



Avaliação do Sistema Inovador de Marcação de Pneus (Análise por MSA ISO/TS 16949)

MARIA EDUARDA MATOS MORIM DA SILVA

Julho de 2015



Instituto Superior de Engenharia do Porto
Mestrado em Engenharia de Instrumentação e Metrologia

Avaliação do Sistema Inovador de Marcação de Pneus

Análise por MSA – ISO/TS 16949

Maria Eduarda Matos Morim da Silva

Orientadores:

Elisabete Nogueira (ISEP)

José Martins (Continental Mabor)

Julho de 2015

“Qualidade significa fazer bem quando ninguém nos observa.”

Henry Ford

Agradecimentos

Ao longo do nosso processo de crescimento como pessoas e profissionais, vamos deparando-nos com novas realidades até então desconhecidas, sendo por isso necessário percorrer um longo caminho para atingir os nossos objetivos. Contudo, isso não seria possível sem a intervenção de todos aqueles que nos rodeiam. Assim, quero muito agradecer a todos que os contribuíram de alguma forma para a concretização desta etapa da minha vida.

À Continental Mabor, entidade que me acolheu durante os seis meses de estágio, o que possibilitou a aquisição de novos conhecimentos.

Ao Sr. Martins por me ter dado a oportunidade de realizar um projeto no laboratório de metrologia e por todo o apoio e conselhos sábios.

Aos colegas de laboratório, Manuel Gadelho e Nuno Veloso por todo o companheirismo, paciência e ajuda.

À equipa da Direção da Qualidade, em particular ao Sr. Oliveira pela disponibilidade e ajuda prestada durante os ensaios.

À Engenheira Elisabete pelo contributo prestado na orientação do estágio, pelo acompanhamento do mesmo e pela disponibilidade que sempre demonstrou para me esclarecer e apoiar no sentido de elaborar este relatório.

À Ana que me acompanhou neste percurso por mais dois anos.

À Vanessa, à Rita, à Andreia, ao André e ao Carlos.

Ao João pela paciência e apoio incondicional.

À Vera, à Joana e à Vânia por me acompanharem em mais uma etapa contribuindo sempre com alegria e boa disposição.

Por fim, á minha família, em especial aos meus pais e irmã, por todo o apoio que me deram ao longo da vida ajudando-me sempre a ultrapassar os obstáculos que no meu caminho se atravessaram.

Obrigada a todos.

Resumo

As grandes indústrias têm cada vez mais uma grande preocupação com a qualidade dos seus produtos e conseqüentemente, uma redução nas falhas e reclamações. Atualmente pode dizer-se que qualidade significa controlo do processo e do produto. Isto só será possível fazendo um controlo metrológico de todos os equipamentos de medição, de forma a garantir que estes estão em conformidade com os requisitos. Assim a metrologia apresenta um papel fundamental na qualidade.

A existência de um laboratório, devidamente certificado, facilita o controlo e permite uma redução de custos associados às calibrações feitas por entidades externas ou até pelos próprios fabricantes.

Cabe à metrologia a aplicação dos estudos MSA (*Measurement System Analysis*) que é um método de análise estatístico requisito da norma ISO/TS 16949. Este método permite assegurar o controlo estatístico de todos os equipamentos e sistemas de medição.

O presente relatório foi realizado com base nos resultados dos estudos efetuados durante o estágio na Continental Mabor.

Os dois primeiros meses do estágio constaram da minha integração no laboratório de metrologia. O trabalho desenvolvido neste laboratório incluiu calibrações rotineiras do laboratório: sondas de temperatura, manómetros de pressão, transdutores, comparadores, fitas métricas, balanças, durómetros, paquímetros e equipamentos mais específicos tipo perfilómetros, medidores de pH e células de carga das máquinas de uniformidade.

