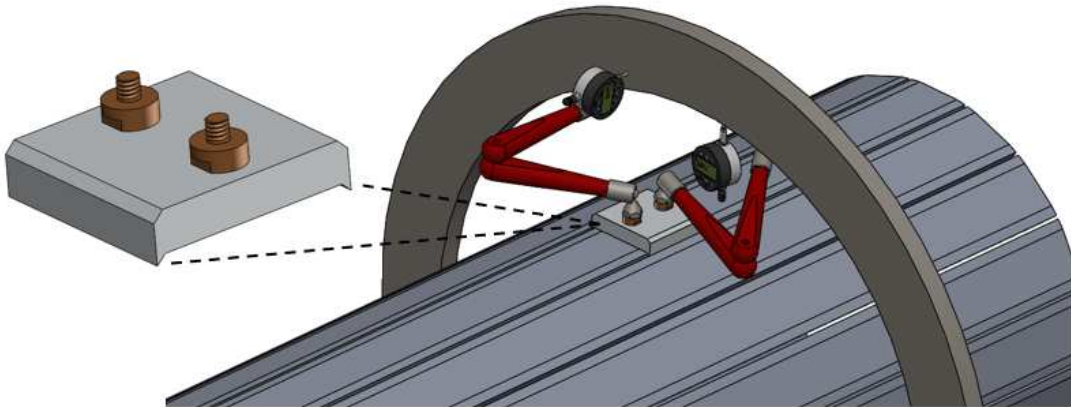


Figura 31 - Representação da peça projetada para servir de base aos comparadores

❖ **Posicionamento dos tambores (CTU + tambor de modelação):**

Esta atividade permite verificar a concentricidade, paralelismo e centragem do CTU em relação ao tambor de modelação. Relembrando que durante a produção existe a passagem do conjunto da carcaça entre CTU e tambor de modelação, logo o correto alinhamento destes componentes é essencial para manter a qualidade do produto. A descrição desta atividade pode ser consultada na Tabela 15 e pode ser visualizada na Figura 32.



Figura 32 - Montagem de equipamentos de medição de concentricidade e paralelismo entre CTU e SM (antes)

Esta atividade também se baseia na medição de variações na concentricidade ou paralelismo do tambor em relação a um anel de medição. A fixação do comparador é feita através de um tripé que facilita o manuseamento do comparador entre posições. A fixação do tripé é realizada através de uma cinta de aperto que segura a base magnética contra o tambor de modelação. As cabeças de modelação são constituídas por um mecanismo de insuflação, sendo que a superfície das mesmas é têxtil, como tal, não oferecem uma superfície estável para a fixação do comparador.

Propostas de melhoria selecionadas:

- Nova base de fixação de tripé que permita dois tripés em simultâneo e potencie a leitura das medições de concentricidade e paralelismo;
- Fixação do tripé na zona central do tambor de modelação (veio);
- Substituição de comparadores analógicos por digitais.

Uma ferramenta foi projetada com o objetivo de permitir uma fixação estável ao tambor de modelação e possibilidade de fixação de vários equipamentos de medição, sendo assim possível a medição da concentricidade e paralelismo simultaneamente, como podemos observar na Figura 33. A ferramenta é uma estrutura de perfis comerciais soldados a uma base concêntrica ao veio do tambor com uma superfície antiderrapante. O desenho técnico da ferramenta pode ser visto no anexo 6.6.

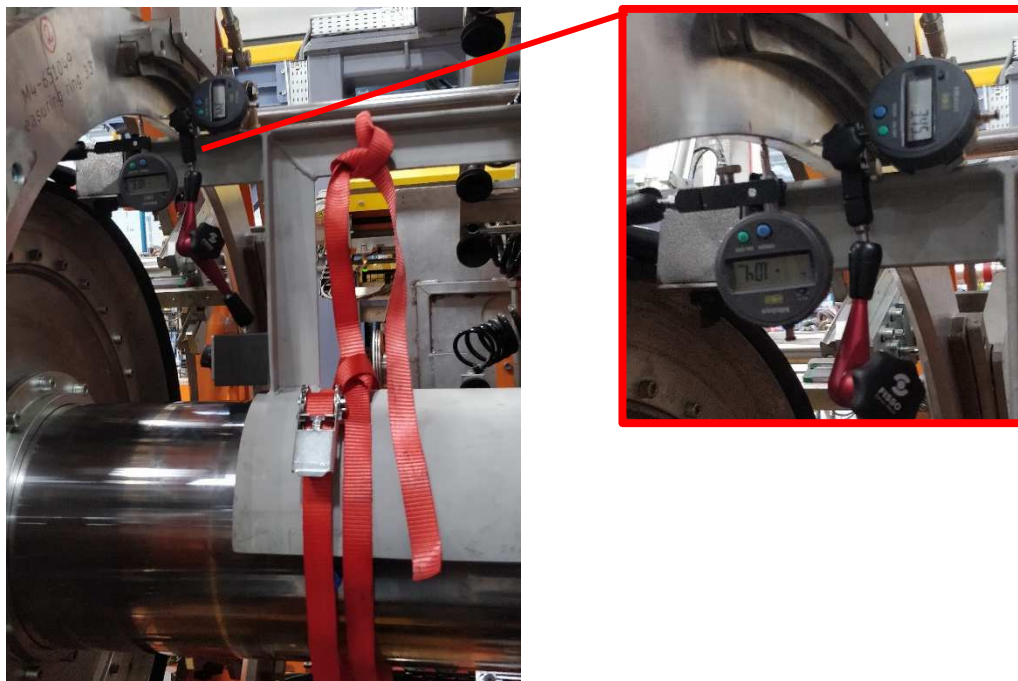


Figura 33 - Montagem de equipamentos de medição de concentricidade e paralelismo entre CTU e SM (depois).

❖ Posicionamento dos tambores (BTR + tambor da cinta):

Esta atividade permite verificar a concentricidade, paralelismo e centragem do BTR em relação ao tambor das cintas. Relembrando que durante a produção existe a passagem do conjunto de cintas entre o tambor de cintas e BTR, logo o correto alinhamento destes componentes é essencial para manter a qualidade do produto. A descrição desta atividade pode ser consultada na Tabela 15, e pode ser visualizada na Figura 34.

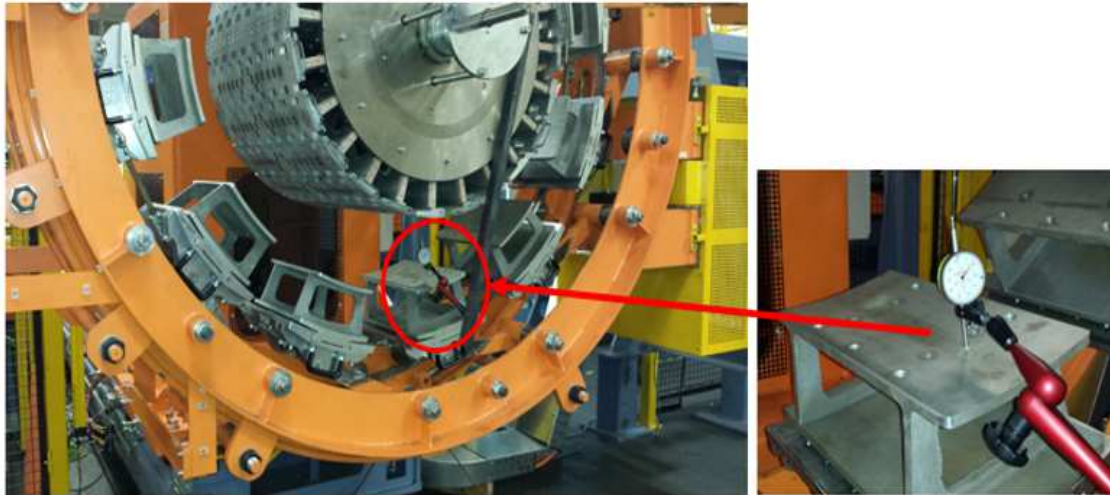


Figura 34 - Montagem de equipamentos de medição de concentricidade e paralelismo entre BTR e BM (antes)

Um comparador é usado para medir variações na concentricidade ou paralelismo do tambor em relação a cada segmento do BTR. A fixação do comparador é feita através de um tripé que facilita o manuseamento do comparador entre posições. A fixação do tripé devido às grandes dimensões do BTR impõe o uso de uma ferramenta auxiliar de fixação. A ferramenta auxiliar de fixação é um perfil metálico que é ligado por conexão aparafusada ao tambor das cintas numa das extremidades, permitindo o uso da outra extremidade para fixação por base magnética do comparador.

Propostas de melhoria selecionadas:

- Novo método de fixação do tripé que permita a fixação de dois tripés em simultâneo e potencie a leitura das medições de concentricidade e paralelismo em simultâneo;
- Uso de medição a *laser* ou tecnologia alternativa.
- Substituição de comparadores analógicos por digitais.



Figura 35 - Montagem de equipamentos de medição de concentricidade e paralelismo entre BTR e BM (depois)

A solução nesta atividade passou pela mudança do método de trabalho. Extensões de comparadores foram projetadas, desenho técnico no anexo 6.7, para ser possível a fixação de vários comparadores no tambor, como podemos observar na Figura 35. Cabos de retração de haste dos comparadores foram adquiridos para contornar a dificuldade de ser uma medição descontínua.

❖ **Posicionamento dos tambores (BTR + tambor de modelação):**

Esta atividade permite verificar a concentricidade, paralelismo e centragem do BTR em relação ao tambor de modelação, lembrando que durante a produção existe a passagem do conjunto de cintas entre BTR e tambor de modelação, logo o correto alinhamento destes componentes é essencial para manter a qualidade do produto. A descrição desta atividade pode ser consultada na Tabela 15 e pode ser visualizada na Figura 36.

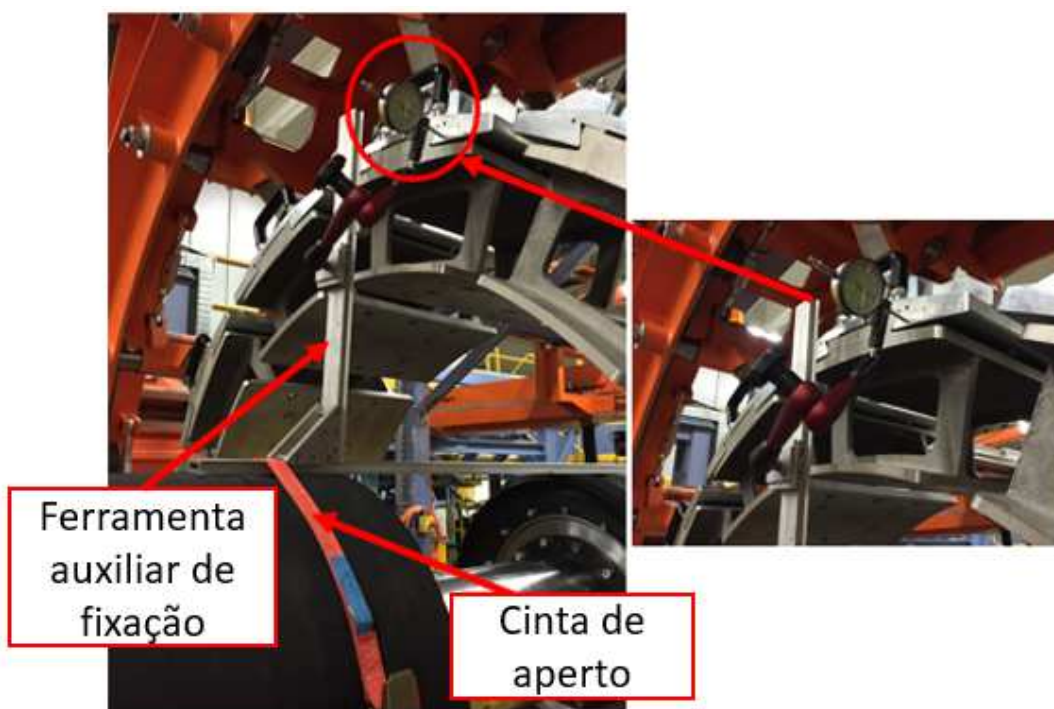


Figura 36 - Montagem de equipamentos de medição de concentricidade e paralelismo entre BTR e SM (antes)

Um comparador é usado para medir variações na concentricidade ou no paralelismo do tambor em relação a cada segmento do BTR. A fixação do comparador é feita através de um tripé que facilita o manuseamento do comparador entre posições. A fixação do tripé devido às grandes dimensões do BTR impõe o uso de uma ferramenta auxiliar de fixação. A ferramenta auxiliar de fixação é um conjunto de perfis metálicos fixados por cinta de aperto ao tambor de modelação, e que oferecem a possibilidade de fixação de um comparador numa extremidade para medições.

Propostas de melhoria selecionadas:

- Nova base de fixação de tripé que permita dois tripés em simultâneo e potencie a leitura das medições de concentricidade e paralelismo;
- Facilitar a fixação da ferramenta através de aperto rápido e fixação ao veio;
- Uso de medição a *laser* ou uso de tecnologia alternativa;
- Substituição de comparadores analógicos por digitais.

A mesma ferramenta utilizada em “CTU + tambor de modelação” foi também projetada para esta atividade. Permite a fixação de dois comparadores com o uso de extensões e ligação aparafusada no topo da estrutura, como podemos observar na Figura 37. O que permitiu maior estabilidade e repetibilidade das medições.

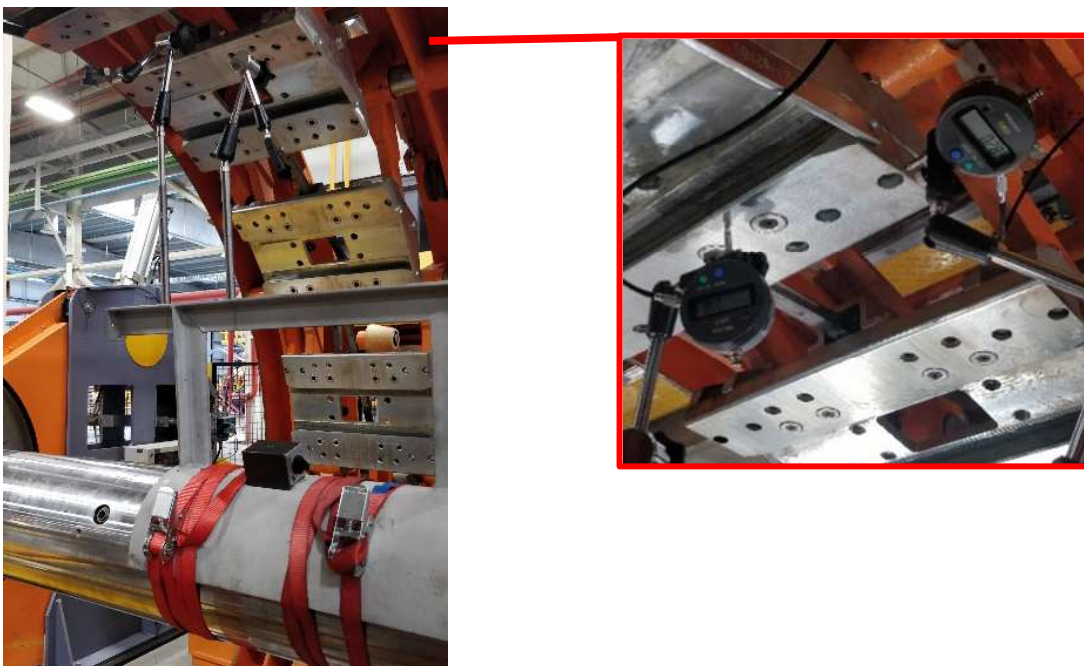


Figura 37 - Montagem de equipamentos de medição de concentricidade e paralelismo entre BTR e SM (depois)

3.5.1.4 Etapa 4: Uniformizar as tarefas manuais

O número de técnicos de manutenção disponíveis para a realização da intervenção tem impacto na duração total do procedimento, assim como a sequência das atividades. Foram elaborados três cenários, a execução do procedimento com uma, duas ou três equipas técnicas. Foi feito um estudo de otimização de sequência de intervenção com recurso ao *software* MS Project, com a documentação gerada no Anexo 6.8, tendo em conta as seguintes condicionantes:

- O método de trabalho implica que cada atividade seja efetuada com o mínimo de dois técnicos de manutenção;
- Algumas atividades não podem ser realizadas simultaneamente;

- Algumas atividades devem ser feitas em sequência pela proximidade de execução ou pela correlação de tolerâncias.

Com estas condicionantes, foi elaborada uma tabela de precedências e os resultados obtidos para os cenários traçados podem ser vistos na Figura 38. Podemos concluir que a intervenção é menos demorada com três equipas de manutenção.

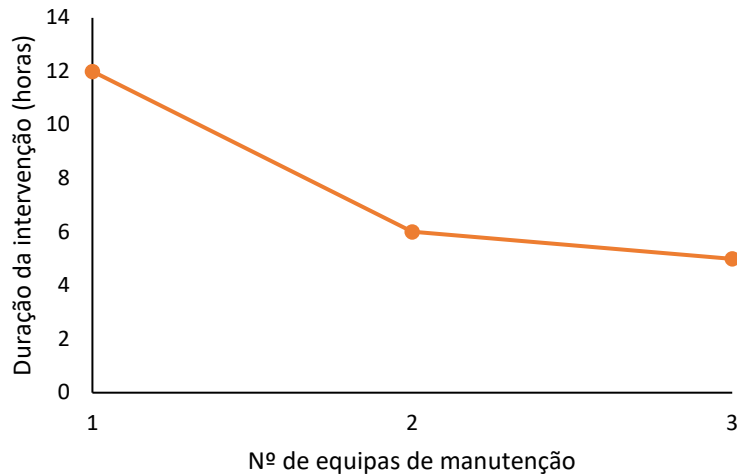


Figura 38 - Gráfico Duração de intervenção vs nº de equipas de manutenção.

No entanto, recorrendo ao gráfico da Figura 39, podemos determinar o cenário preferível são duas equipas de manutenção com dois técnicos. O custo total mais baixo dá-se quando temos duas equipas, sendo este um somatório entre mão de obra e custo por paragem de máquina.

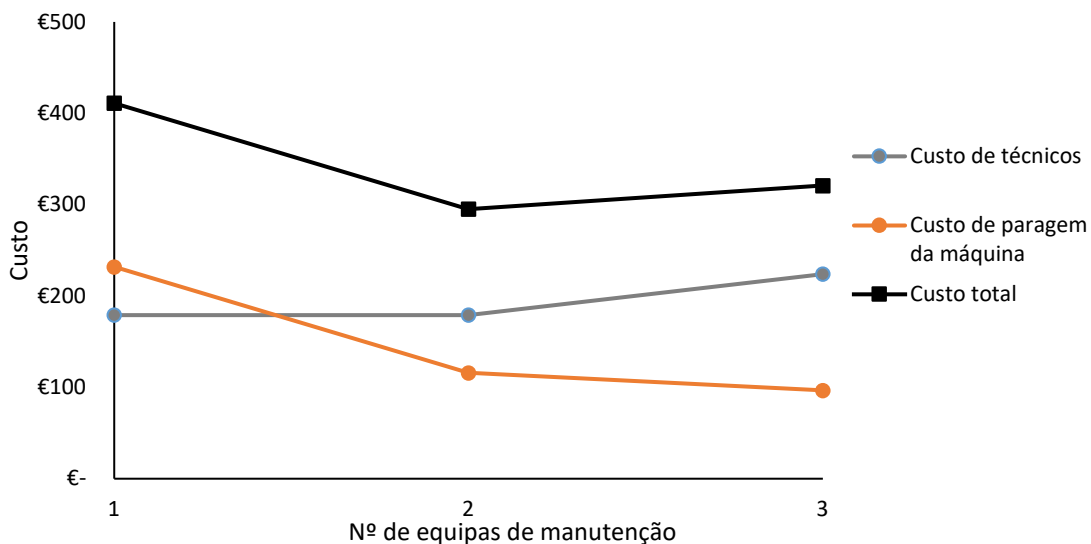


Figura 39 - Gráfico de custos por nº de equipas de manutenção.

Determinado o número de equipas, foi possível selecionar uma sequência de intervenção. Instruções de trabalho detalhadas foram realizadas tendo em conta a sequência selecionada para servirem também como manual de formação. O objetivo é evitar falhas de interpretação dos técnicos, indecisão e uniformizar o método utilizado. As instruções de trabalho podem ser consultadas no Anexo 6.9. Além de instruções de

trabalho, foram elaboradas tabelas de registo de medições que podem ser consultadas no Anexo 6.10.

3.5.1.5 Etapa 5: Minimizar atividades externas

As atividades externas indicadas no subcapítulo 3.4.2 são bastante reduzidas. Existem condicionantes de segurança que impõe que a maior parte das atividades sejam efetuadas com a máquina totalmente parada. No entanto, as atividades externas indicadas são atividades de inspeção visual e de rápida execução.

3.5.1.6 Resultados práticos da aplicação do SMED

A Tabela 23 representa todos os possíveis ganhos de tempo em detrimento da implementação de cada fase do método SMED.

Tabela 23 - Resultados da aplicação de SMED

Atividade		Antes		Depois	
		Percentagem (%)	Tempo (minutos)	Percentagem (%)	Tempo (minutos)
<i>Carcass machine</i>	Externa	0%	0	16%	115
	Interna	37%	395	23%	170
<i>Belt machine</i>	Externa	0%	0	1%	10
	Interna	32%	345	27%	200
<i>Shaping machine</i>	Externa	0%	0	0%	0
	Interna	31%	325	32%	235
Total		100%	1065	100%	730

Resumindo, a etapa 2 permitiu a redução do tempo de execução ao converter 17% de atividades internas para atividades externas, nomeadamente uma atividade muito demorada de verificação de descentramento do tambor. A etapa 3 permitiu a melhoria de algumas das atividades do MTC mais demoradas, nomeadamente a calibração dos *lasers*, que se passou a realizar por chapas de referência e com isso poupar cerca de 50% de tempo e várias verificações de concentricidade e paralelismo, através do projeto de ferramentas para auxílio de medição que permitiram melhorar o tempo de execução e a reprodutibilidade da medição. A diferença entre o tempo total antes e após melhorias é significativa, 1065 minutos reduzidos para 730, representando uma redução de 31%. Na etapa 4, através da melhoria da sequência de método de trabalho e aumento do número de técnicos responsáveis pela execução do MTC, foi possível reduzir ainda mais o tempo de execução.

No entanto é necessário ter em consideração que algumas melhorias representadas são estimadas, na realidade é necessário implementar planos de formação para os técnicos de manutenção responsáveis e ferramentas como 5S para gestão de ferramentas de

trabalho. O ajuste de máquina, nomeadamente, relações de concentricidade e paralelismo entre tambores é outro aspeto que não foi considerado.

3.5.2 Ajustes de máquina

Após a realização do MTC, se houver medições fora da tolerância seleccionada, é necessário realizar ajustes na máquina. A maioria dos ajustes são rápidos, ou apenas modificação de parâmetros de máquina, tais como:

- Ajustes dos *lasers*;
- Ajuste da centragem entre tambores e alimentadores;
- Ajuste de centragem de carretilhas.

No entanto, o ajuste de tambores e unidades de transferência são morosos. Existem três tambores e duas unidades de transferência, o que resulta em 12 medições efetuadas durante o procedimento entre esses componentes. O posicionamento destes componentes é dependente dos seus adjacentes, o que provoca uma relação entre medições e ajustes. De forma simplificada, o ajuste de um componente em relação a um segundo pode ser prejudicial para a relação de posicionamento com um terceiro componente. Este efeito de correlação está ilustrado na Figura 40.