Durante o restante tempo do estágio foram realizados diversos testes que tinham por objetivo avaliar as máquinas de marcação do pneu que incluíam uma máquina que possuía um método inovador de marcação de pneus e todas as outras máquinas de marcação de uniformidade que já possuíam um processo de marcação. A avaliação efetuada foi baseada nas ferramentas do MSA e teve como consequência a aprovação da “nova” máquina e escolha do melhor método de marcação nas máquinas de uniformidade.

Abstract

Increasingly there is a part of the big industries a concern with the quality of their products and therefore, a reduction in failures and complaints. Currently, quality means control of the process and the product. For this, it is necessary to ensure a metrological control of all measuring equipment, in order to ensure that these are in accordance with the requirements. The metrology presents a fundamental role in quality.

The existence of a laboratory, duly certified, facilitates the monitoring and allows a reduction of costs associated with the calibrations performed by external entities or even by the manufacturers themselves

The application of metrology studies MSA (Measurement System Analysis) which is a method of statistical analysis requirement of ISO/TS 16949. This method makes it possible to ensure the statistical control of all measurement equipment and systems.

This report was produced based on the results of the studies carried out during the internship in Continental Mabor.

The first two months of the training course consisted of my integration into metrology laboratory. The work carried out in this laboratory included routine calibrations of laboratory: calibration of temperature sensors, pressure gauges, transducers, comparators, tapes, scales, micrometers, durometers and equipment more specific type perfilometers, pH meters, load cells of uniformity machines.

During the remaining time of the traineeship were performed several tests that aimed to evaluate the tire marking machines which included a machine that possessed an innovative method of marking tyres and all other machines of uniformity that already owned a markup process. The avaluation was based on the MSA tools and has resulted in the adoption of the "new" machine and choose the best method of marking on the uniformity machines.

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Áreas de negócio da Continental. (2).....	16
Figura 1.2 – Comparativo das vendas de mercado de equipamento de origem e mercado de substituição. (3).....	18
Figura 1.3 – Clientes da empresa Continental.....	18
Figura 1.4 – Percentagem de vendas por cliente.	19
Figura 1.5 – Sistema Português da Qualidade. (5).....	20
Figura 1.6 – Enquadramento do laboratório de metrologia da CM num subsistema da Metrologia.....	21
Figura 1.7 – Instrumentos calibrados desde 2004 a 2014.	22
Figura 1.8 – Laboratório antes e depois do 5S.	23
Figura 2.1 – Codificação para os instrumentos da fábrica. (Exemplo: Manómetro de pressão – MN 0001).	29
Figura 2.2 – Limites de aceitação.....	30
Figura 2.3 – Etiqueta de calibração. Figura 2.4 – Etiqueta de próxima inspeção.	30
Figura 2.5 – Etiqueta que indica que o instrumento está fora das tolerâncias.....	30
Figura 2.6 – Etiqueta que coloca o instrumento num estado de fora de serviço.	31
Figura 2.7 – Etiqueta colocada em instrumentos que não necessitam de calibração periódica.....	31
Figura 2.8 – Tendência.....	35
Figura 2.9 – Estabilidade.....	35
Figura 2.10 – Linearidade.	35
Figura 2.11 – Repetibilidade.	36
Figura 2.12 – Reprodutibilidade.....	36
Figura 2.13 – Erro do tipo I.....	37
Figura 2.14 – Erro do tipo II.	37
Figura 2.15 – Carta de médias. (9).....	41