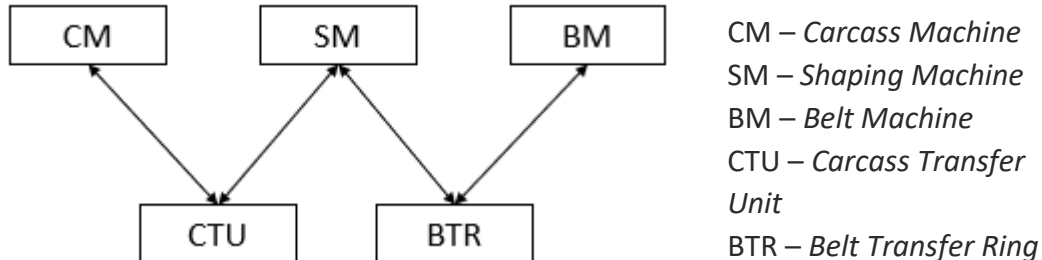


Figura 40 - Relacionamento entre posicionamento de tambores e unidades de transferência

Esta característica da máquina leva à indecisão na resolução de problemas. No sentido de solucionar esta situação, foi elaborado um fluxograma que permite identificar com base nas medições obtidas no MTC a intervenção necessária para corrigir o problema. Este fluxograma é apresentado na Figura 41. Foi ainda acrescentado a verificação do alinhamento do componente SM a uma referência absoluta (fundações da máquina). Esta atividade acrescentada tem como objetivo evitar acumulação de erros ao basear a medição em componentes adjacentes ao invés de referências fixas.

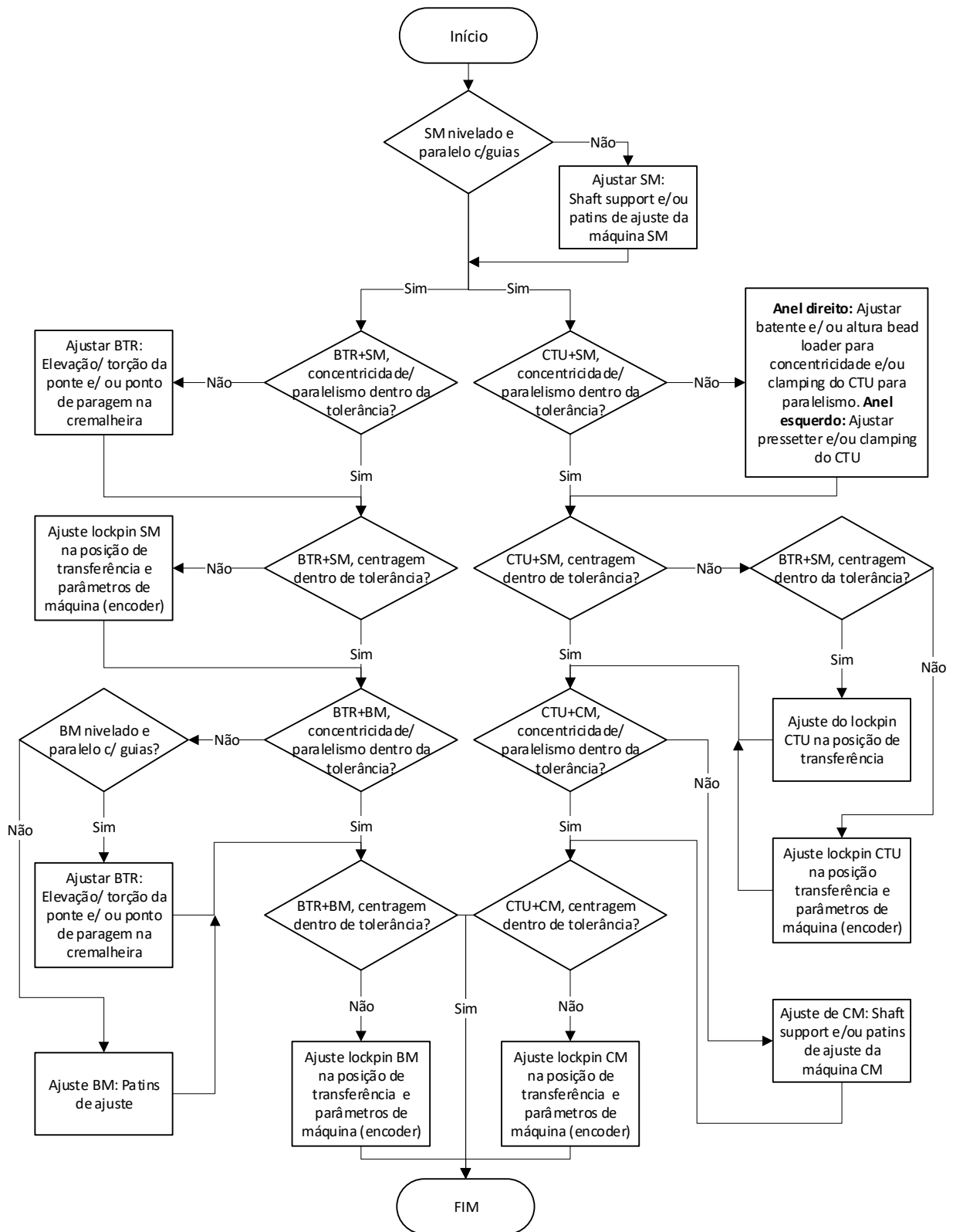


Figura 41 - Fluxograma de decisão de alinhamento

3.5.3 Aplicação de tecnologia avançada de metrologia

Foram exploradas tecnologias alternativas que pudessem diminuir o tempo de execução ou aumentar a precisão e repetibilidade de medições. Uma das opções estudada passou pela implementação de sensores fotoelétricos de medição de distância em vários pontos da máquina. No entanto, devido ao elevado número de medições e características da máquina, essa ideia foi descartada.

Outra opção explorada foi o uso de tecnologias inovadoras e pouco utilizadas em manutenção recorrente de máquinas:

- Tecnologias de medição com *laser trackers*;
- Braços de medição articulados;
- *Scanners 3D*.

O método mais viável para a aplicação em questão acabou por ser *scanners 3D*, como o que podemos visualizar na Figura 42.



Figura 42 - MetraScan 3D

Trata-se de um dispositivo que permite recolher uma nuvem de coordenadas ao longo de um volume de 16 m³. Na Figura 43 conseguimos visualizar o processo de recolha de coordenadas e a visualização das mesmas em simultâneo no computador.

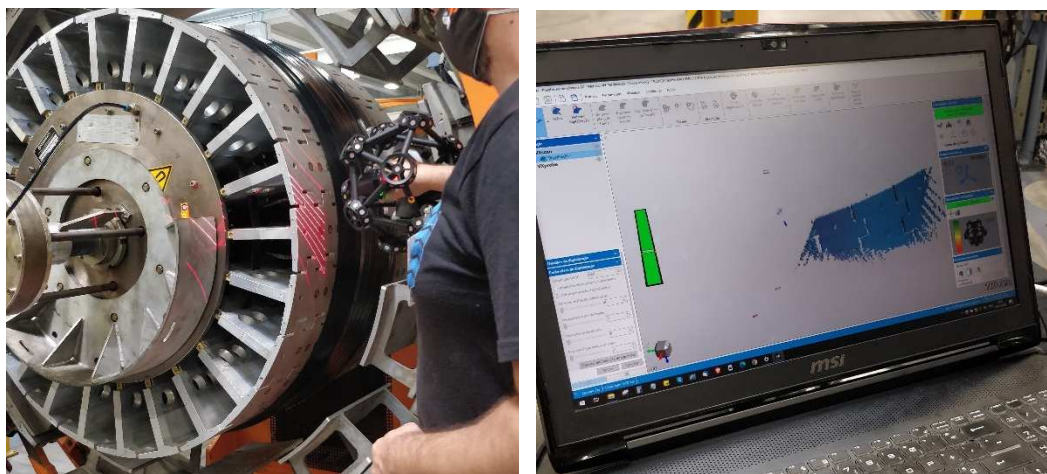


Figura 43 - Demonstração do uso do aparelho de medição MetraScan 3D

Os dados recolhidos podem ser posteriormente analisados de modo a determinar o estado de alinhamento dos componentes. Através de pontos de coordenadas é possível avaliar planos, eixos e pontos, e determinar a relação entre eles, como paralelismos, perpendicularidade e concentricidades.

As vantagens do uso desta tecnologia são as seguintes:

- ✓ Rápida recolha de grande quantidade de dados;
- ✓ Recolha de informação que de outra forma seria impossível de avaliar;
- ✓ Precisão de dados recolhidos;
- ✓ Armazenamento permite consultar informação sempre que necessário;
- ✓ Análise do estado de alinhamento pode ser executada posteriormente à recolha de dados.

No entanto, o uso desta tecnologia acarreta alguns aspetos menos desejados, dos quais:

- ✗ Tempo de preparação e posicionamento dos equipamentos para recolha de dados;
- ✗ Necessidade de mão de obra qualificada para manuseamento e tratamento de dados;
- ✗ Investimento inicial elevado.

O uso de medição por *scanner* 3D revelou-se útil no sentido de inspecionar a máquina com precisão. Se o objetivo for a redução de custos, poderá não ser a opção mais viável. No entanto existem inúmeras aplicações desta tecnologia que podem trazer poupanças significativas para empresa.

3.5.4 Impacto do MTC na qualidade do produto

O MTC é uma intervenção sugerida pelo departamento de qualidade, sendo o objetivo minimizar ou anular defeitos de qualidade provocados pelo desalinhamento da máquina de construção. Neste subcapítulo, é explorado o impacto do desalinhamento da máquina de construção na qualidade do produto final.

3.5.4.1 Testes de qualidade

Existem vários testes de qualidade realizados após a construção de um pneu, de modo a averiguar e garantir a concordância com os parâmetros de produto definidos inicialmente, dos quais:

- **Raio X:** permite determinar desvios dos componentes que contêm constituintes metálicos;
- **Xerografia:** teste de qualidade não destrutivo que permite avaliar vazios internos;
- **Radial Run-out:** verifica o balanceamento;
- **Máquina de inspeção visual:** estação onde são examinados defeitos superficiais como bolhas;

- **Corte transversal:** Teste destrutivo que permite avaliar a secção transversal de um pneu, localização e alinhamento dos vários componentes constituintes.

3.5.4.2 Análise estatística de característica de qualidade

Foram levantados dados de alinhamento de vários componentes constituintes do pneu. Os dados podem ser vistos na Tabela 24, tendo sido obtidos por raio-X. Esta contém uma sequência de 25 medições individuais a 25 pneus da mesma referência. A parte esquerda da tabela contém medições a pneus antecedentes à realização do alinhamento de máquina. A parte direita contém 25 medições a pneus posteriores.

Tabela 24 - Dados relativos ao alinhamento de um componente obtidos por Raio-X

Observações antes do MTC	Desvio [mm]	Amplitude Móvel	Observações após MTC	Desvio [mm]	Amplitude Móvel
Pneu -25	1,50		Pneu 1	3,50	
Pneu -24	-2,25	3,75	Pneu 2	3,00	0,50
Pneu -23	5,00	7,25	Pneu 3	3,00	0,00
Pneu -22	4,00	1,00	Pneu 4	2,00	1,00
Pneu -21	1,50	2,50	Pneu 5	1,50	0,50
Pneu -20	1,50	0,00	Pneu 6	-0,50	2,00
Pneu -19	-2,50	4,00	Pneu 7	3,00	3,50
Pneu -18	-2,50	0,00	Pneu 8	3,50	0,50
Pneu -17	0,95	3,45	Pneu 9	2,00	1,50
Pneu -16	-1,10	2,05	Pneu 10	-3,50	5,50
Pneu -15	2,50	3,6	Pneu 11	-1,50	2,00
Pneu -14	-1,50	4,00	Pneu 12	1,50	3,00
Pneu -13	4,50	6,00	Pneu 13	1,00	0,50
Pneu -12	2,50	2,00	Pneu 14	4,00	3,00
Pneu -11	2,50	0,00	Pneu 15	3,50	0,50
Pneu -10	0,00	2,50	Pneu 16	0,50	3,00
Pneu -9	2,00	2,00	Pneu 17	-4,00	4,50
Pneu -8	1,00	1,00	Pneu 18	2,00	6,00
Pneu -7	2,50	1,50	Pneu 19	-3,00	5,00
Pneu -6	0,50	2,00	Pneu 20	-4,00	1,00
Pneu -5	4,00	3,50	Pneu 21	4,00	8,00
Pneu -4	1,50	2,50	Pneu 22	2,00	2,00
Pneu -3	2,50	1,00	Pneu 23	2,00	0,00
Pneu -2	-2,00	4,50	Pneu 24	-6,00	8,00
Pneu -1	1,50	3,50	Pneu 25	3,00	9,00
Média	1,20	2,65	Média	0,90	2,94

Como só possuímos uma medição por cada referência de pneu, procedemos à construção de cartas de controlo de variáveis de valores individuais e amplitude móvel. Admitindo $n=2$ e, conseqüentemente, $d_2=1,128$; $D_3=0$ e $D_4=3,267$, os limites são dados pelas equações (3.1; 3.2 e 3.3):

$$LSC_X = \bar{X} + \frac{3\bar{R}}{d_2} = \bar{X} + 2,66 \times \bar{R} = 1,20 + 2,66 \times 2,66 = 8,25 \quad (3.1)$$

$$LC_X = \bar{X} = 1,20 \quad (3.2)$$

$$LIC_X = \bar{X} - \frac{3\bar{R}}{d_2} = \bar{X} - 2,66 \times \bar{R} = 1,20 - 2,66 \times 2,66 = -5,85 \quad (3.3)$$

Sendo que:

LC_X – linha central representa a média central da amostra analisada;

LSC_X – linha superior de controlo;

LIC_X – limite inferior de controlo.

O gráfico da Figura 44 resulta da representação das medições individuais seleccionadas antes da realização do procedimento de alinhamento de máquina.

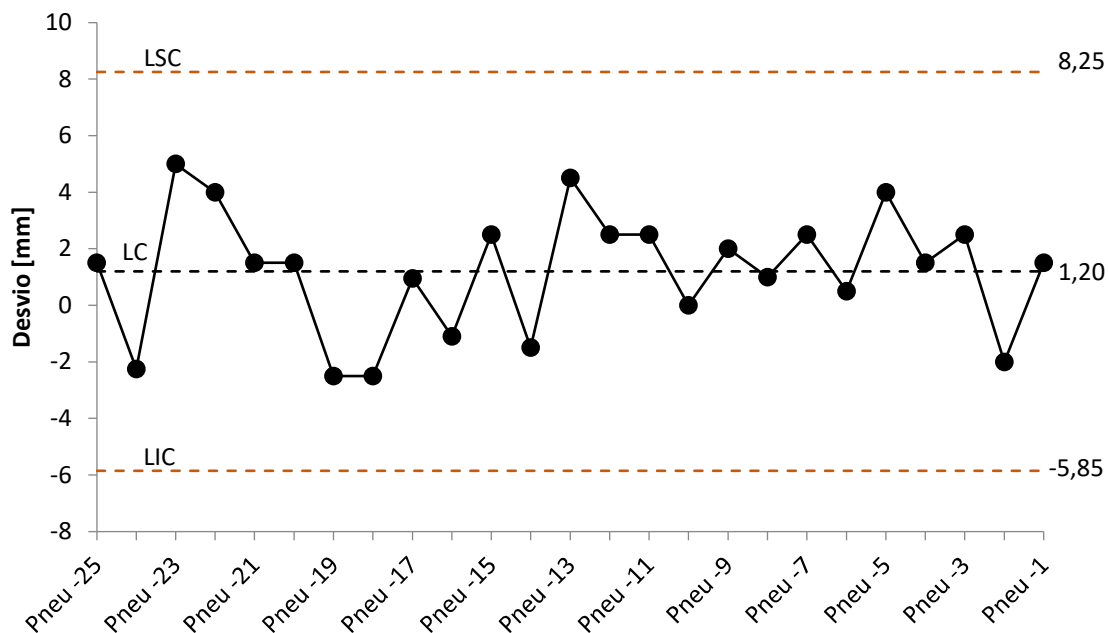


Figura 44 - Carta de controlo das médias de desvio de 1ª cinta antes do MTC

Através da análise do gráfico, podemos concluir que esta característica de qualidade se encontra sob controlo estatístico. O gráfico não contém pontos fora dos limites de controlo, nem viola qualquer das oito regras de causas especiais usadas para avaliar cartas de controlo.

Os limites da carta de controlo das amplitudes móveis foram calculados através das seguintes equações:

$$LSC_R = D_4 \times \bar{R} = 3,27 \times 2,65 = 8,66 \quad (3.4)$$

$$LC_R = \bar{R} = 2,65 \quad (3.5)$$

$$LIC_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 2,65 = 0 \quad (3.6)$$

Sendo que:

LC_R – linha central representa a média central da amostra analisada;

LSC_R – linha superior de controlo;

LIC_R – limite inferior de controlo.

O gráfico da Figura 45 representa a amplitude móvel de variação entre medições.

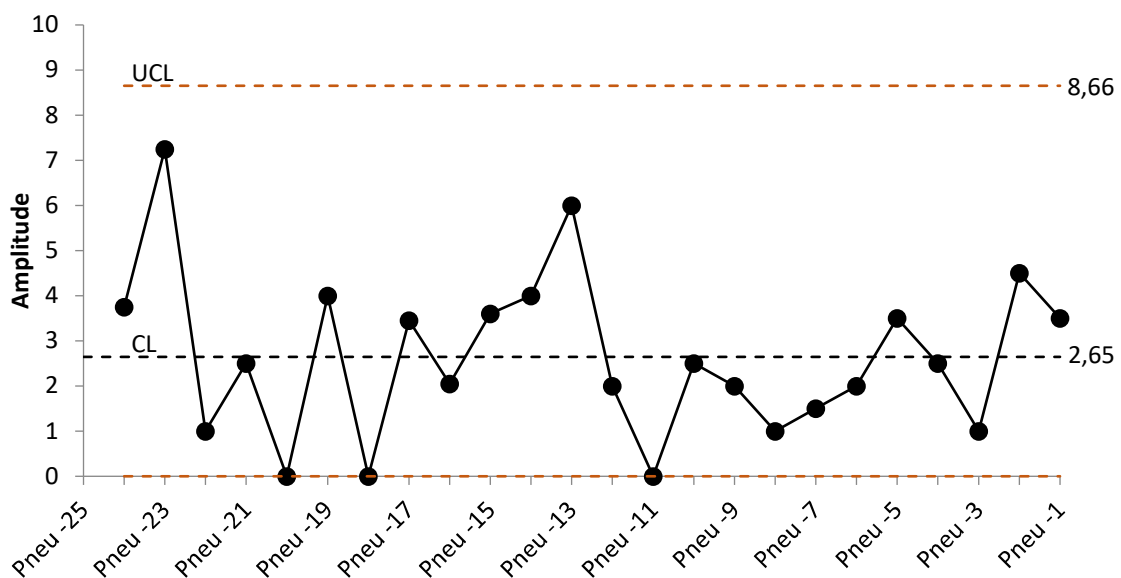


Figura 45 - Carta de controlo de amplitude de desvio de 1ª cinta antes do MTC

Podemos concluir que não existem variações com amplitude fora dos limites de controlo. Logo, esta característica de qualidade encontra-se sob controlo estatístico. Ou seja, mesmo antes de se proceder ao alinhamento da máquina a análise indica-nos, se considerarmos a amostra representativa, que existe 99,72% de probabilidade dos produtos estarem dentro dos limites calculados não ocorrendo nenhuma causa especial de variação.

Recorrendo às observações após MTC da Tabela 24 e das equações (3.1; 3.2; 3.3; 3.4; 3.5 e 3.6), foram calculados os limites de controlo e elaborados os gráficos de controlo para observações após alinhamento da máquina que podem ser vistos na Figura 46 e Figura 47.

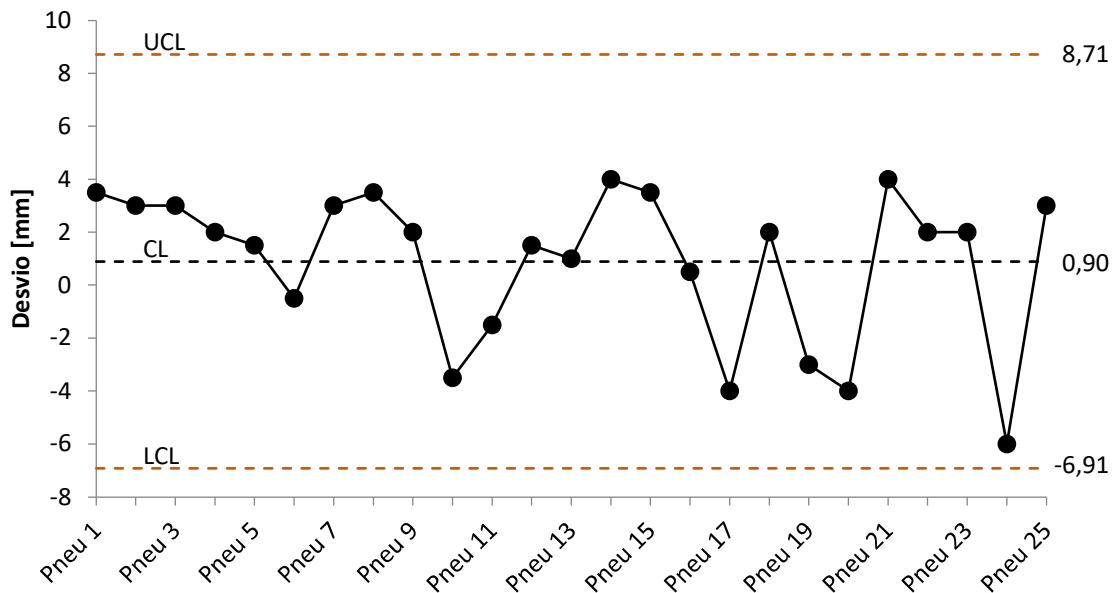


Figura 46 - Carta de controle de observações individuais de desvio de 1ª cinta após MTC

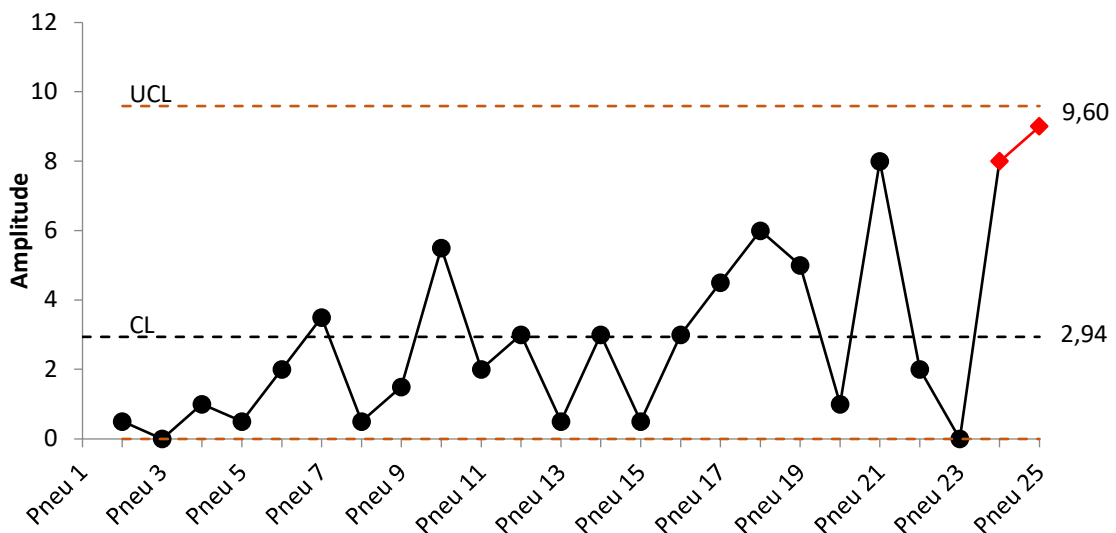


Figura 47 - Carta de controle da amplitude de desvio de 1ª cinta após MTC

Após o alinhamento da máquina, é perceptível uma maior centragem das observações no valor alvo, sendo que LC_R passou de 1,20 para 0,90. No entanto, é também possível concluir que houve maior dispersão nas observações analisadas após o alinhamento da máquina, já que LSC_R passou de 8,66 para 8,71 e LIC_R passou de -5,85 para -6,91. Temos ainda um sinal de aviso de que uma possível causa especial possa ter ocorrido, já que temos dois de três pontos acima de $+2\sigma$ na carta de controlo de amplitudes.

De modo a avaliarmos a capacidade de o processo se manter dentro de limites de especificação, é necessário comparar as observações com os limites impostos. Foram sugeridos limites de especificação aproximados de ± 10 mm. O histograma da Figura 48 representa as observações efetuadas antes do MTC e o limite inferior (LIE) e superior de especificação (LSE).

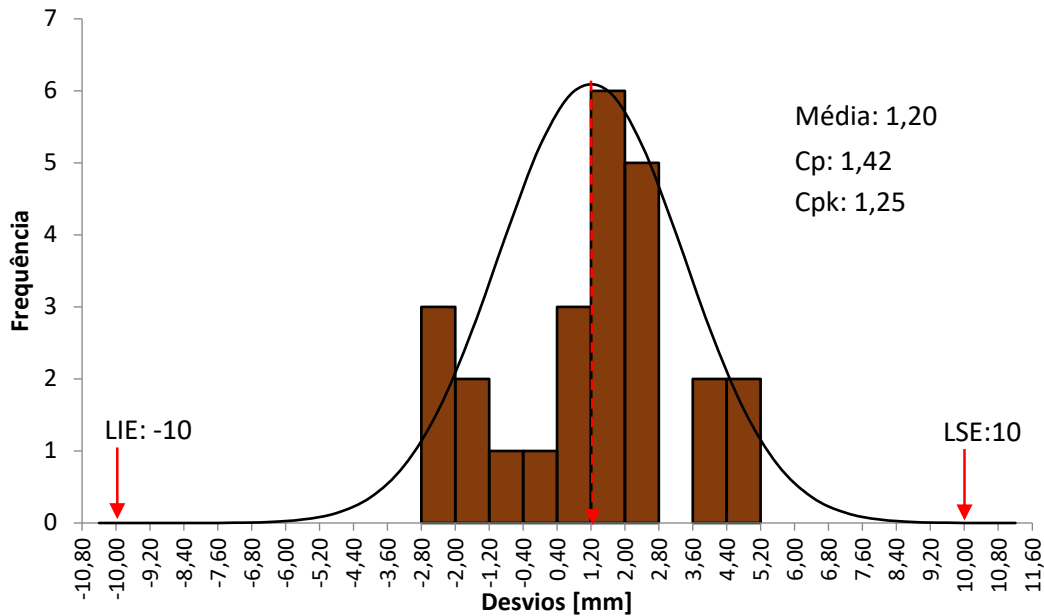


Figura 48 - Histograma de observações individuais recolhidas antes do MTC

Através dos dados indicados no histograma anterior, foi possível calcular os índices de capacidade do processo, através das equações 3.7 e 3.8:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} = \frac{10 - (-10)}{6 \times \left(\frac{2,65}{1,128}\right)} = 1,42 \quad (3.7)$$

$$C_{pk} = \text{Min} \left(\frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}; \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma} \right) \quad (3.8)$$

$$= \text{Min} \left(\frac{10 - 1,20}{3 \times \left(\frac{2,65}{1,128}\right)}; \frac{1,20 - (-10)}{3 \times \left(\frac{2,65}{1,128}\right)} \right) = 1,25$$

Podemos concluir que os resultados obtidos que o processo tem capacidade adequada para se manter entre os limites de especificação pretendidos, já que $C_p > 1,33$. Contudo, como $1 < C_{pk} < 1,33$, podemos verificar que as observações estão descentradas como já era previsível pela média, e que as ações recomendadas são o alinhamento da máquina e correção de descentramento, lembrando que o descentramento das observações pode provocar produtos fora de especificação, mesmo mantendo a capacidade do processo C_p acima de 1,33.

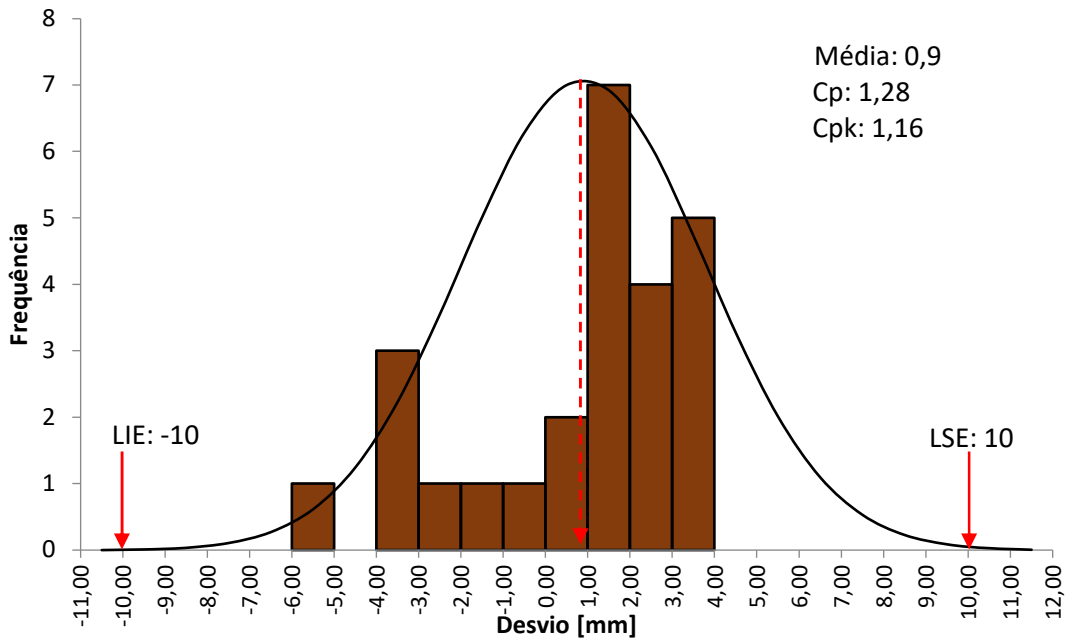


Figura 49 - Histograma de observações individuais recolhidas antes do MTC

Recorrendo às observações após MTC da Tabela 24 e das equações 3.7 e 3.8, foram calculados os índices de capacidade para as observações recolhidas após a realização do alinhamento da máquina, representadas no histograma da Figura 49. Houve uma melhoria na centragem das observações, já que a média desceu de 1,20 para 0,90. No entanto, os índices de capacidade Cp e Cpk desceram, já que houve maior variação nas observações recolhidas.

A análise foi alargada a outros componentes do pneu, com observações da mesma característica. Os resultados podem ser observados na Tabela 25. No anexo 6.12 poderão ser vistos os gráficos de controlo de todos os componentes analisados.

Tabela 25 - Quadro resumo de resultados dos vários componentes analisados.

	1º		2º		3º		4º		5º	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
LSC	8,25	8,71	7,60	8,40	7,28	8,04	9,25	8,46	8,30	6,02
LC	1,20	0,90	0,00	0,20	1,18	0,28	1,80	1,11	1,84	-0,08
LIC	-5,84	-6,91	-7,60	-8,00	-4,93	-7,48	-5,58	-6,18	-4,63	-6,18
Cp	1,60	1,28	1,46	1,22	1,71	1,29	1,50	1,37	1,34	1,35
Cpk	1,49	1,16	1,34	1,20	1,68	1,25	1,26	1,21	1,20	1,34

Através da análise de todos os dados, são notórios os efeitos do alinhamento de máquina nas características de qualidade dos pneus analisados. Estes foram praticamente consistentes em todos os componentes.

- **Centragem dos dados:** em praticamente todos os componentes analisados, o limite central (média dos valores medidos) estão centrados mais próximos do valor desejado (zero).
- **Aumento de variação:** todos os casos analisados mostraram um aumento de variação da característica de qualidade analisada.
- **Diminuição de capacidade do processo:** registado em praticamente todos os componentes uma diminuição de capacidade do processo, tendo em conta os limites de especificação utilizados, o que está relacionado com o aumento da variação dos dados medidos após a realização do alinhamento.

Não é evidente a causa raiz de maior variação após alinhamento, e se está ou não relacionada com a intervenção. No entanto, com esta análise foi possível verificar que é possível controlar através de cartas de controlo algumas características de qualidade diretamente relacionadas com o MTC, e assim antever a necessidade de intervenção, em vez da realização do MTC com periodicidade pré-definida (modo atual). Esta ação de manutenção pode ser feita sob condição do estado da máquina. Todas as características sugeridas passíveis de serem controladas através de cartas de controlo, foram sugeridas à empresa e ilustradas na Figura 50.

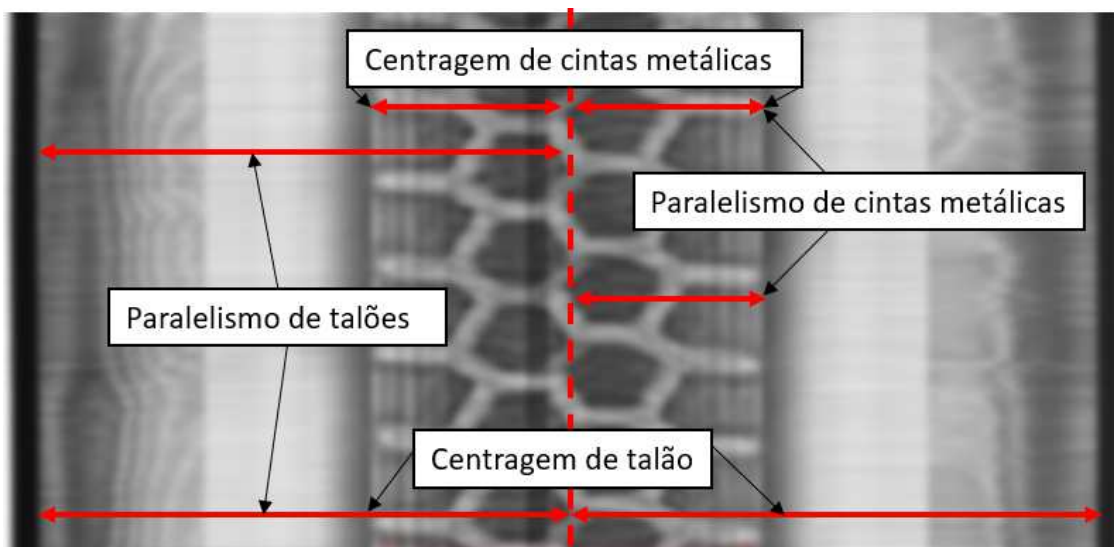


Figura 50 - Medidas de controlo de componentes através de medição em imagens raio-X

3.5.4.3 Relação entre medições controladas pelo MTC e geração de defeitos

A análise de causas dos vários defeitos de qualidade mais comuns é uma análise complexa, com muitas variáveis que podem ser analisadas. Foi apresentada a análise de um possível defeito de qualidade em vários componentes do pneu, no entanto, é possível antever que o MTC pode prevenir outros defeitos de qualidade ou de processo.

Na Tabela 26 relacionamos as medições efetuadas, problema de qualidade ou produção e possíveis causas do problema.

Tabela 26 - Problemas de qualidade e/ou produção relacionados com medições MTC

Tolerância de máquina/medição	Problema de produção /qualidade associado	Possíveis causas do problema
Centragem entre tambores e alimentadores	Dificuldade acrescida para os operadores alinharem o material corretamente	Alterações no programa; Desafinação de <i>lockpin</i> .
Diâmetros do tambor	Tamanho do pneu não conforme	Montagem inadequada do tambor (<i>set-up</i>).
Centragem de carretilhas	Cartilhagem não simétrica. Possibilidade de bolhas e outros defeitos visuais	Tensão das correias; Folgas; Desgaste.
Desajuste dos <i>lasers</i>	Falta de alinhamento dos componentes do esboço de pneu	Desaperto dos parafusos afinadores do sistema <i>laser</i> . ➤ Vibração da máquina.
Concentricidade dos tambores	Problemas de produção no transporte do produto	Desgaste de componentes; Flexão dos veios que suportam os tambores;
Paralelismo dos tambores	Falta de alinhamento dos diferentes componentes do esboço de pneu	Desgaste de componentes; Flexão dos veios que suportam os tambores;
Centragem dos tambores	Falta de alinhamento dos diferentes componentes do esboço de pneu	Desafinação do <i>lockpin</i> ; Empeno do sistema de <i>lockpin</i> ; ➤ Encravamentos;
Carregador de talões	Problemas de produção na passagem dos materiais	Desafinação de batente Empenos.

Com esta tabela, pretende-se identificar os principais problemas ou sintomas de que é necessário um alinhamento de máquina, ou seja, sugerem que a periodicidade definida não é suficiente para a prevenção destes problemas de qualidade/produção. As possíveis causas podem ser aprofundadas e evitadas com alterações na máquina e sistema se o problema for crítico.

CONCLUSÕES

4.1 Conclusões

4.2 Propostas de trabalhos futuros

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

Esta dissertação teve como objetivo o estudo e análise de atividades de manutenção planeada de forma a reduzir o tempo de indisponibilidade de máquinas de construção de pneus, nomeadamente num procedimento em particular, de verificação do estado de alinhamento.

As melhorias de ações de manutenção podem ter contributos significativos para uma organização. Planos estratégicos definem prioridades organizacionais, periodicidades e alocação de recursos de manutenção. No entanto, é necessário garantir a nível operacional que as ações propostas são executadas corretamente, fornecendo o treino adequado e ferramentas necessárias à correta execução, bem como registo de informações relevantes.

Uma das ações de manutenção abordadas foi o estado de alinhamento das máquinas. Vibração, desgaste, cargas operacionais e impactos, são alguns dos problemas que desafiam o estado de correto alinhamento. O correto planeamento de ações preventivas desta natureza garantem a qualidade do produto e normal operacionalidade. A Tabela 27, resume o estado de conclusão dos objetivos estabelecidos inicialmente.

Tabela 27 - Estado de conclusão dos objetivos inicialmente traçados.

Objetivo	Solução	Estado
1. Otimização dos processos com vista à redução de tempos de execução do MTC nas máquinas de construção de pneus de grandes dimensões	Aplicação de SMED e nova sequência do procedimento.	Concluído
	Projeto de suportes de auxílio à medição.	Concluído
	Fluxograma de resolução de problemas.	Concluído
	Aplicação de novas tecnologias de metrologia.	Não finalizado
2. Elaboração de documentação <i>standard work</i> para procedimento MTC	Realização de documentação <i>standard work</i> .	Concluído

	Análise às paragens mais frequentes.	Concluído
3. Análise do planeamento de manutenção preventiva	Realização de documentação <i>standard work</i> .	Concluído
	Realização de <i>checklist</i>	Não executado

A melhoria de procedimentos de verificação de tolerâncias em máquinas de construção compreendeu três fases distintas.

1. Aplicação de ferramenta SMED que permitiu reduzir a duração de intervenção em cerca de 31%, o que resulta em ganhos de cerca de 20 000€ nos próximos quatro anos. Permitiu ainda identificar treino e formação dos técnicos de manutenção e aplicação da filosofia 5S como principais oportunidades de melhoria. A elaboração de documentação de instruções de trabalho foi realizada com sucesso, permitindo absorver as melhorias atingidas e uniformizar o método de trabalho.
2. A aplicação de tecnologias inovadoras de medição foi testada, o que revelou vantagens e desvantagens. Estas foram consideradas de modo a definir a estratégia implementada de manutenção em alinhamento de máquinas.
3. O impacto da realização de alinhamentos de máquinas numa das características de qualidade do produto foi analisado. O processo revelou-se sob controlo estatístico e dentro dos limites de capacidade do processo. Sendo que o método utilizado pode ser usado como referência a análises posteriores ao alinhamento de equipamentos.

Foi realizado uma análise às paragens mais frequentes das máquinas OTR. Estas revelaram em primeiro plano a dificuldade de extração dos dados, e que as paragens mais frequentes se devem a problemas de controlo lógico de resolução rápida, sensores danificados ou sujios e sistemas de corte.

Instruções de trabalho foram realizadas tendo em conta as ações preventivas recomendadas pelo fabricante e avarias mais frequentes. Com a sua implementação é esperado um impacto positivo nos indicadores de desempenho de manutenção.

Por fim, foi analisada uma ferramenta de registo de informação relativa à execução de ações preventivas com recurso a programação MS Excel[®]. No entanto, não foi implementado devido à constante evolução e alteração futura dos procedimentos.

4.2 Propostas de trabalhos futuros

Os trabalhos futuros propostos, de modo a melhorar procedimentos de manutenção preventiva, são os seguintes:

- Criação de um sistema de identificação de avarias e contagem de tempos de paragem para facilitar a análise de histórico;
- Controlar a evolução dos indicadores de desempenho de manutenção para validar as instruções de trabalho;
- Atualização das ações preventivas consoante histórico de avarias e indicadores de desempenho.

Os trabalhos futuros propostos de modo a melhorar procedimentos de inspeção e alinhamento de máquinas OTR, são os seguintes:

- Dotar as equipas de formação na execução e objetivo do procedimento de trabalho elaborado;
- Dotar as equipas de formação na interação com o HMI das máquinas;
- Organização de equipamentos de medição MTC através da filosofia 5S, nomeadamente através da criação de um carro porta-ferramentas.

O estudo estatístico de qualidade que foi executado tem limitações, já que foram analisados apenas 50 pneus com observações individuais. De modo a dar continuidade a este tópico são recomendadas as seguintes ações:

- Implementação de cartas de controlo em todos os aspetos de qualidade que são críticos para o desempenho do produto e que os alinhamentos de máquinas têm influência;
- Criação de cartas de controlo automatizado para que sejam gerados alertas automaticamente;
- Criação de formas de comunicação entre departamentos da qualidade e departamento de engenharia para que possa ser gerido ações de manutenção de alinhamento de máquinas da melhor forma.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] V. M. Pinto, “Gestão da manutenção,” IAPMEI, 1994. ISBN: 972-9205-57-4
- [2] A. Kardec and J. Nascif, *Manutenção, Função estratégica*. Qualitymark Editora Ltda, 2009. ISBN: 0071467335
- [3] S. David, “A review of overall models for maintenance management,” *J. Qual. Maint. Eng.*, vol. 6, no. 3, pp. 138–164, Jan. 2000.
- [4] J. Moubray, *Reliability-centered maintenance*. Industrial Press Inc., 2001.
- [5] R. K. Mobley, *An introduction to predictive maintenance*. Elsevier, 2002.
- [6] P. Gackowiec, “General overview of maintenance strategies – concepts and approaches,” *Multidiscip. Asp. Prod. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 126–139, 2019.
- [7] A. A. Sambrekar, C. R. Vishnu, and R. Sridharan, “Maintenance strategies for realizing Industry 4.0: An overview,” in *International Conference in Emerging Trends in Engineering, Science and Technology (ICETEST 2018)*, 2018, pp. 341–348.
- [8] G. Waeyenbergh and L. Pintelon, “A framework for maintenance concept development,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 77, pp. 299–313, 2002.
- [9] A. C. Márquez, *The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance*. Springer Science & Business Media, 2007.
- [10] E. I. Basri, I. H. A. Razak, H. Ab-Samat, and S. Kamaruddin, “Preventive Maintenance (PM) planning: a review,” *J. Qual. Maint. Engineering*, vol. 23, 2017.
- [11] F. Ghazi Nezami and M. Yildirim, “A sustainability approach for selecting maintenance strategy,” *Int. J. Sustain. Eng.*, vol. 6, Dec. 2013.
- [12] I.J. Jeong, V. J. Leon, and J. R. Villalobos, “Integrated decision-support system for diagnosis, maintenance planning, and scheduling of manufacturing systems,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 45, no. 2, pp. 267–285, Jan. 2007.
- [13] F. I. Khan and M. M. Haddara, “Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning,” *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 16, no. 6, pp. 561–573, 2003.
- [14] S. Borkowski, A. Czajkowska, R. Stasiak-Betlejewska, and A. B. Borade, “Application of TPM indicators for analyzing work time of machines used in the pressure die casting,” *J. Ind. Eng. Int.*, vol. 10, no. 2, p. 55, 2014.
- [15] K. E. McKone, R. G. Schroeder, and K. O. Cua, “The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance,” *J. Oper. Manag.*, vol. 19, no. 1, pp. 39–58, 2001.

- [16] S. Ahuja and K. Khamba, "Total productive maintenance: Literature review and directions," *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 25, no. 7, pp. 709–756, Jan. 2008.
- [17] J. Patrik and L. Magnus, "Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE," *Int. J. Oper. & Prod. Manag.*, vol. 19, no. 1, pp. 55–78, Jan. 1999.
- [18] P. Muchiri and L. Pintelon, "Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 46, no. 13, pp. 3517–3535, Jul. 2008.
- [19] I. Ivancic, "Development of maintenance in modern production," in *Euromaintenance'98 Conference Proceedings*, 1998, pp. 5–7.
- [20] G. F. L. Pinto, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, R. B. Casais, A. J. Fernandes, and A. Baptista, "Continuous improvement in maintenance: A case study in the automotive industry involving Lean tools," *Procedia Manuf.*, vol. 38, no. 2019, pp. 1582–1591, 2019.
- [21] P. Guariente, I. Antonioli, L. P. Ferreira, T. Pereira, and F. J. G. Silva, "Implementing autonomous maintenance in an automotive components manufacturer," *Procedia Manuf.*, vol. 13, pp. 1128–1134, 2017.
- [22] I. M. Ribeiro, R. Godina, C. Pimentel, F. J. G. Silva, and J. C. O. Matias, "Implementing TPM supported by 5S to improve the availability of an automotive production line," *Procedia Manuf.*, vol. 38, no. 2019, pp. 1574–1581, 2019.
- [23] A. P. Dillon and S. Shingo, *A revolution in manufacturing: the SMED system*. CRC Press, 1985.
- [24] E. Sousa, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, M. T. Pereira, R. Gouveia, and R. P. Silva, "Applying SMED methodology in cork stoppers production," *Procedia Manuf.*, vol. 17, pp. 611–622, 2018.
- [25] T. Vieira *et al.*, "Optimization of the cold profiling process through SMED," *Procedia Manuf.*, vol. 38, pp. 892–899, 2019.
- [26] C. Rosa, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, and R. Campilho, "SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry," *Procedia Manuf.*, vol. 13, pp. 1034–1042, 2017.
- [27] S. Borris, *Total productive maintenance*. McGraw-Hill New York, 2006. ISBN: 0071467335
- [28] J. T. Farinha, D. Galar, A. Shagluf, and A. P. Longstaff, "Maintenance strategies to reduce downtime due to machine positional errors," *Proc. Maint. Perform. Meas. Manag. Conf. 2014*, pp. 111–118, 2014.
- [29] A. Shagluf, A. P. Longstaff, S. Fletcher, P. Denton, and A. Myers, "The importance of assessing downtime cost related factors towards an optimised machine tool calibration schedule," pp. 182–187, 2013.
- [30] A. P. Longstaff, A. Shagluf, A. Longstaff, S. Fletcher, and P. Denton, "Towards a Downtime Cost Function to Optimise Machine Tool Calibration Schedules," no. October, pp. 231–240, 2013.
- [31] A. Weckenham, G. Akkasoglu, and T. Wemer, "Quality Management - History and Trends," *TQM J.*, vol. 27, no. 3, pp. 281–293, 2015.

- [32] L. M. Fonseca and J. P. Domingues, "Reliable and Flexible Quality Management Systems in the Automotive Industry: Monitor the Context and Change Effectively," *Procedia Manuf.*, vol. 11, no. June, pp. 1200–1206, 2017.
- [33] J. Pan, "Determination of the optimal allocation of parameters for gauge repeatability and reproducibility study," *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 21, no. 6, pp. 672–682, 2004.
- [34] L. M. Fonseca, "FROM quality gurus and TQM to ISO 9001:2015: A review of several quality paths," *Int. J. Qual. Res.*, vol. 9, no. 1, pp. 167–180, 2015.
- [35] W. Deming, *Out of the crisis*. Massachusetts Institute of Technology, center for Advanced Engineering Study, 1986.
- [36] B. Neyestani, "Principles and Contributions of Total Quality Mangement (TQM) Gurus on Business Quality Improvement," *SSRN Electron. J.*, 2017.
- [37] V. Wayhan, B. Khumawala, and E. Balderson, "Empirical enhancements to Deming's chain reaction model," *Total Qual. Manag.*, vol. 21, no. 7, pp. 779–789, 2010.
- [38] N. Suga and P. Rollings, *Metrology Handbook*. 2016. ISBN: 9780873898386
- [39] L. M. Fonseca, J. P. Domingues, and J. dos Guimarães Sá, "Leading quality in the 21st century: Profiles of quality and organizational excellence managers," *Qual. - Access to Success*, vol. 18, no. 161, pp. 34–38, 2017.
- [40] A. M. H. Pereira, M. R. Silva, M. A. G. Domingues, and J. C. Sá, "Lean six sigma approach to improve the production process in the mould industry: A case study," *Qual. Innov. Prosper.*, vol. 23, no. 3, pp. 103–121, 2019.
- [41] L. M. C. M. da Fonseca, "In search of Six Sigma in Portuguese SMEs," *Int. J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 8, no. 1, pp. 31–38, 2017.
- [42] B. Barbosa, M. T. Pereira, F. J. G. Silva, and R. D. S. G. Campilho, "Solving Quality Problems in Tyre Production Preparation Process: A Practical Approach," *Procedia Manuf.*, vol. 11, no. June, pp. 1239–1246, 2017.
- [43] A. R. Pires, *Qualidade - Sistemas de Gestão da Qualidade*. SILABO, 2007.
- [44] Z. L. Pereira and J. G. Requião, *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*. Lisboa: Prefácio - Edição de Livros e Revistas Lda. e FCT - Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2008.
- [45] L. Fonseca, "Organização Industrial." ISEP, 2017.
- [46] B. Hubert Meagher, "Machine alignment handbook," *OASIS Alignment Services*, pp. 1–20, 2013.
- [47] J. Piotrowski and H. Saunders, *Shaft Alignment Handbook*, vol. 111, no. 1. 1989.
- [48] M. Smith and R. Gross, "Precision alignment of winders," *millwise*, pp. 1–4, 2015.
- [49] C. Peppin, "Why Post-Maintenance Rotary Drum Alignment Is Critical," *Feeco international*, 2016. [Online]. Available: <https://feeco.com/why-post-maintenance-rotary-drum-alignment-is-critical/>.
- [50] G. T. Smith, *Machine Tool Metrology*. 2016. ISBN: 9783319251073

- [51] T. Reilly, "A Review of Signal Processing and Analysis Tools for Comprehensive Rotating Machinery Diagnostics BT - Rotating Machinery, Structural Health Monitoring, Shock and Vibration, Volume 5," in *Shock*, 2011, vol. 5, no. April, pp. 463–479.
- [52] A. Donges and R. Noll, *Laser Measurement Technology: Fundamentals and Applications*. 2015.
- [53] R. H. Schmitt *et al.*, "Advances in Large-Scale Metrology – Review and future trends," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 65, no. 2, pp. 643–665, 2016.
- [54] G. LeGrand, "Fabricantes de pneus aumentam a eficiência com alinhamento de máquinas de precisão," *OASIS Alignment Services*, 2018.
- [55] C. Caldeira, "Continental: mercado espera pneus agrícolas disponíveis em 100 dimensões em 2019," 2018. [Online]. Available: <http://agriculturaemar.com/continental-mercado-espera-pneus-agricolas-disponiveis-em-100-dimensoes-em-2019/>. [Accessed: 23-Mar-2020].
- [56] C. S. Pinto, "Projeto 'Agro Tires,'" 2016. [Online]. Available: <https://www.compete2020.gov.pt/noticias/detalhe/Proj7775-Agro-Tires-ContinentalMabor>. [Accessed: 23-Mar-2020].
- [57] Continental, "Commercial Specialty Tires." [Online]. Available: <https://www.continental-tires.com/specialty>. [Accessed: 23-Mar-2020].
- [58] AgroNegócios, "Continental lança novos pneus agrícolas em Portugal," 2017. [Online]. Available: <http://www.agronegocios.eu/noticias/continental-lanca-novos-pneus-agricolas-em-portugal/>. [Accessed: 24-Mar-2020].

ANEXOS

- 6.1 Manutenção preventiva OTR zona de carcaças
- 6.2 Manutenção preventiva OTR zona de cintas
- 6.3 Manutenção preventiva OTR zona de modelação
- 6.4 Relatório de acompanhamento do procedimento MTC
- 6.5 Desenho técnico – base de fixação de comparador tambor de carcaça
- 6.6 Desenho técnico – base de fixação de comparadores tambor de modelação
- 6.7 Detenho técnico – Aumentos de tripé de comparador
 - 6.8 Diagrama de Gant do procedimento MTC
 - 6.9 Instruções de trabalho de procedimento MTC
 - 6.10 Tabelas de registo de procedimento MTC
 - 6.11 Gráficos de controlo

6 ANEXOS

6.1 Manutenção preventiva OTR zona de carcaças

Gestão da Qualidade

Processo:	Manutenção	Autor:	Vitor Santos
Subprocesso:		Telefone:	
Categoria:	Instrução de Trabalho	Revisão:	
Data:	2020	Referência:	

CST - Manutenção Preventiva – Máquinas Construção OTR – Zona da Carcaça

1. Objetivo

A presente Instrução de trabalho visa criar um sistema de inspeção, reparação ou substituição dos diversos órgãos da máquina, antes que estes fiquem obsoletos e alterem a fiabilidade e a rentabilidade da máquina.

2. Âmbito

As instruções são aplicáveis a todos os equipamentos para construção de carcaças de pneus na máquina OTR

3. Responsabilidades

A responsabilidade de executar esta instrução de trabalho é das equipas de manutenção da Eng⁷.

4. Referências

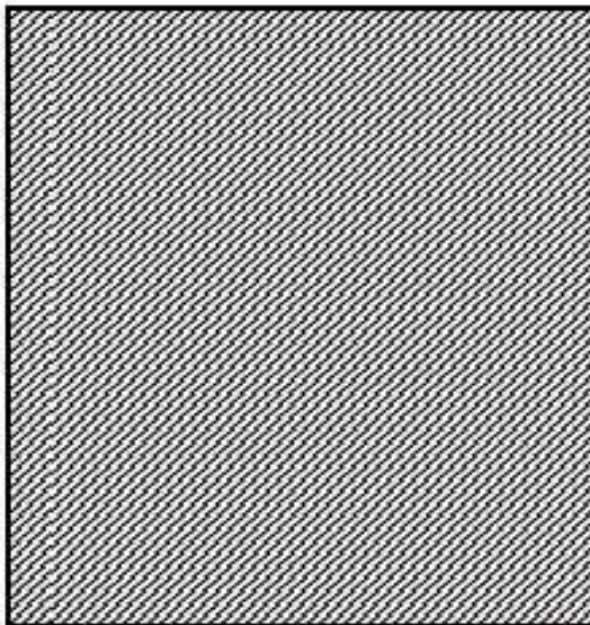
N/A

5. Definições

N/A

6. Descrição

Compreende-se por zona da carcaça secção das máquinas de construção OTR, como o equipamento responsável pela construção de carcaças. Está dividido em várias áreas como se demonstra seguidamente:



Letra	Nome da unidade
A	Máquina da carcaça
B	Innerliner e squeegee
C	Alimentador de telas
D	Alimentador de perfil
E	CTU e Colocador de talões

sem qualquer garantia nº qualquer instrução a uma única não construída

1/7

Gestão da Qualidade

Processo: Manutenção
 Subprocesso:
 Categoria: Instrução de Trabalho
 Data: 2020

Autor: Vítor Santos
 Telefone:
 Revisão:
 Referência:

CST - Manutenção Preventiva – Máquinas Construção OTR – Zona da Carcaça

6.1.

Máquina da carcaça					
Operação (descrição):	Período (semanas)	Tempo exec. min.		Nº Mão-de-obra	Máquina parada
		Mec	Elec		
1. Remover proteção da máquina de carcaça e verificar se as cintas dentadas apresentam danos	16	30		1	P
2. Verifique se as correntes estão lubrificadas e tensionadas corretamente	16	15		1	P
3. Verificar o funcionamento do dispositivo de união manual	16	10		1	
4. Verificar o desgaste das engrenagens cônicas, substitua-as se necessário	16	15		1	
5. Verificar e limpar guias lineares e cremalheira ao longo de todo o comprimento	16	20		1	
6. Verificar e limpar sistemas lockpin ao longo de todo o comprimento	16	15		1	
7. Verificar e limpar as correntes dos cabos ao longo de todo o comprimento	16		20	1	
8. Lubrificar	16	20		1	
Total Tempo necessário		125	20		

6.2.

Innerliner e squeegee - Unidades de corte					
Operação (descrição):	Período (semanas)	Tempo exec. min.		Nº Mão-de-obra	Máquina parada
		Mec	Elec		
1. Limpeza das barras de corte	16	10		1	P
2. Limpeza e verificação das lâminas ultrassônicas	16	10		1	P
3. Verificar o paralelismo das lâminas ultrassônicas e ranhuras das barras de corte	16	10		1	P
4. Verificar a distância entre as lâminas ultrassônicas e as barras de corte (1 a 2 mm)	16	10		1	P
Total Tempo necessário		40			

(...)

6.2 Manutenção preventiva OTR zona de cintas

Gestão da Qualidade

Processo:	Manutenção	Autor:	Vitor Santos
Sub-processo:		Telefone:	
Categoria:	Instrução de Trabalho	Revisão:	
Data:	2020	Referência:	

CST - Manutenção Preventiva – Máquinas Construção– Zona de cintas

1. Objetivo

A presente instrução de trabalho visa criar um sistema de inspeção, reparação ou substituição dos diversos órgãos da máquina, antes que estes fiquem obsoletos e alterem a fiabilidade e a rentabilidade da máquina.

2. Âmbito

As instruções são aplicáveis a todos os equipamentos para construção de carcaças de pneus AGRO.

3. Responsabilidades

A responsabilidade de executar esta instrução de trabalho é das equipas de manutenção da Eng⁷.

4. Referências

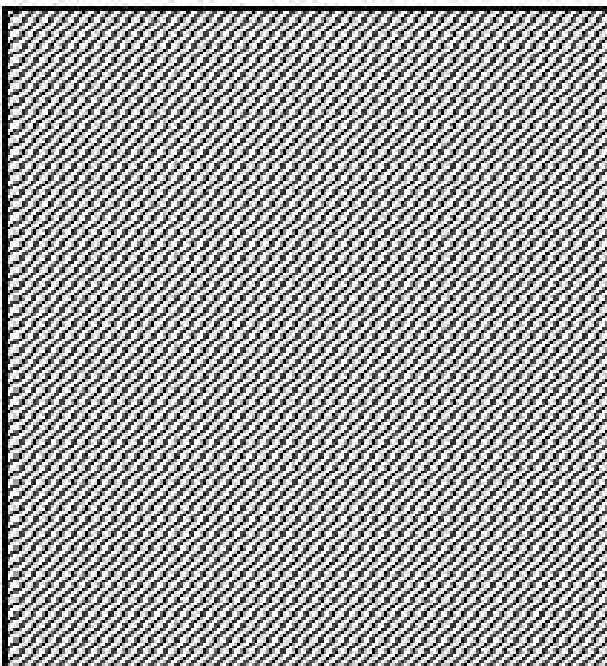
N/A

5. Definições

N/A

6. Descrição

Compreende-se por zona de cintas secção das máquinas de construção OTR, como o equipamento responsável pela construção de conjunto de cintas. Está dividido em várias áreas como se demonstra seguidamente:



Letra	Nome da unidade
A	Máquina de cintas
B	Alimentadores
C	Sistema de extração do pneu

Gestão da Qualidade

Processo:	Manutenção	Autor:	Vitor Santos
Sub-processo:		Telefone:	
Categoria:	Instrução de Trabalho	Revisão:	
Data:	2020	Referência:	

C-ST - Manutenção Preventiva – Máquinas Construção– Zona de cintas

6.1

Máquina das cintas					
Operação (descrição):	Período (semanas)	Tempo exec. min.		Nº Mão-de-obra	Máquina parada
		Mec	Elec		
1. Remover proteção da máquina de cintas e verificar se as cintas dentadas apresentam danos	16	30		1	P
2. Verifique se as correntes estão lubrificadas e tensionadas corretamente	16	15		1	P
3. Verificar e limpar guias lineares e cremalheira ao longo de todo o comprimento	16	20		1	
4. Verificar e limpar sistemas lockpin ao longo de todo o comprimento	16	15		1	
5. Verificar e limpar as correntes dos cabos ao longo de todo o comprimento	16		20	1	
6. Lubrificar de acordo com as instruções de lubrificação	16	20		1	
Total Tempo necessário		50	10		

6.2

Alimentadores – Estação de desenrolamento					
Operação (descrição):	Período (semanas)	Tempo exec. min.		Nº Mão-de-obra	Máquina parada
		Mec	Elec		
1. Verificar o funcionamento correto de todos os rolos multidirecionais	16	10		1	P
2. Verificar o funcionamento correto de todos os rolos de centragem	16	10		1	P
3. Verificar o movimento axial dos acoplamentos das cassetes	16	10		1	P
4. Verificar o mecanismo de fixação das cassetes	16	10		1	P
5. Verificar as guias das cassetes	16	10		1	P
6. Verificar se as molas apresentam sinais de desgaste nas máquinas de desenrolar (enchimento da borda de cintas)	16	10		1	P
7. Verificar a definição da correta força de travagem	16	10		1	
8. Inspeção visual e verificação da tensão e da posição central das cintas dos alimentadores	16	10		1	P

(...)

6.3 Manutenção preventiva OTR zona de modelação

 Gestão da Qualidade

Processo:	Manutenção	Autor:	Vitor Santos
Sub-processo:		Telefone:	
Categoria:	Instrução de Trabalho	Revisão:	
Data:	2020	Referência:	

CST - Manutenção Preventiva – Máquinas Construção – Zona de modelação
1. Objetivo

A presente instrução de trabalho visa criar um sistema de inspeção, reparação ou substituição dos diversos órgãos da máquina, antes que estes fiquem obsoletos e alterem a fiabilidade e a rentabilidade da máquina.

2. Âmbito

As instruções são aplicáveis a todos os equipamentos para construção de carcaças de pneus AGRO.

3. Responsabilidades

A responsabilidade de executar esta instrução de trabalho é das equipas de manutenção da Eng⁴.

4. Referências

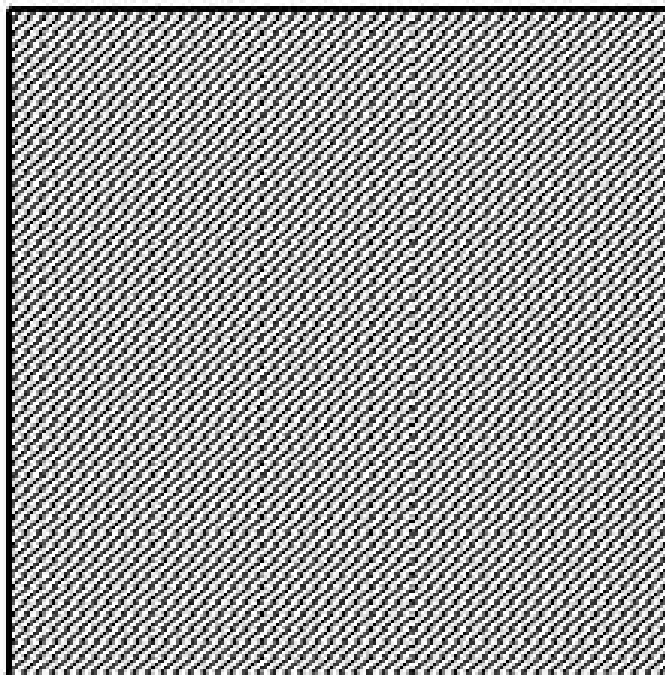
N/A

5. Definições

N/A

6. Descrição

Compreende-se por zona de modelação secção das máquinas de construção OTR, como o equipamento responsável pela etapa de modelação. Esta dividido em várias áreas como se demonstra seguidamente:



Letra	Nome da unidade
A	Máquina de modelação
B	Carretilhas de modelação
C	Strip Winding
D	Extrusoras

Gestão da Qualidade

Processo:	Manutenção	Autor:	Vitor Santos
Sub-processo:		Telefone:	
Categoria:	Instrução de Trabalho	Revisão:	
Data:	2020	Referência:	

CST - Manutenção Preventiva – Máquinas Construção – Zona de modelação

6.1

Máquina da modelação					
Operação (descrição):	Período (semanas)	Tempo exec. min.		Nº Mão-de-obra	Máquina parada
		Mec	Elec		
1. Remover proteção da máquina de modelação e verificar se as cintas dentadas apresentam danos	16	30		1	P
2. Verifique se as correntes estão lubrificadas e tensionadas corretamente	16	15		1	P
3. Verificar e limpar guias lineares e cremalheira ao longo de todo o comprimento	16	20		1	
4. Verificar e limpar sistemas lockpin ao longo de todo o comprimento	16	15		1	
5. Verificar visualmente ligações pneumáticas da cabeça de modelação	16	10		1	
6. Verificar visualmente o eixo de modelação	16	10		1	
7. Verificação visual dos foies	16	10		1	
8. Verificar e limpar as correntes dos cabos ao longo de todo o comprimento	16		20	1	
9. Lubrificar	16	20		1	
Total Tempo necessário		130	20		

6.2

Alimentadores – Carretilhas					
Operação (descrição):	Período (semanas)	Tempo exec. min.		Nº Mão-de-obra	Máquina parada
		Mec	Elec		
1. Verificar se os rolos estão a rodar livremente, estão bem assentes e se apresentam desgaste	16	10		1	P
2. Verificar e limpar, se necessário ajustar/ reparar os eixos esféricos e porcas de eixo	16	10		1	P
3. Verifique se as porcas de eixo apresentam danos ou foigas	16	10		1	P
4. Lubrificar de acordo com as instruções de lubrificação	16	10		1	
Total Tempo necessário		40	0		


(...)

6.4 Relatório de acompanhamento do procedimento MTC

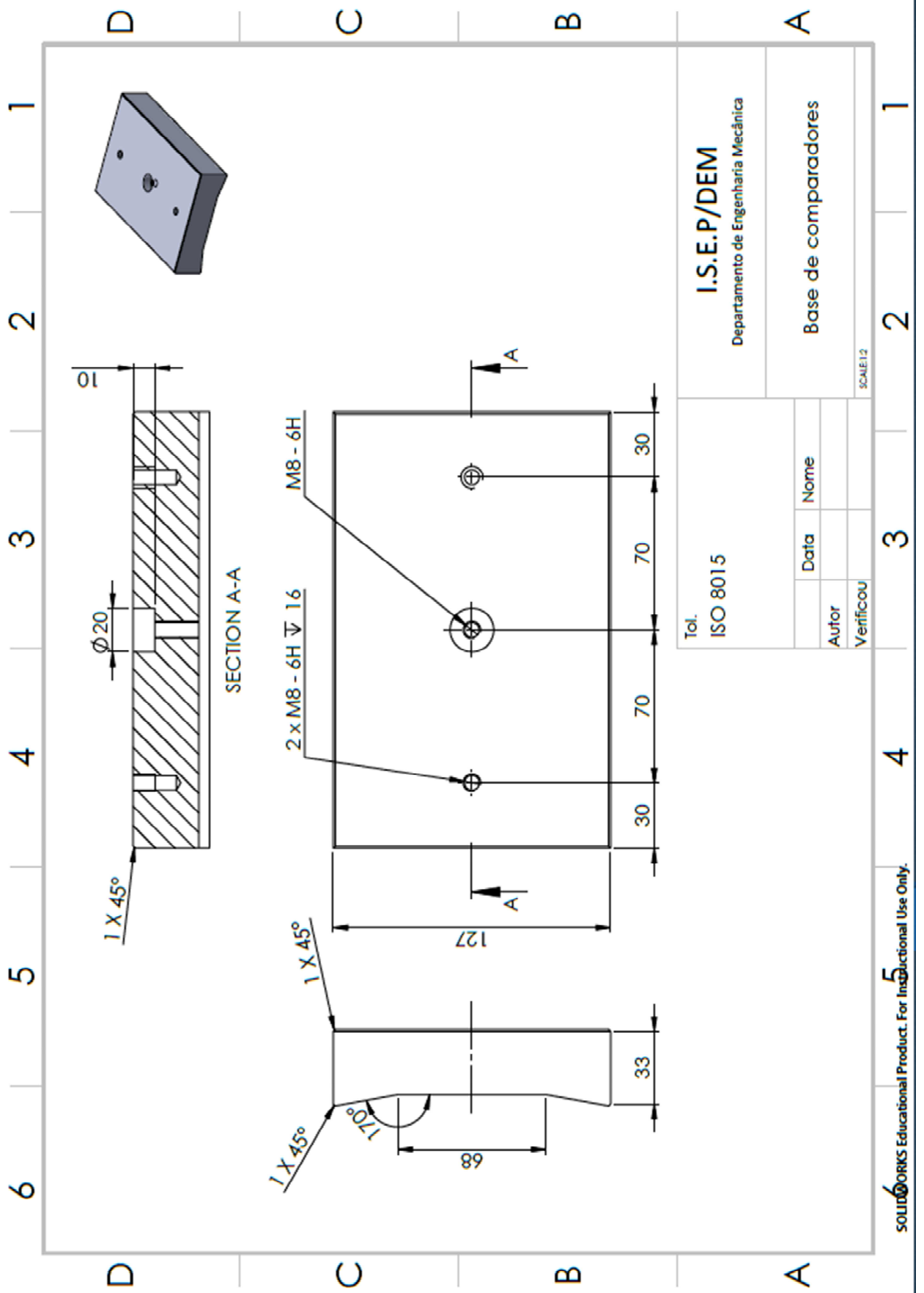
Equipa 1:

Tarefa	Duração total/ Atividade	Motivos de atraso	Notas:	Materiais necessários
1.1 (Radial Run-out)			Não foi executado	
1.2 (Drum circumference)	5min/5min		Medição da circunferência realizada dentro da tolerância. Não se fez nada com o palpa folgas não faz sentido na prática	Fita métrica;
2.1 (Bead loader outside check)	5min/5min		Realizada só a olho, não foi necessário apalpa-folgas	Anel de referência; Apalpa folgas;
2.2 (Bead loader inside check)	30min/10min	Atraso devido à colocação dos anéis de referência no CTU. Realização do procedimento em manual e os técnicos presentes não sabiam como executar.		Apalpa folgas;
7.1 (Centering profile servicer)	1h30/15min	-Falta de material: Régua grande -Não sabiam como realizar o procedimento e as imagens não eram esclarecedoras.	-Afetado por montagem de segmentos* -Foi necessário calibração. Falta de tensão na correia do tabuleiro direito. -Conflito com tarefa 7.2	Régua grande; Esquadro pequeno; Fita métrica;
7.2; 7.3;7.4 (Laser check – profile servicer)	1h10/30min	-Não sabiam como realizar o procedimento e as imagens não eram esclarecedoras	-Fez-se ajuste à posição do tambor -Colocação dos lasers a 100 mm em modo MTC	Ferramenta de posicionamento laser;

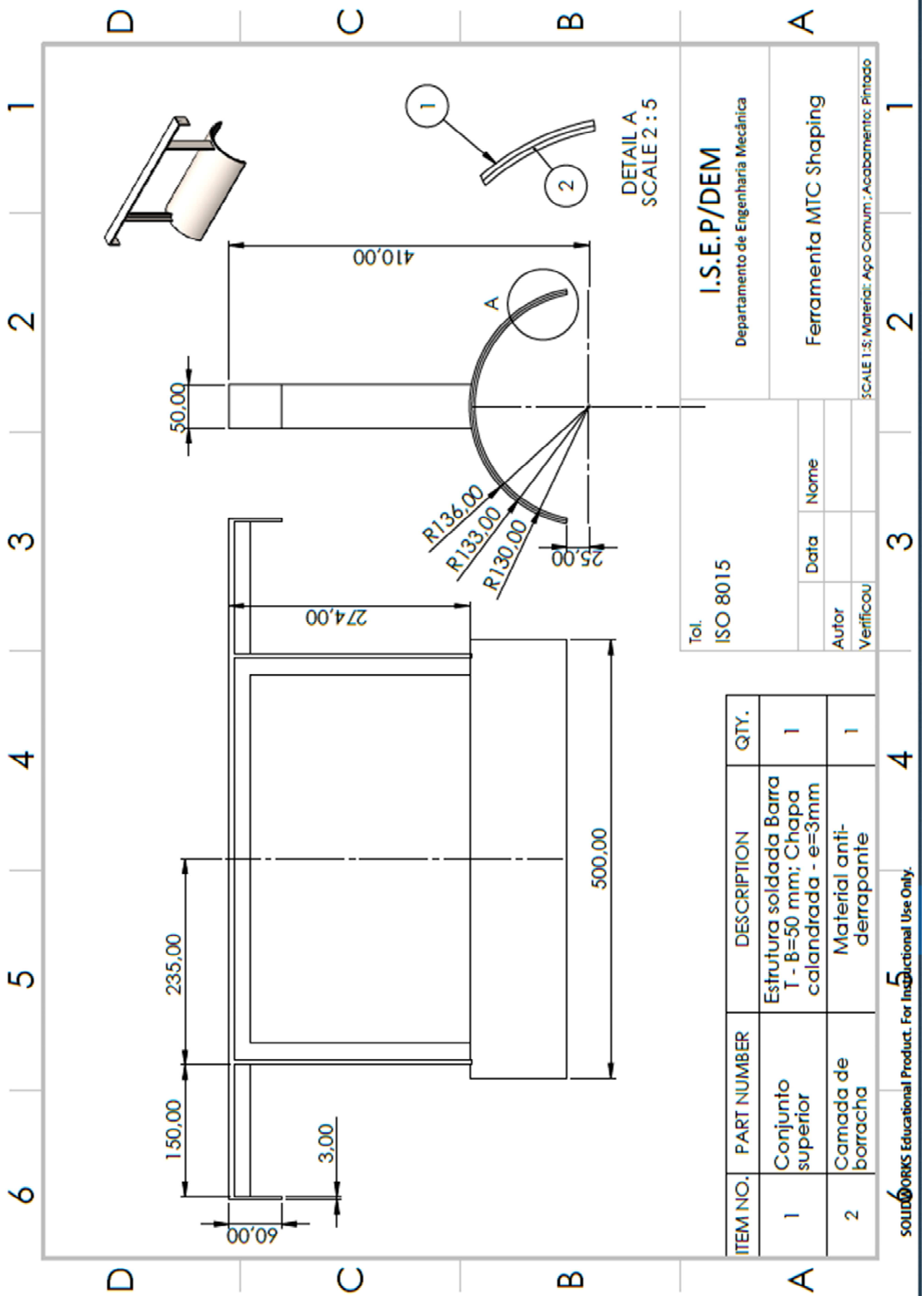


2.3; 2.4 (Concentricity/P arallelism CTU over Carcass Drum)	1h15/30min	<p>-Não sabiam como realizar o procedimento e as imagens não eram esclarecedoras</p> <p>-Tarefa realizado com tambor de jante 33" dificultada a operação já que o espaço entre segmento e anéis de referência é reduzido, implica desmontar segmentos.</p>	<p>-Fatores que influenciam o laser: posicionamento de paragem da tambor, pin lock e inclinação do tambor. Se o tambor tiver inclinação as conclusões do laser podem estar erradas.</p> <p>-Afetado por montagem de segmentos*</p>	Fio de prumo; Cinta de aperto; Escadote;
		<p>A concentricidade estava fora de tolerância. No Talão do lado direito valores de concentricidade horizontal são ajustados pelos batentes no bead loader na vertical ajustamento em toda a estrutura do bead loader.</p> <p>O talão do lado esquerdo é o presseter que determina posição do talão.</p> <p>Fatores que influenciam: flexão do veio, inclinação do veio</p>	 <p>Comparadores digitais (2); Trips (2);</p>	
2.5 (Centering CTU)	35min/10min	-Ajuste no posicionamento do tambor e lockpin	Fora de tolerância	Esquadro pequeno; Fita métrica;
5.1 (1st ply tangency)	5min/5min			Apalpa folgas; Esquadro pequeno;
5.2 (Center of drum to server)	5min/5min			Esquadro pequeno; Fita métrica;
5.3; 5.4; 5.5 (Laser check – 1st ply)	30min/30min		-Utilização do fio de prumo para verificar 5.3 (Verticalidade do laser)	Fio de prumo; Escadote;

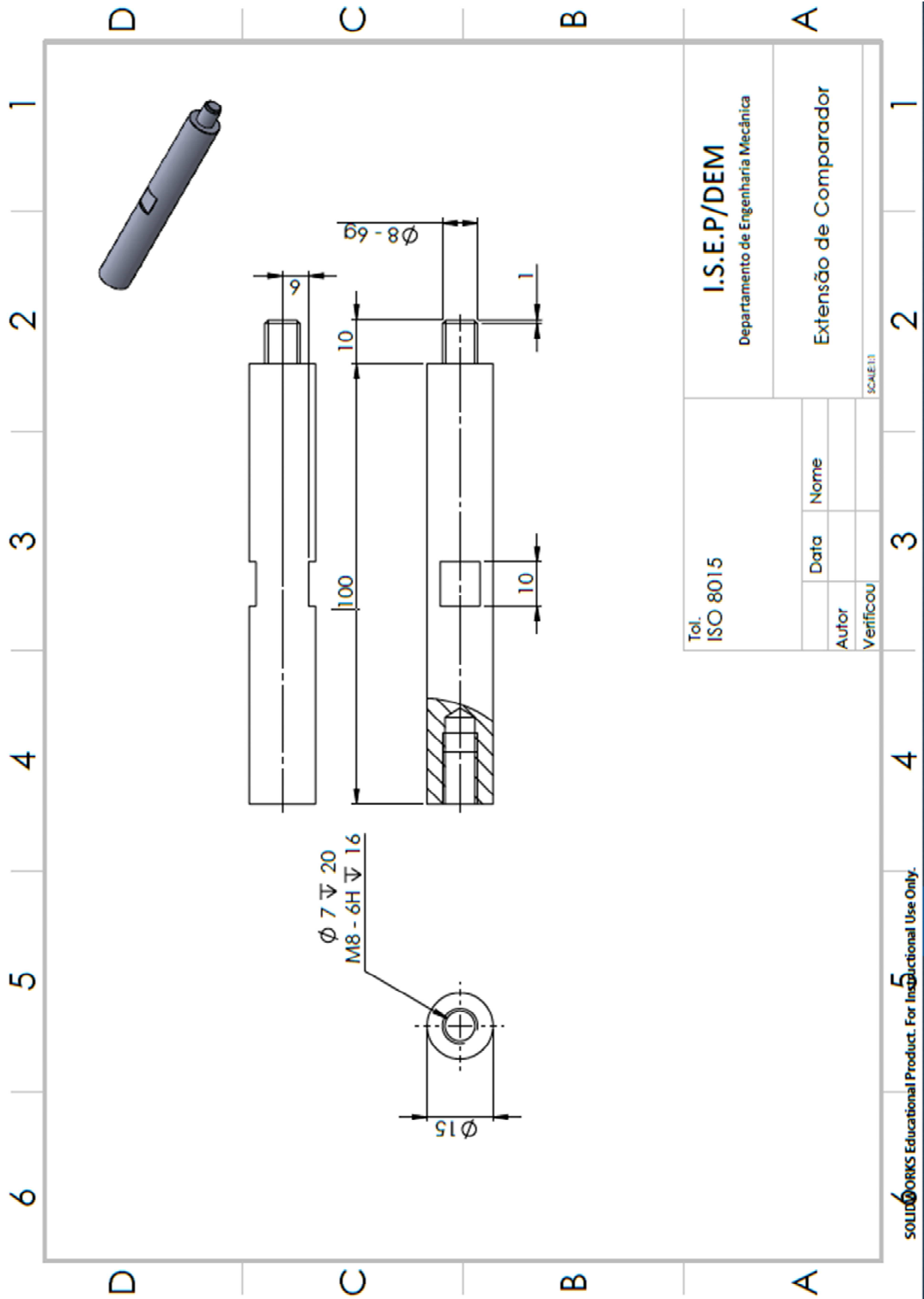
6.5 Desenho técnico – base de fixação de comparador tambor de carcaça



6.6 Desenho técnico – base de fixação de comparadores tambor de modelação



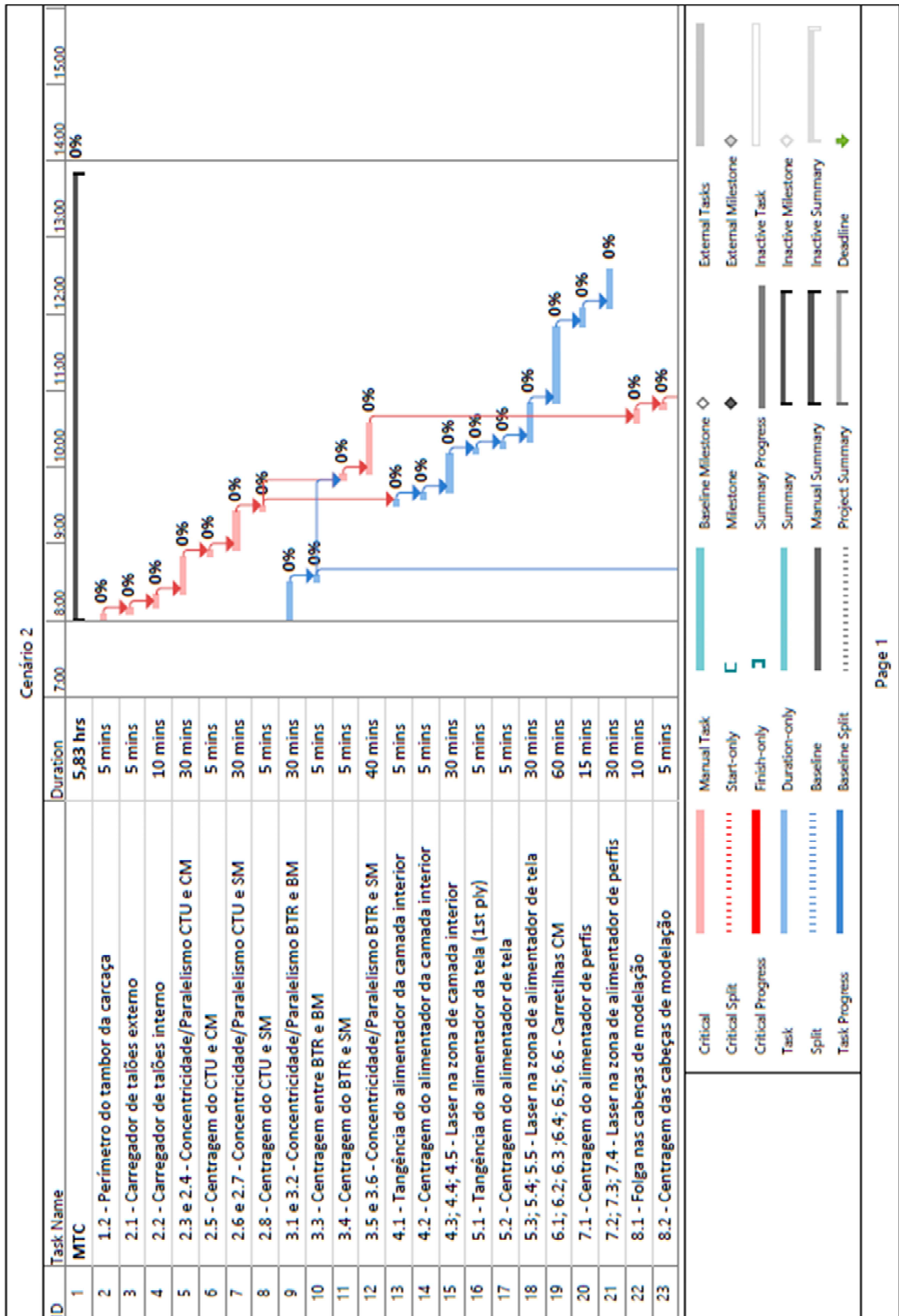
6.7 Detenho técnico – Aumentos de tripé de comparador

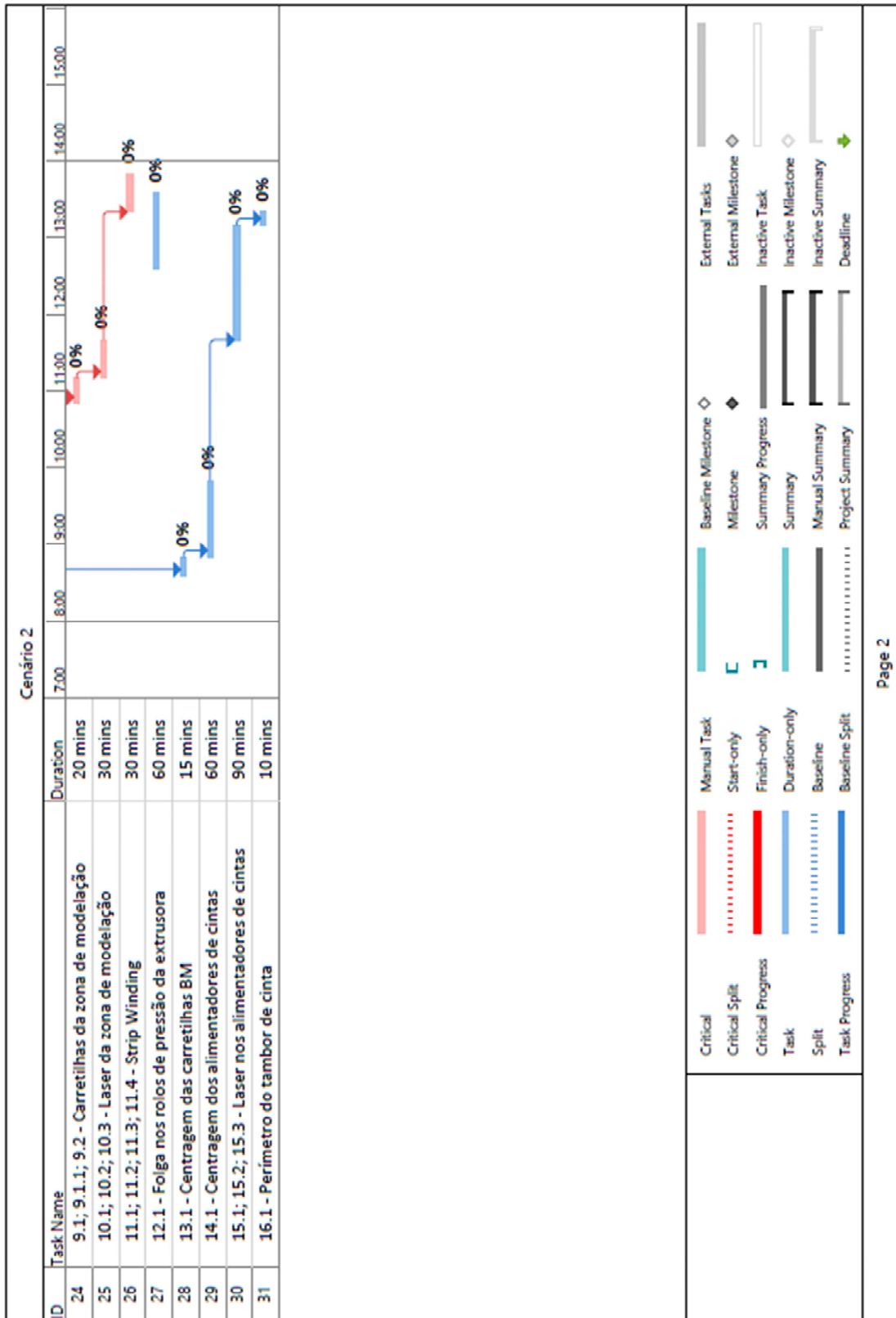


Tol. ISO 8015		I.S.E.P./DEM Departamento de Engenharia Mecânica	
Autor	Data	Extensão de Comparador	
Verificou	Nome	SCALE:1:1	

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only. 5 4 3 2 1

6.8 Diagrama de Gant do procedimento MTC





6.9 Instruções de trabalho de procedimento MTC

Gestão da Qualidade			
Processo:	Manutenção	Autor:	
Sub-processo:		Telefone:	
Categoria:	Instrução de Trabalho	Revisão:	
Data:		Referência:	

Verificação da Tolerâncias do Equipamento (MTC) - MTC da OTR- CM

1. Objetivo

Definição de instruções de verificação de tolerâncias das máquinas OTR.

2. Âmbito

As instruções são aplicáveis a todos os equipamentos OTR.

3. Responsabilidades

As várias responsabilidades estão apresentadas no documento [REDACTED]

A responsabilidade de executar esta instrução de trabalho é das equipas de manutenção da [REDACTED]

4. Referências

[REDACTED]

5. Definições

MTC – Verificações das Tolerâncias da Máquina (Machine Tolerance Check)

6. Descrição

De acordo com o Plano Geral de Verificações de Tolerâncias da Máquina (MTC), a frequência desta operação está estabelecida como devendo acontecer uma vez cada 6 meses.

Os técnicos efetuam os trabalhos constantes deste documento conforme a periodicidade aí indicada.

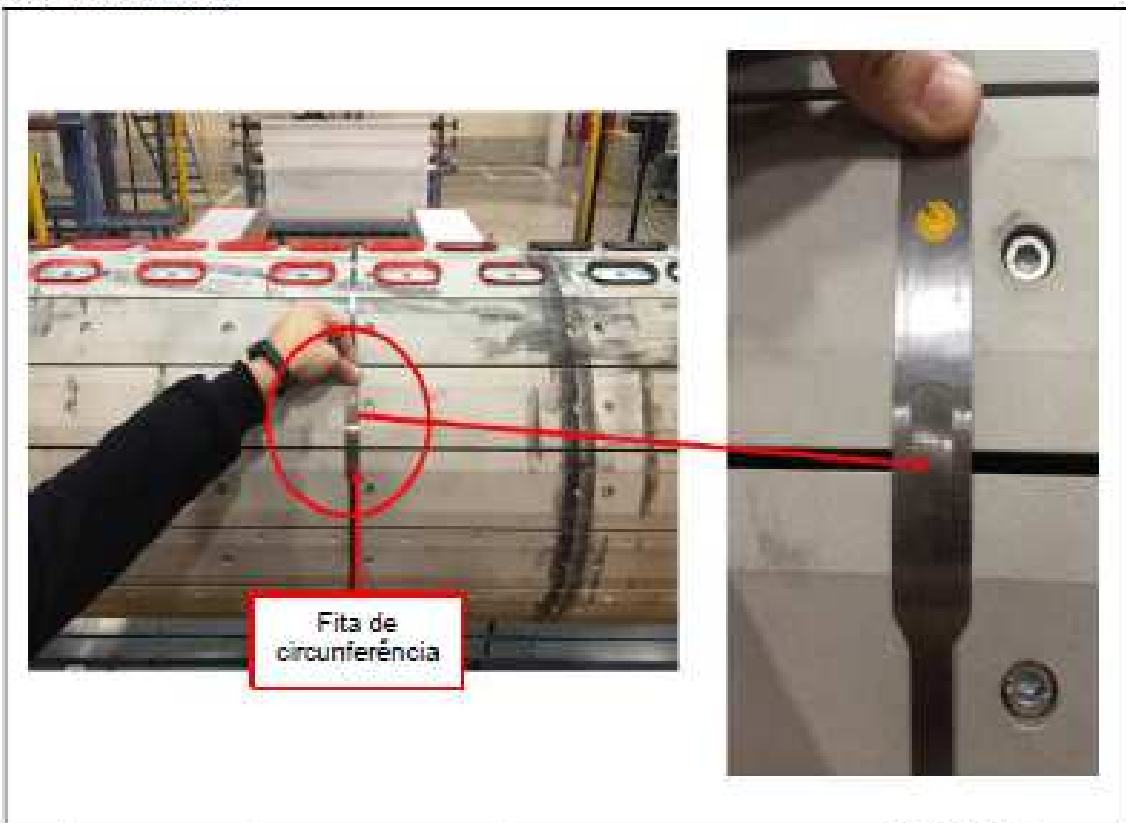
Caso exista algum valor fora de tolerâncias, será de imediato corrigido, e será informada a Qualidade por intermédio de um documento predefinido.

Gestão da Qualidade

Processo: Manutenção
 Sub-processo:
 Categoria: Instrução de Trabalho
 Data:
 Autor:
 Telefone:
 Revisão:
 Referência:

Verificação da Tolerâncias do Equipamento (MTC) - MTC da OTR- CM

6.1. Procedimento



Fita de circunferência

Nº	Caraterística	Instrumento	Procedimento	Tolerância Max.	Freq.
1.2	Circunferência do tambor da carcaça	Fita métrica 1/10 mm;	<ol style="list-style-type: none"> 1- Expandir o tambor da carcaça para "diâmetro de trabalho". 2- Medir a circunferência no lado esquerdo e no lado direito (Ver Imagens). 3- Calcular a diferença entre os lados. 4- Registrar os resultados medidos no protocolo. Nota: Comparar com a tolerância definida	± 2 mm	6 meses

(...)

6.10 Tabelas de registo de procedimento MTC

Engenharia 7

Verificação de tolerâncias do equipamento (MTC)						
MTC DA MÁQUINA OTR						
Máq. OTR nº:			Registos		Data:	
Características	NE	Tolerância:	Medido	Corrigido	Observações	
radial run-out (shaft)	1.1.1	± 2 mm	left			
	1.1.2		middle			
	1.1.3		right			
Drum diameter	1.2.1	± 2 mm	left			
	1.2.2		middle			
	1.2.3		right			
Bead loader outside check	2.1.1	ok / nok	left			
	2.1.2		right			
Bead loader inside, diameter and gap between fingers	2.2.1	ok / nok	all fingers			
Concentricity CTU over carcass drum left / right	2.3.1	Left	Y1			
	2.3.2		Y2			
	2.3.3		Y3			
	2.3.4		Y4			
	2.3.5	máx: 2 mm	(Y1-Y3)			
	2.3.6		(Y2-Y4)			
	2.3.7	Right	Y1			
	2.3.8		Y2			
	2.3.9		Y3			
	2.3.10		Y4			
	2.3.11	máx: 2 mm	(Y1-Y3)			
	2.3.12		(Y2-Y4)			
Parallelism CTU over carcass drum left / right	2.4.1	Left	Y1			
	2.4.2		Y2			
	2.4.3		Y3			
	2.4.4		Y4			
	2.4.5	máx: 2 mm	(Y1-Y3)			
	2.4.6		(Y2-Y4)			
	2.4.7	Right	Y1			
	2.4.8		Y2			
	2.4.9		Y3			
	2.4.10		Y4			
	2.4.11	máx: 2 mm	(Y1-Y3)			
	2.4.12		(Y2-Y4)			
Centering CTU to drum	2.5.1		X1			
	2.5.2		X2			
	2.5.3	±1 mm	X1-X2			

(...)

6.11 Gráficos de controlo

X - barra

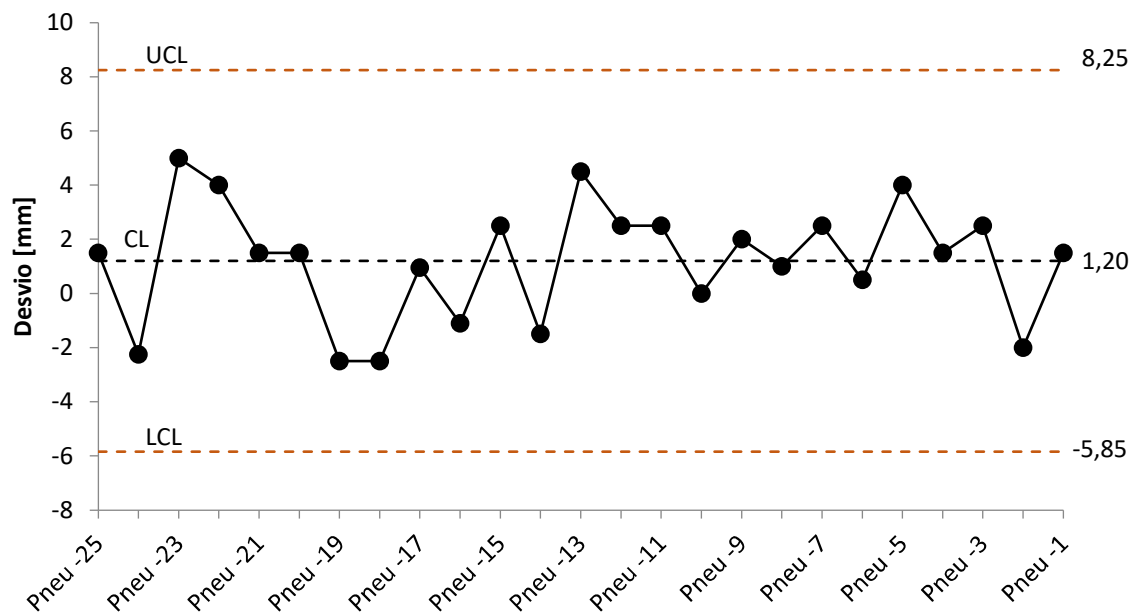


Figura 51 - Carta de controlo das médias de desvio da 1ª cinta antes do MTC

Amplitude

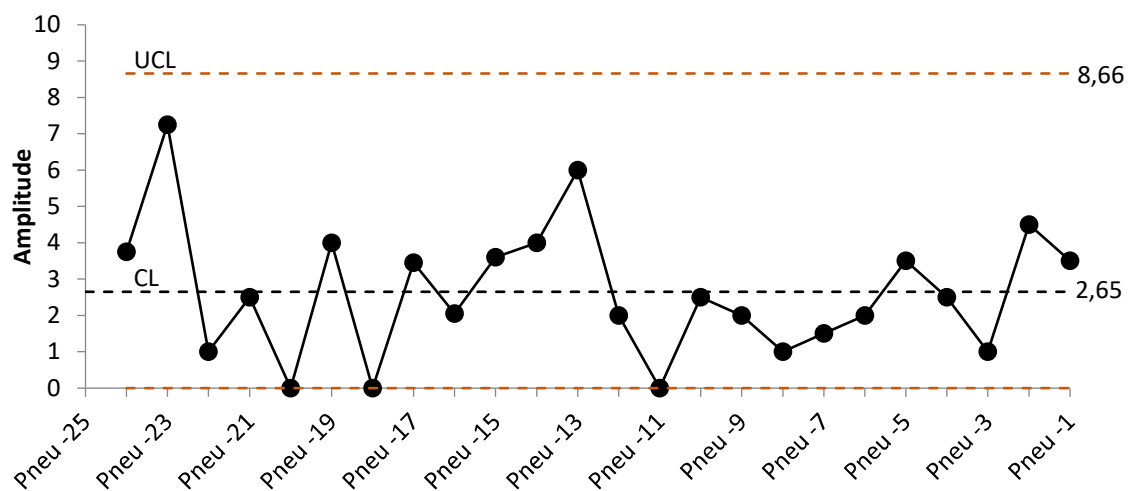


Figura 52 - Carta de controlo de amplitude de desvio da 1ª cinta antes do MTC

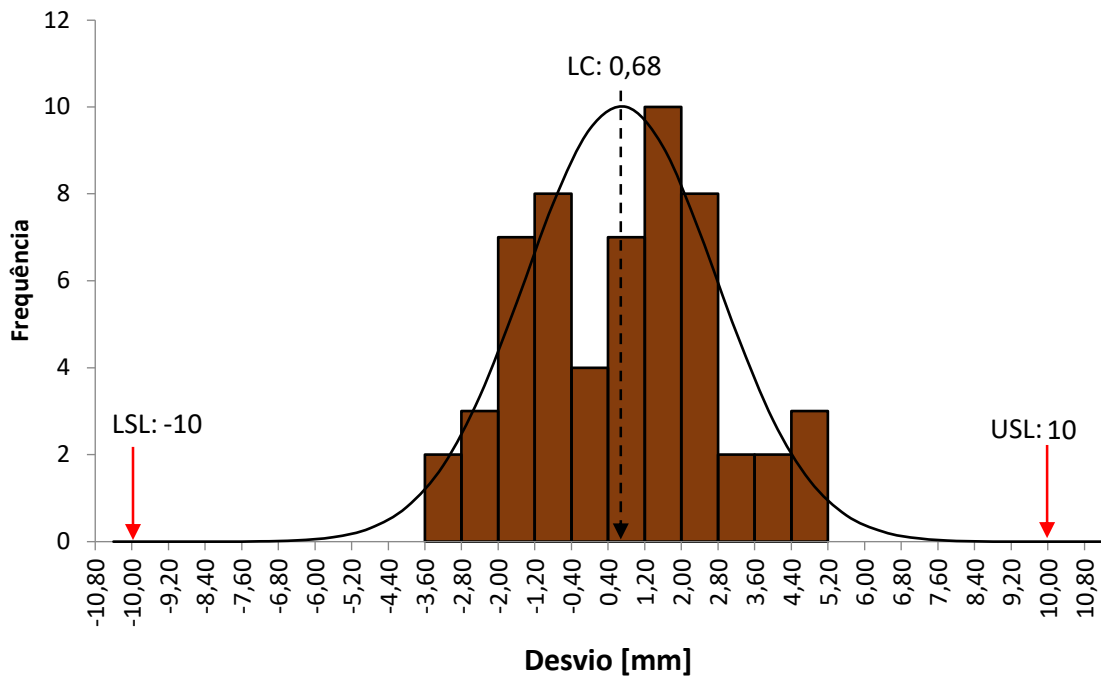


Figura 53 - Histograma de medições de desvio da 1ª cinta metálica antes do MTC

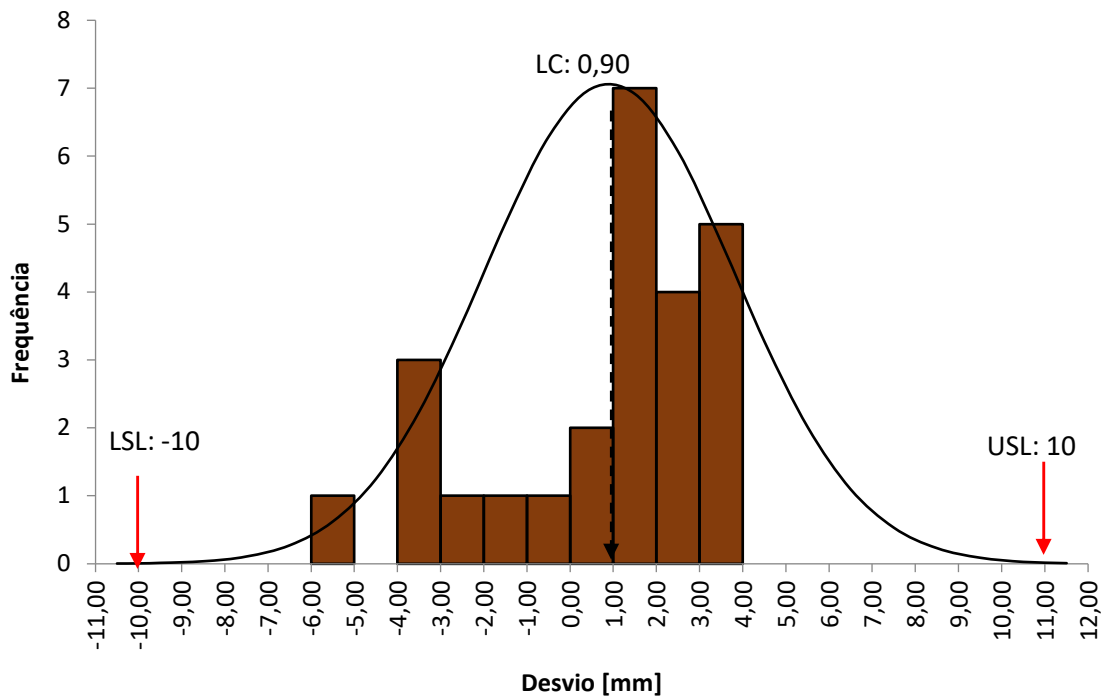


Figura 54 - Histograma de medições de desvio da 1ª cinta metálica depois do MTC

X - barra

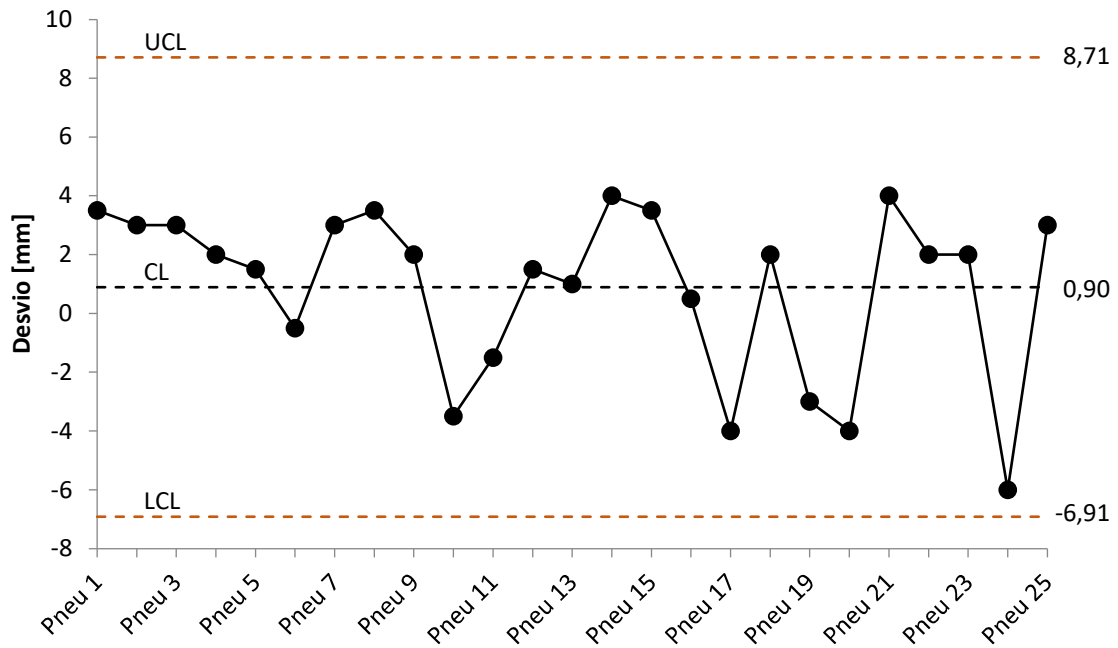


Figura 55 - Carta de controle das médias de desvio da 1ª cinta após MTC

Amplitude

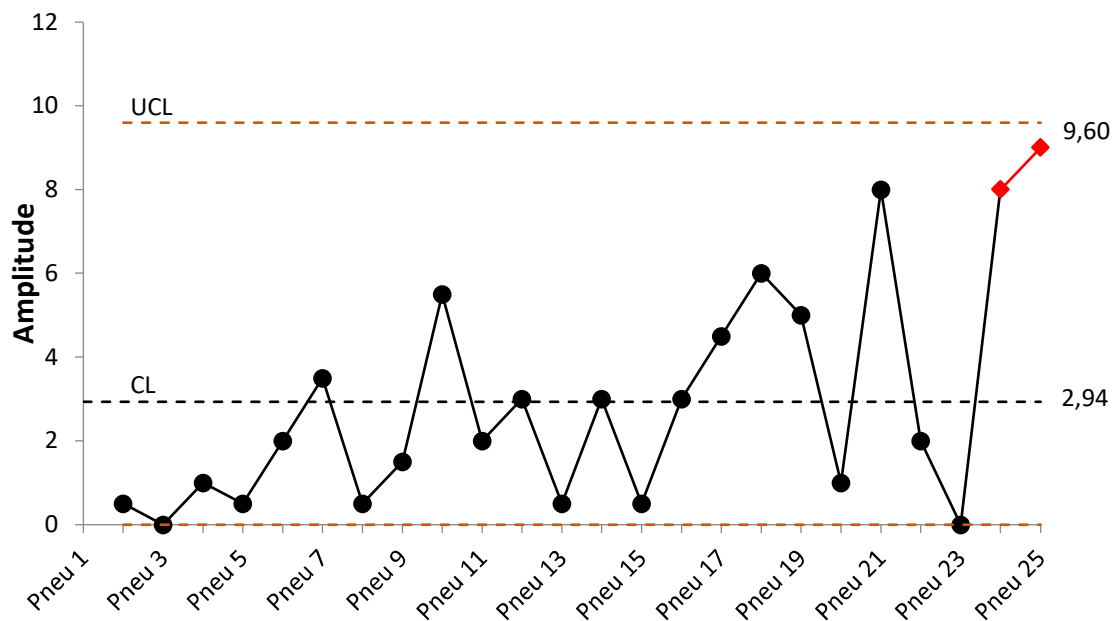


Figura 56 - Carta de controle de amplitude de desvio da 1ª cinta após MTC

X - Barra

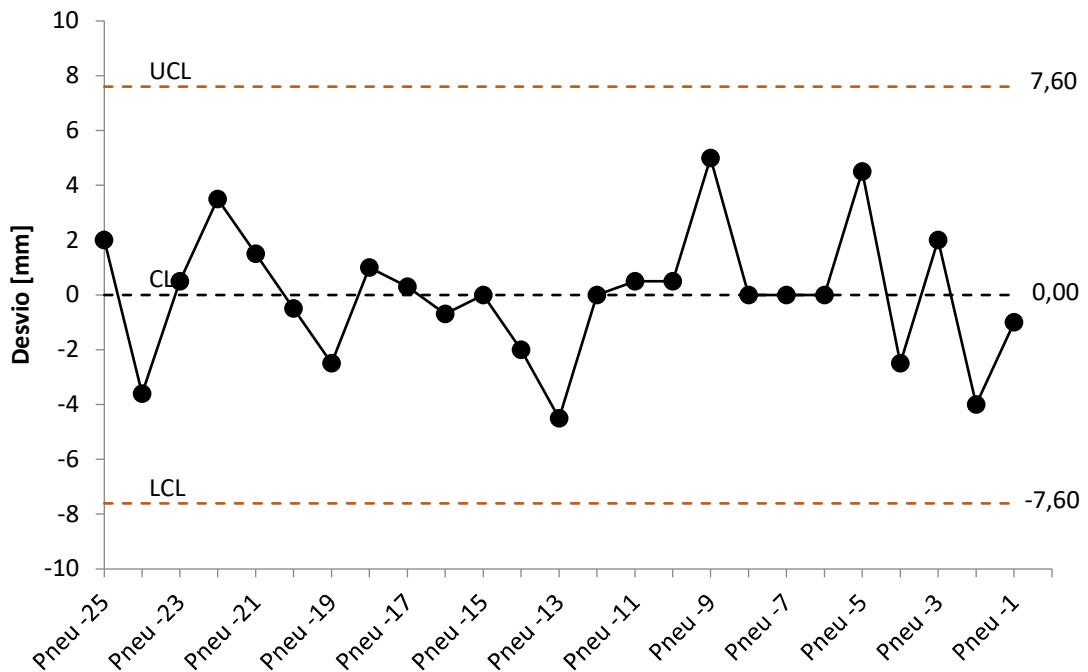


Figura 57 - Carta de controle das médias de desvio da 2ª cinta antes do MTC

Amplitude

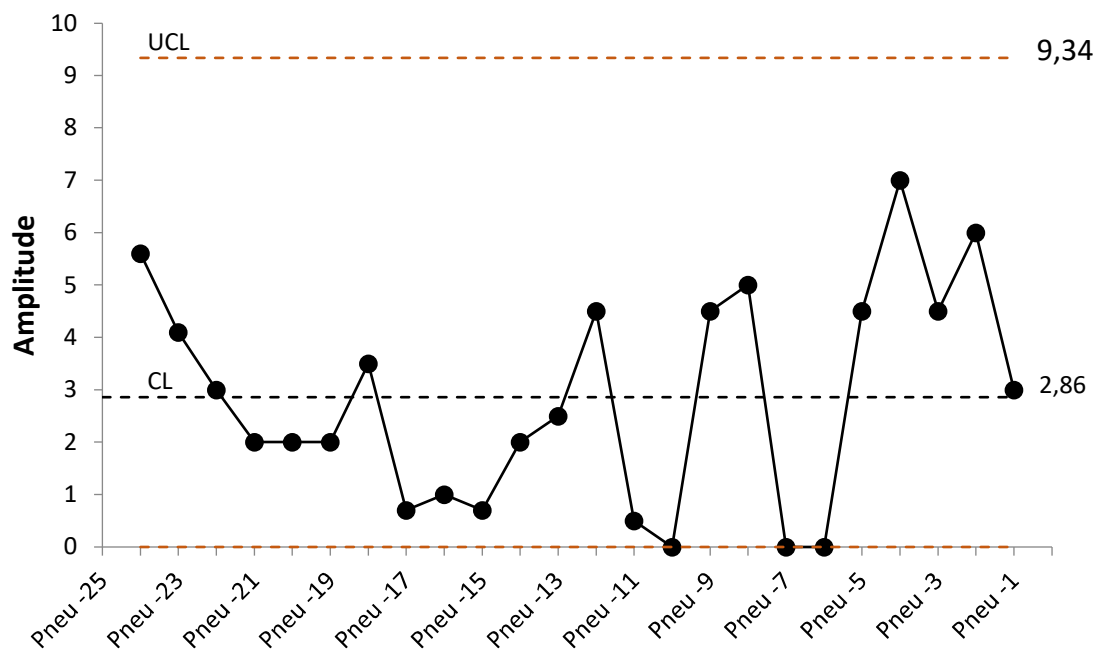


Figura 58 - Carta de controle de amplitude de desvio da 2ª cinta antes do MTC

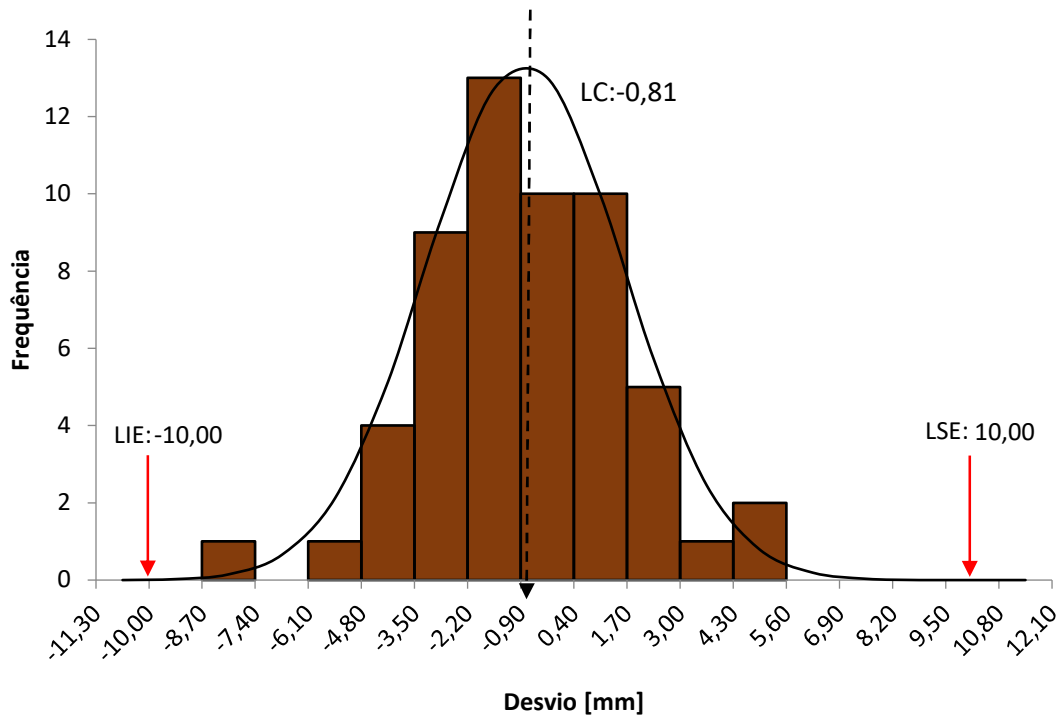


Figura 59 - Histograma de medições de desvio da 2ª cinta metálica antes do MTC

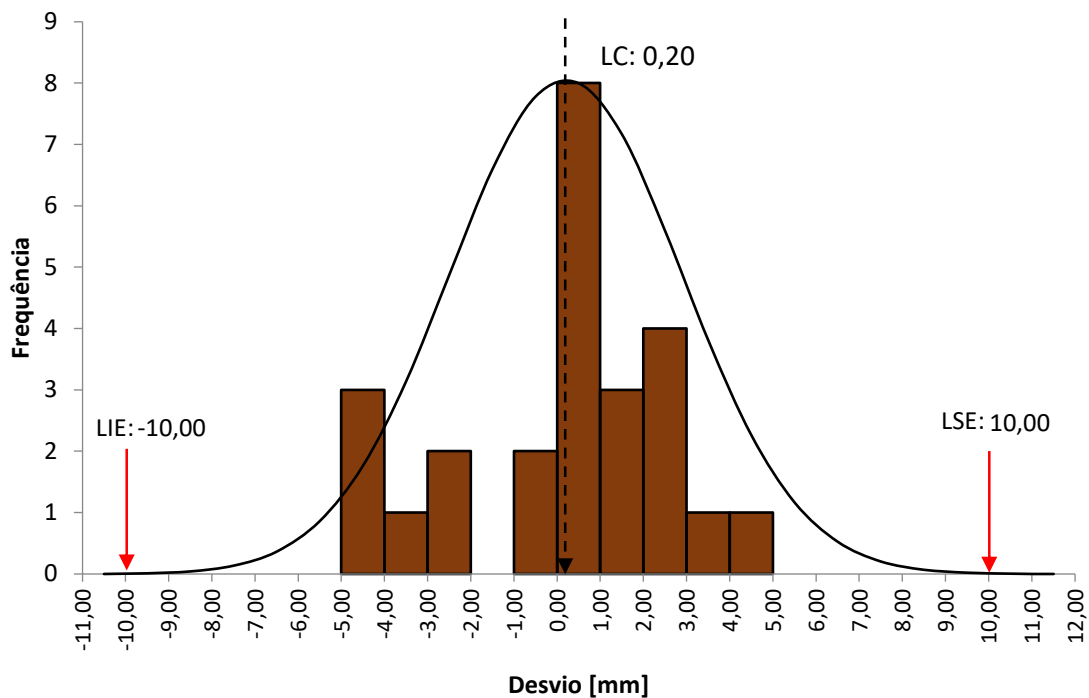


Figura 60 - Histograma de medições de desvio da 2ª cinta metálica antes do MTC

X - barra

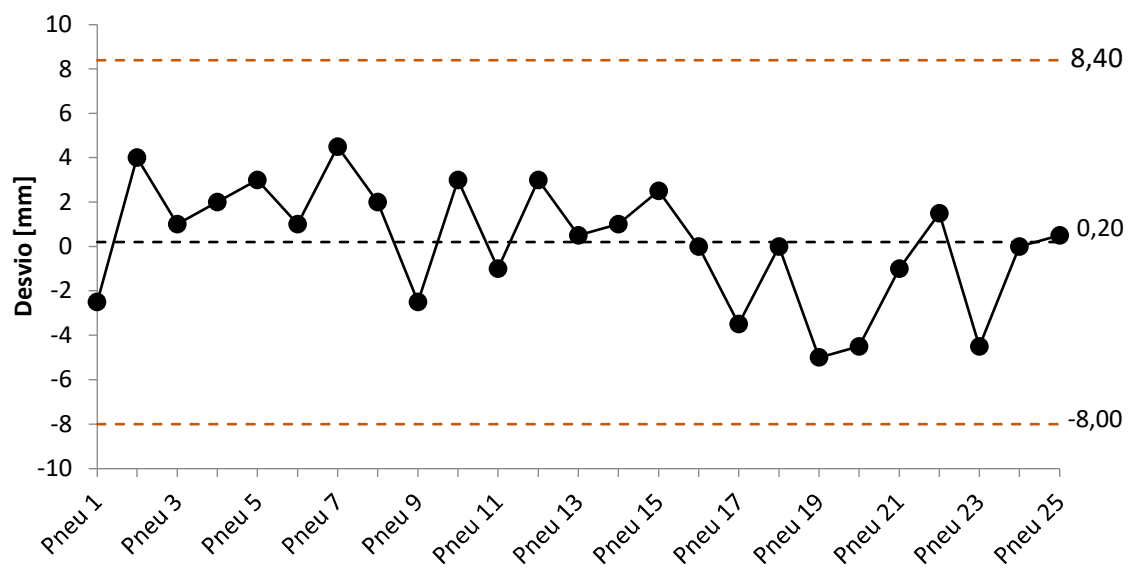


Figura 61 - Carta de controle das médias de desvio da 2ª cinta depois do MTC

Amplitude

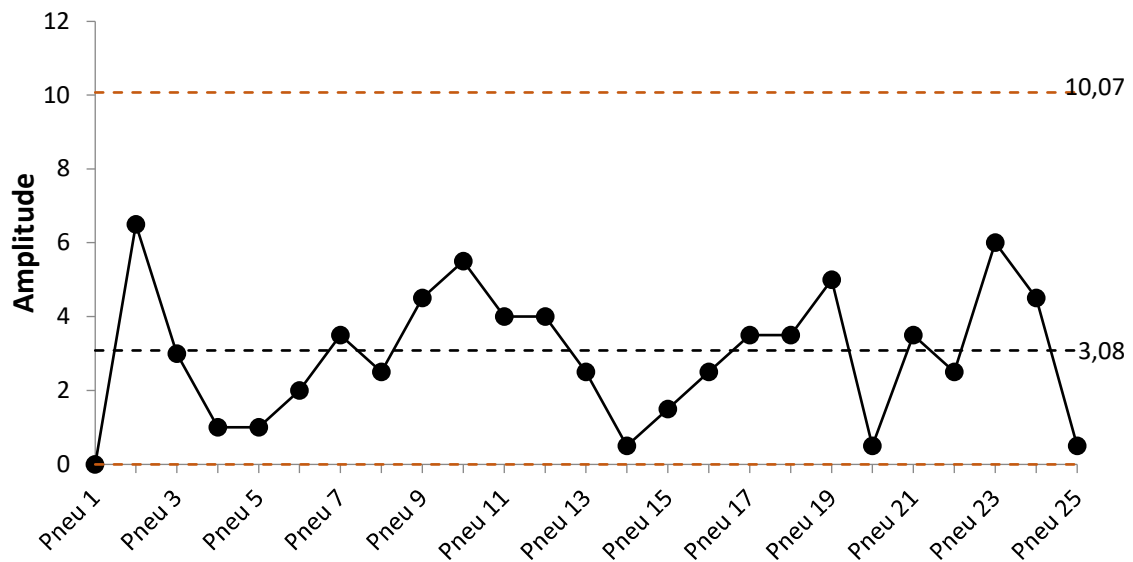


Figura 62 - Carta de controle de amplitude de desvio da 2ª cinta depois do MTC

X Chart

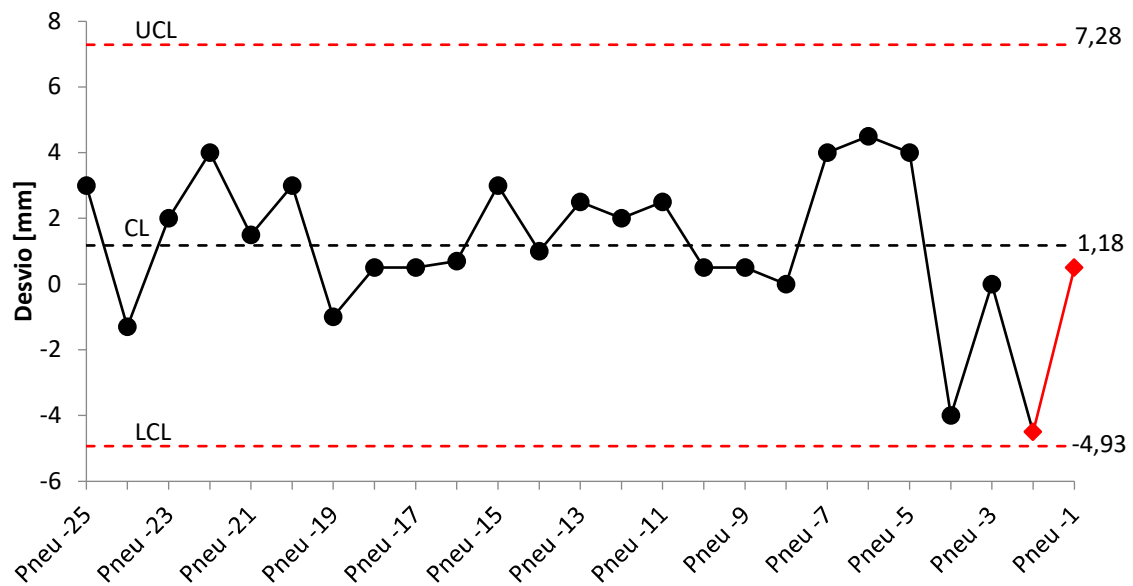


Figura 63 - Carta de controle das médias de desvio da 3ª cinta antes do MTC

mR Chart

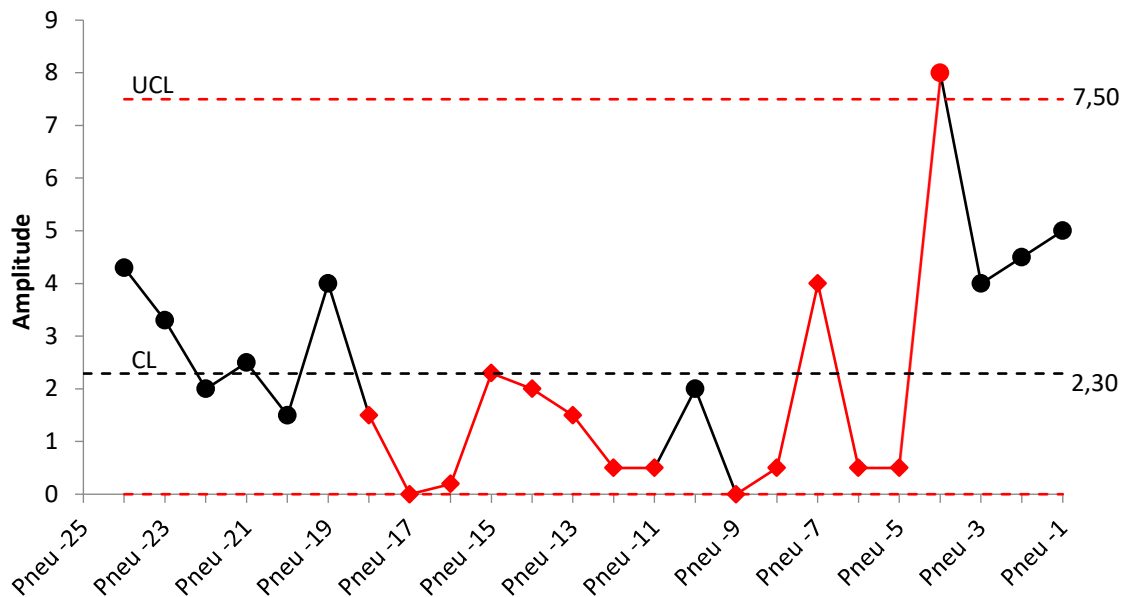


Figura 64 - Carta de controle de amplitude de desvio da 3ª cinta antes do MTC

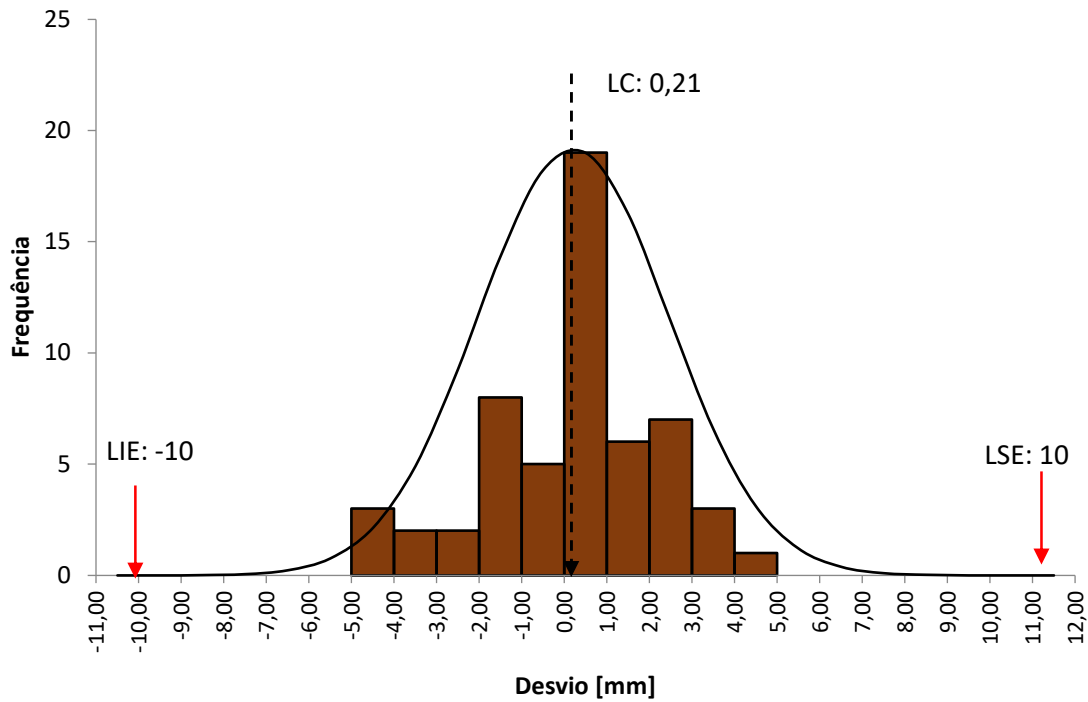


Figura 65 - Histograma de medições de desvio da 3ª cinta metálica antes do MTC

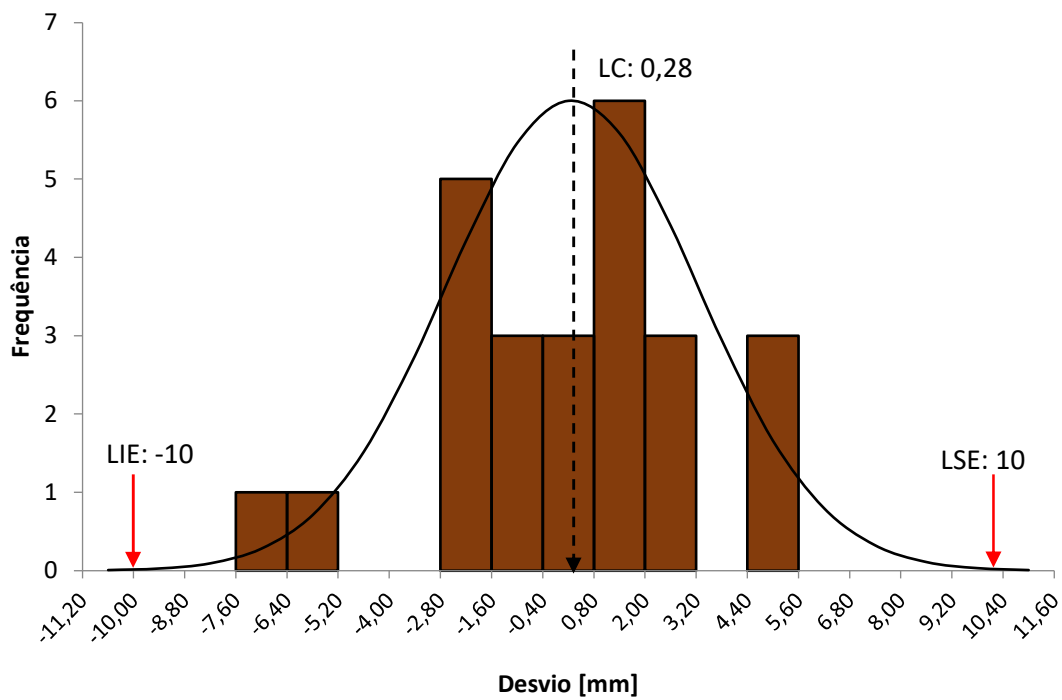


Figura 66 - Histograma de medições de desvio da 3ª cinta metálica depois do MTC

X- barra

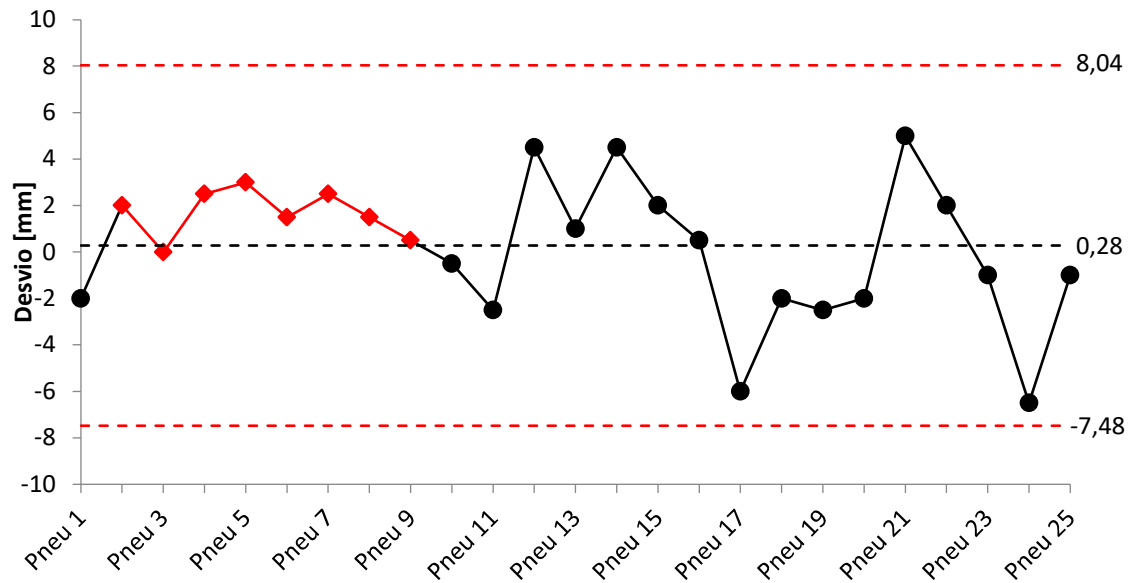


Figura 67 - Carta de controlo das médias de desvio da 3ª cinta depois do MTC

Amplitude

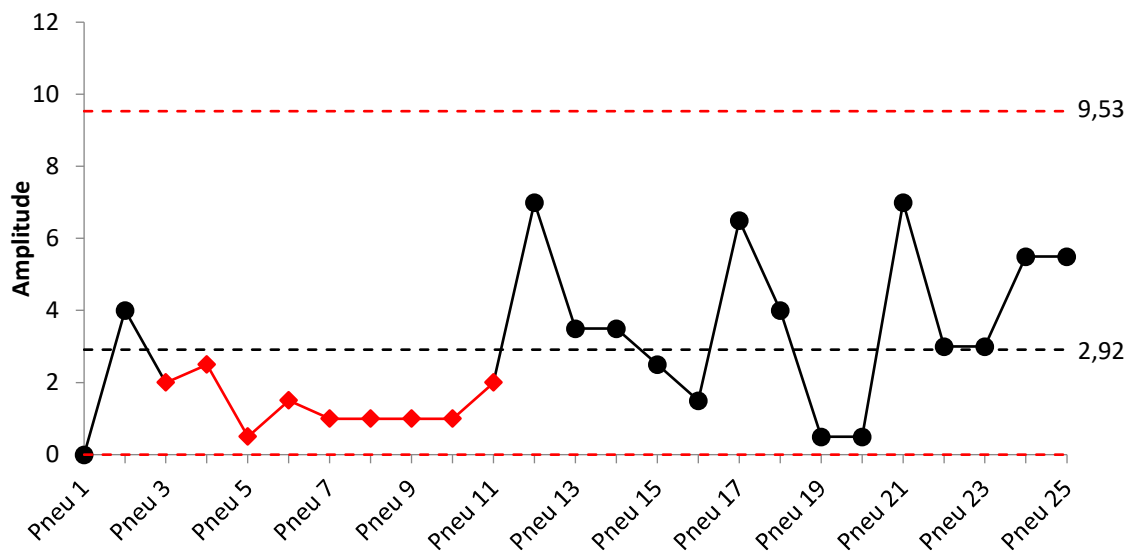


Figura 68- Carta de controlo de amplitude de desvio da 3ª cinta depois do MTC

X - barra

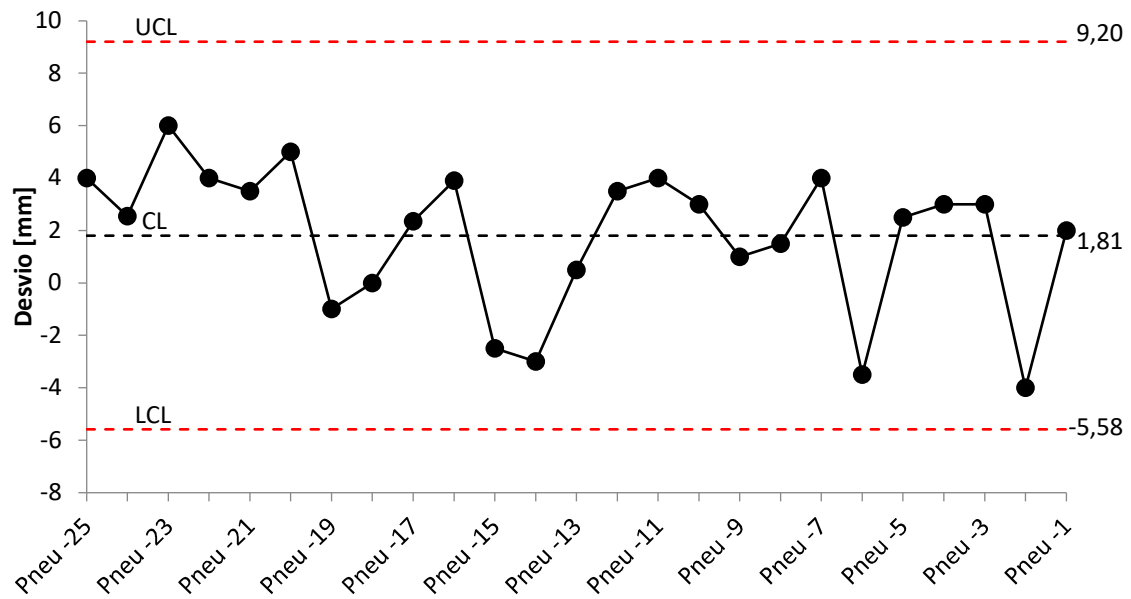


Figura 69 - Carta de controle das médias de desvio da 4ª cinta antes do MTC

Amplitude

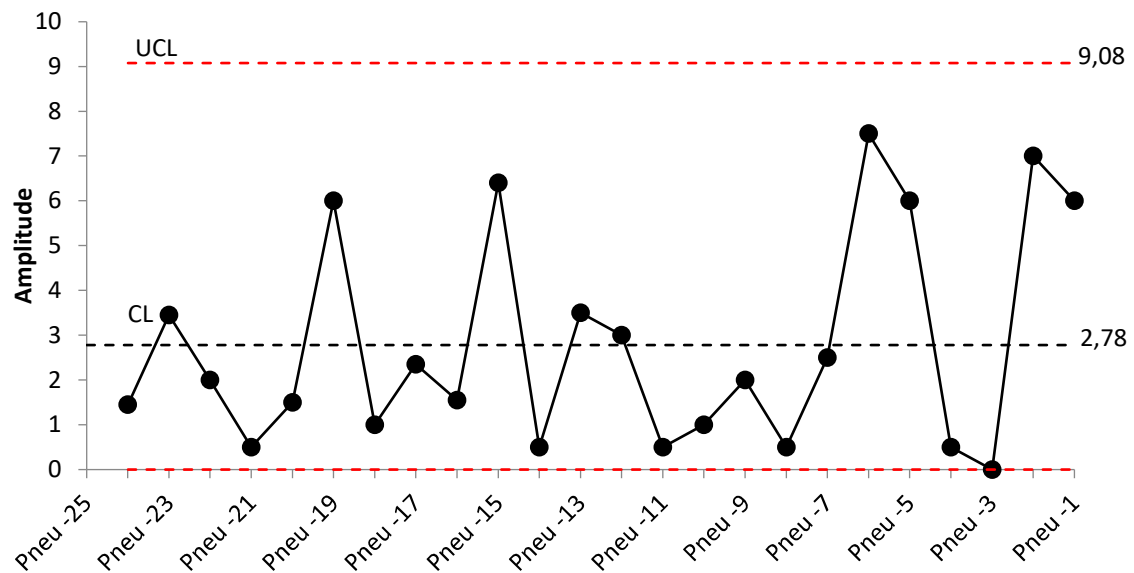


Figura 70 - Carta de controle de amplitude de desvio da 4ª cinta antes do MTC

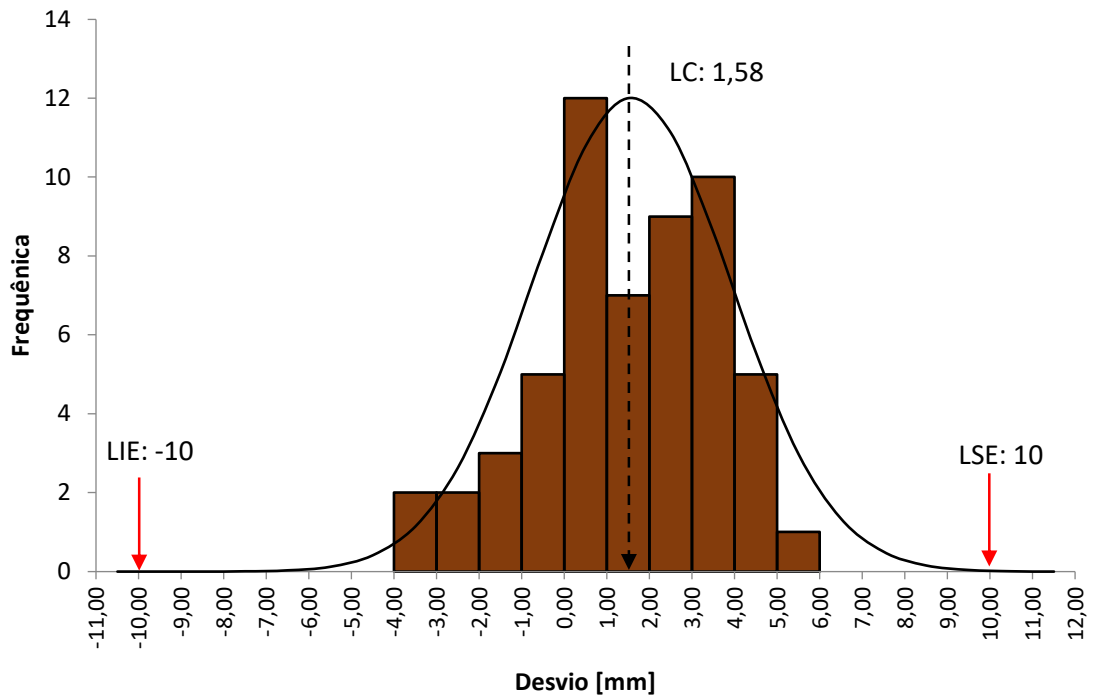


Figura 71 - Histograma de medições de desvio da 4ª cinta metálica antes do MTC

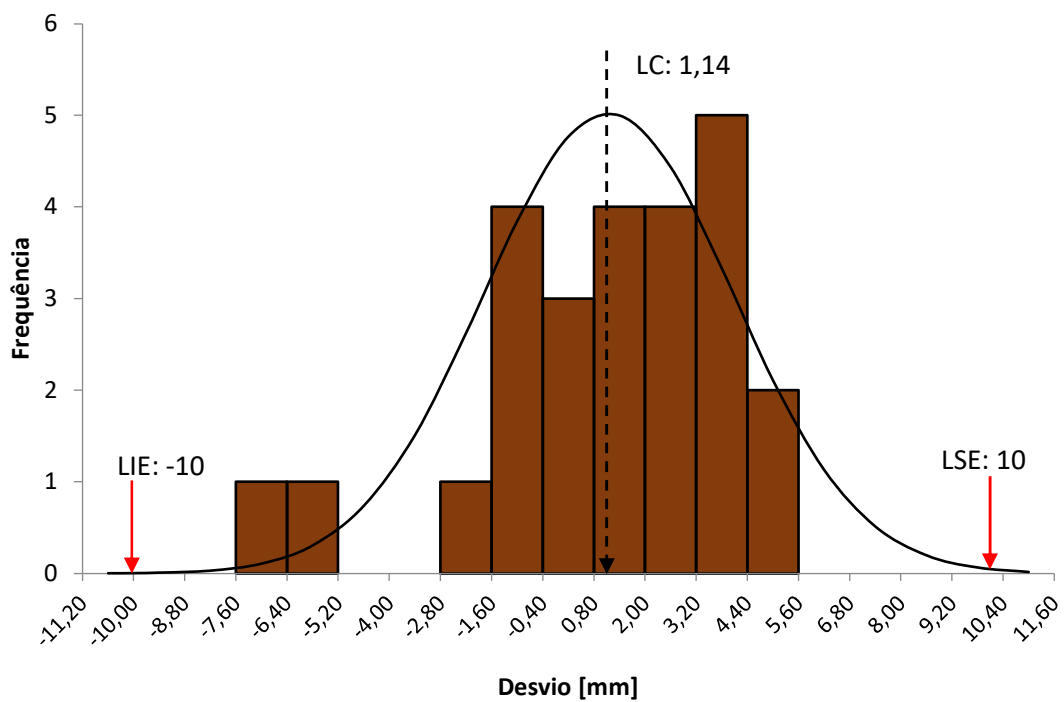


Figura 72 - Histograma de medições de desvio da 4ª cinta metálica após MTC

X - barra

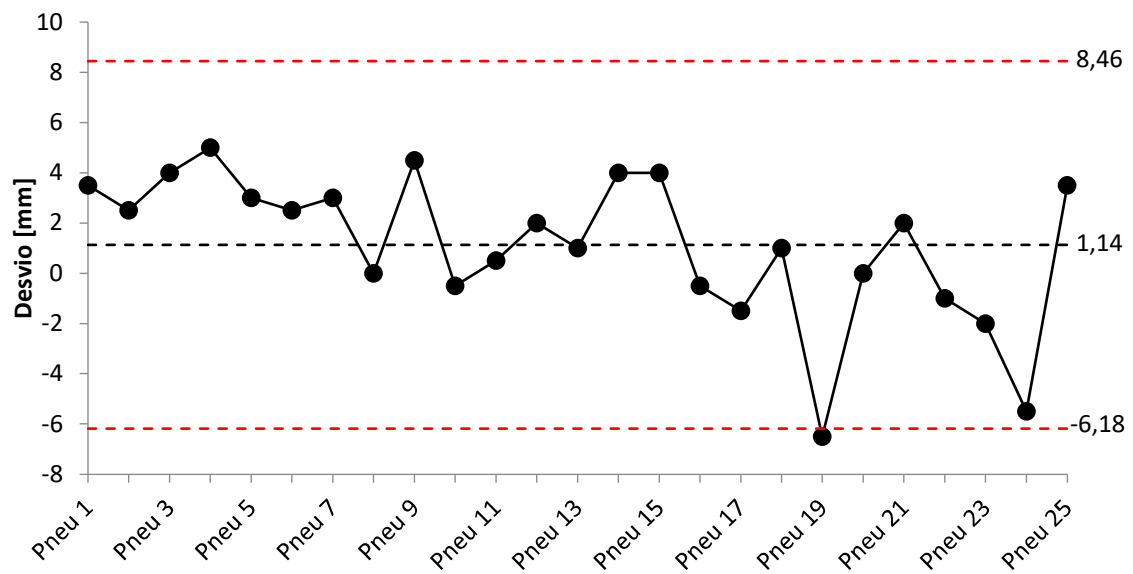


Figura 73 - Carta de controle das médias de desvio da 4ª cinta depois do MTC

Amplitude

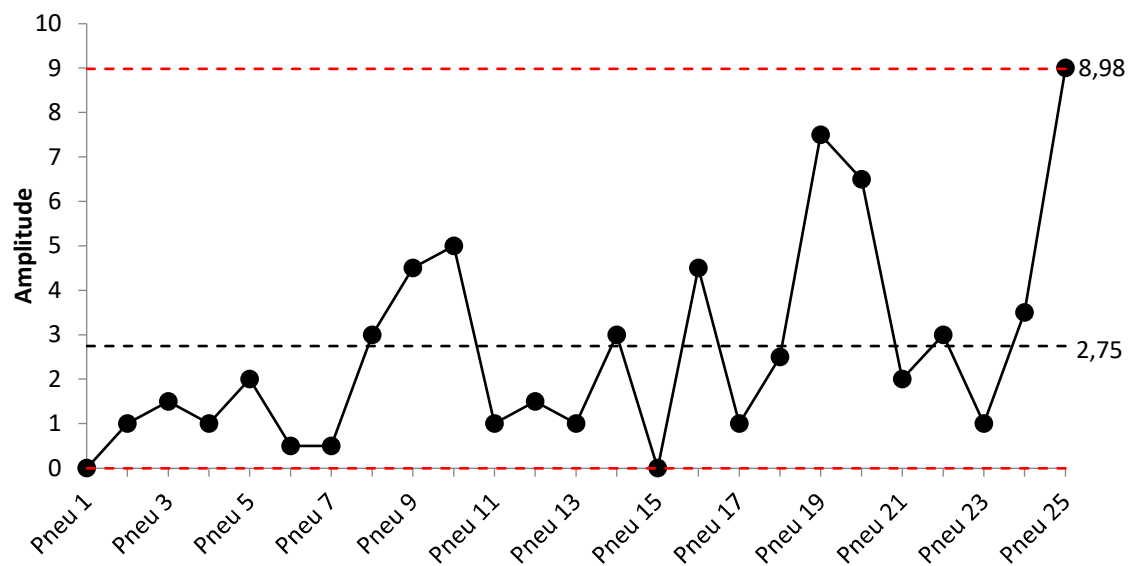


Figura 74 - Carta de controle de amplitude de desvio da 4ª cinta depois do MTC

X- barra

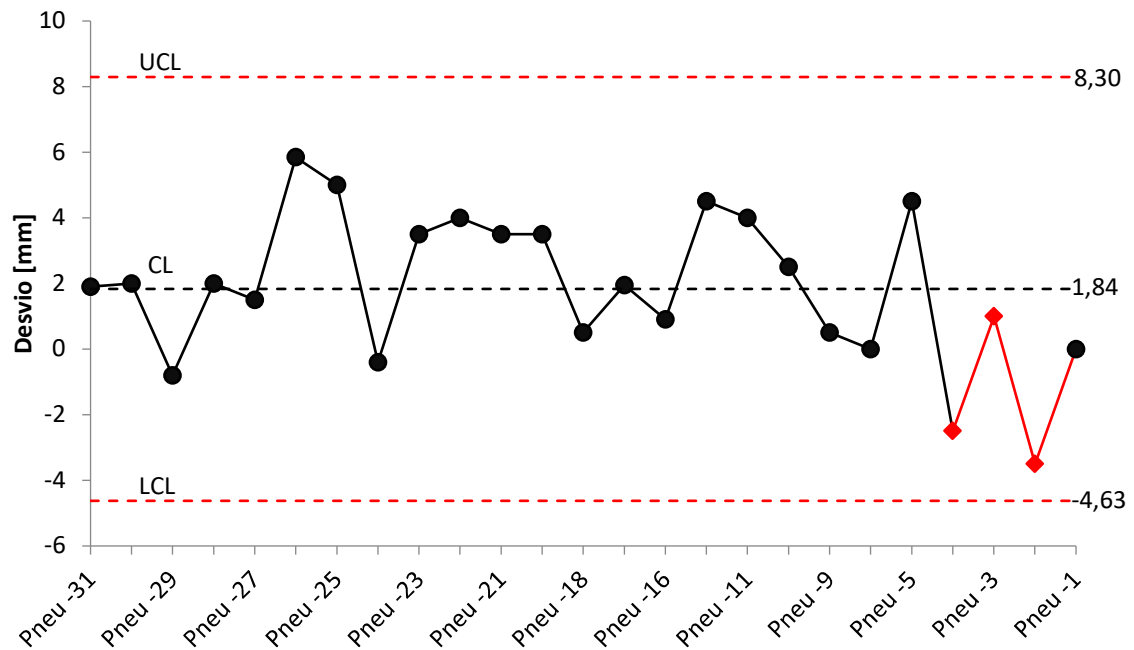


Figura 75 - Carta de controle das médias de desvio da 5ª cinta antes do MTC

Amplitude

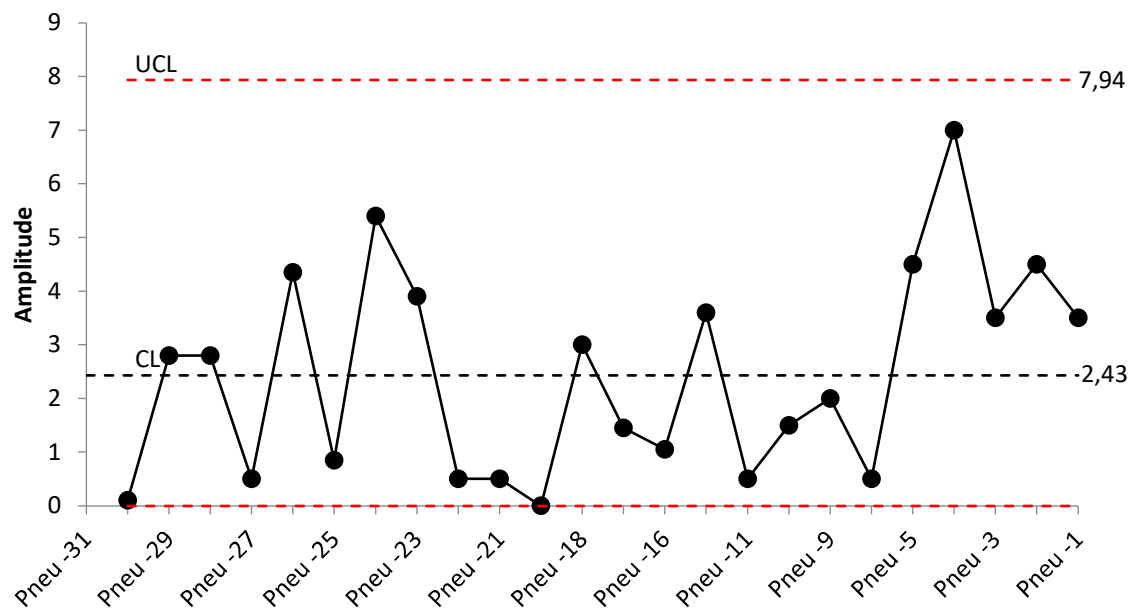


Figura 76 - Carta de controle de amplitude de desvio da 5ª cinta antes do MTC

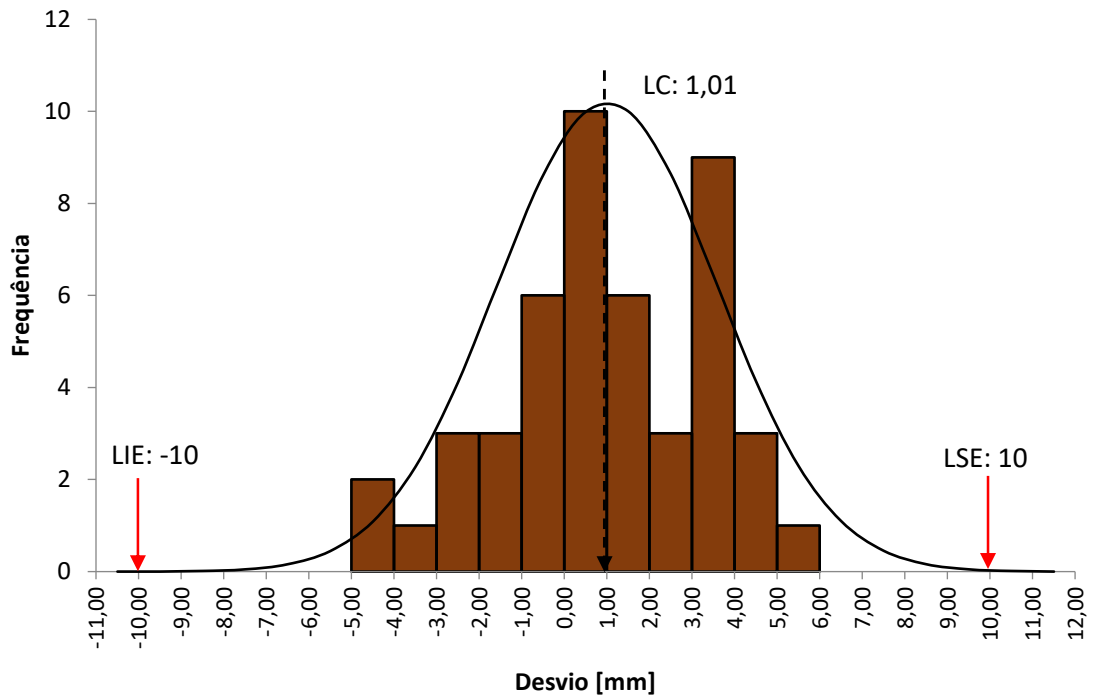


Figura 77 - Histograma de medições de desvio da 5ª cinta metálica antes do MTC

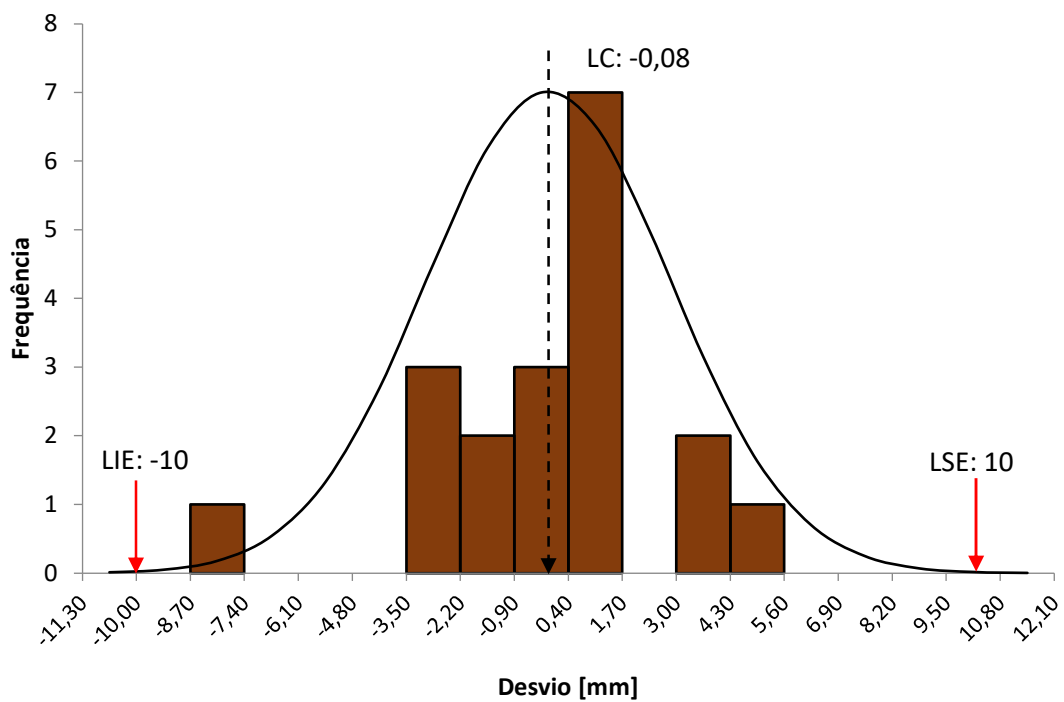


Figura 78 - Histograma de medições de desvio da 5ª cinta metálica após MTC

X- barra

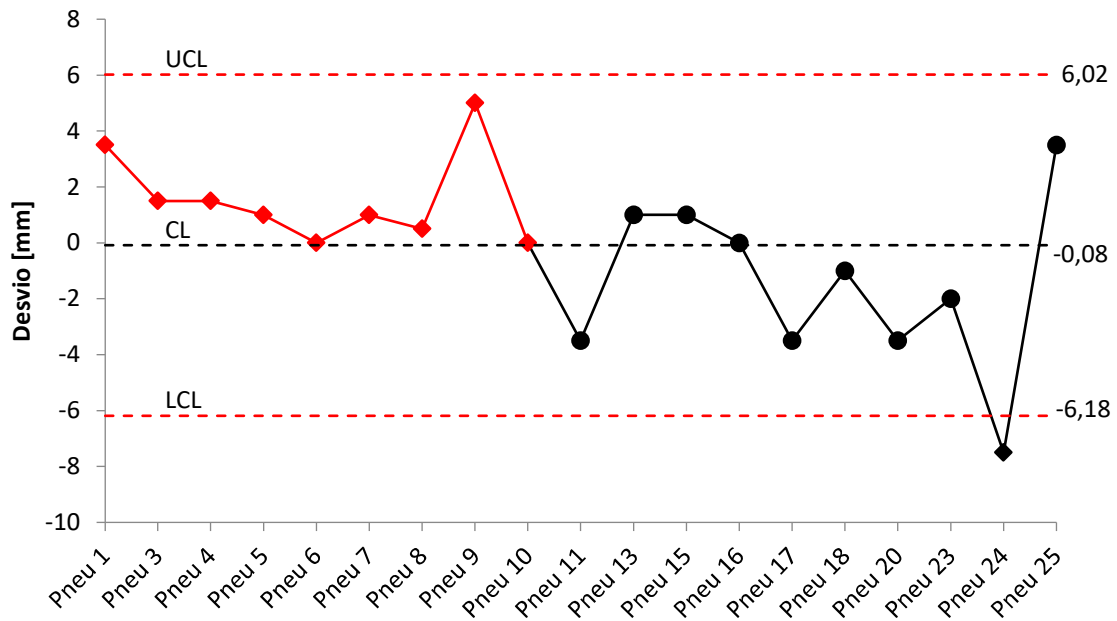


Figura 79 - Carta de controle das médias de desvio da 5ª cinta depois do MTC

Amplitude

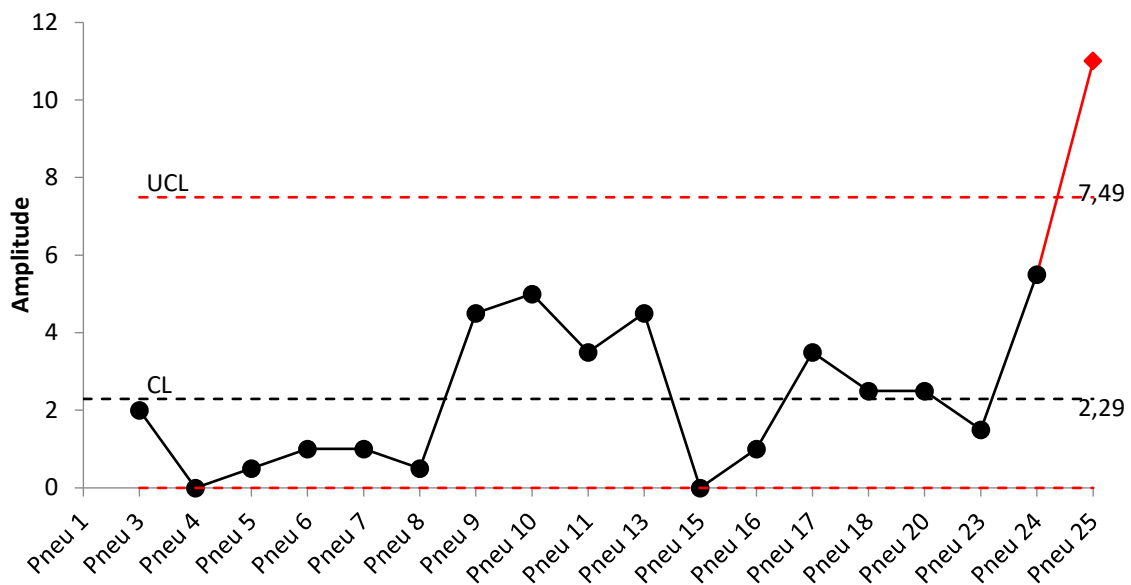


Figura 80 - Carta de controle de amplitude de desvio da 5ª cinta depois do MTC