Figura 2.16 – Carta de amplitudes.	41
Figura 2.17 – Carta de sequências. (9).....	42
Figura 2.18 – Gráfico de dispersão. (9).....	42
Figura 2.19 – Histograma normalizado. (1)	43
Figura 2.20 – Exemplo de um gráfico de linearidade.	46
Figura 2.21 – Recolha de dados de um estudo de repetibilidade e reprodutibilidade.	48
Figura 3.1 – Componentes gerais de um pneu.	53
Figura 3.2 – Instrumentos calibrados no decorrer do estágio no laboratório de metrologia.	55
Figura 3.3 – Fluxo de materiais e de informação da CM.	56
Figura 3.4 – Esquema do processo produtivo.	57
Figura 3.5 – Armazém de matérias-primas.	58
Figura 3.6 – Instrumentos calibrados na fase de aprovação de matérias-primas.	58
Figura 3.7 – Saco de compostos (a); Big Bags (b); Borracha após misturação (c).	59
Figura 3.8 – Instrumentos calibrados na fase da misturação.....	59
Figura 3.9 – Fase de preparação.....	60
Figura 3.10 – Extrusoras de pisos e paredes.	61
Figura 3.11 – Instrumentos calibrados na fase da preparação.....	61
Figura 3.12 – Fase de construção.	63
Figura 3.13 – Anel de transferência.	63
Figura 3.14 – Instrumentos calibrados na fase da construção.....	64
Figura 3.15 – Moldes das pensas de vulcanização.....	64
Figura 3.16 – Prensas de Vulcanização.....	65
Figura 3.17 – Pneu em cru.	65
Figura 3.18 – Instrumentos calibrados na fase da vulcanização.	66
Figura 3.19 – Inspeção visual.....	66
Figura 3.20 – Pneus colocados em paletes.....	67
Figura 3.21 – Instrumentos calibrados na fase da inspeção final.....	67
Figura 3.22 – Armazém de produto acabado.	68
Figura 3.23 – Camião de transporte	68
Figura 4.1 – Tambor rotativo de uma máquina de uniformidade. (16)	70
Figura 4.2 – Forças de variação. (15).....	71
Figura 4.3 – Variação da força radial com a rotação. (17).....	72
Figura 4.4 – Análise harmónica da variação da força. (17).....	72

Figura 4.5 – Variação da força lateral. (17)	73
Figura 4.6 – Conicidade. (19).....	73
Figura 4.7 – Radial Runout. (20).....	74
Figura 4.8 – Lateral Runout. (15).....	74
Figura 4.9 – Marcações nos pneus (red dot, red donut, white dot, white dot com letra P de conicidade positiva e white dot com letra N de conicidade negativa).....	76
Figura 4.10 – Código de barras de um pneu.....	76
Figura 4.11 – Máquina de uniformidade. (16)	77
Figura 4.12 – Funcionamento da máquina de uniformidade.....	78
Figura 4.13 – Esquema representativo da posição do CB em relação à célula de carga.....	78
Figura 4.14 – Processo de marcação do pneu.	79
Figura 4.15 – Sistema de câmara e iluminação colocados na MU#12.....	80
Figura 4.16 – Funcionamento do CMS.	82
Figura 4.17 – Sistema de alinhamento: leitura do CB e posicionamento angular.....	82
Figura 4.18 – Zona de marcação (3 rolos).....	83
Figura 4.19 – Rolo de impressão a quente (à esquerda) e respetiva marca (à direita). (24).....	83
Figura 4.20 – Câmaras de verificação das marcações (a vermelho).	84
Figura 4.21 – Ambiente de trabalho do CMS.	86
Figura 5.1 – Template em excel com os valores obtidos para o estudo de Cg e Cgk (MU#11).	89
Figura 5.2– Template usado na análise de Repetibilidade.....	91
Figura 5.3 – Transferidor usado para medir os ângulos de marcação (à esquerda) e transferidor colocado no pneu (à direita).....	92
Figura 5.4 – Resultados do estudo: ângulo marcado pela MU#9 versus ângulo medido manualmente.	92
Figura 5.5 – Representação gráfica dos valores obtidos no estudo para cada pneu.....	93
Figura 5.6 – Resultado do estudo.....	93
Figura 5.7 – Resultados do estudo: ângulo marcado pela MU#11 versus ângulo medido manualmente.	94
Figura 5.8 – Representação gráfica dos valores obtidos no estudo para cada pneu.....	94
Figura 5.9 – Resultado do estudo.....	95
Figura 5.10 – Resultados do estudo: ângulo marcado pela MU#12 versus ângulo medido manualmente.	95
Figura 5.11 – Representação gráfica dos valores obtidos no estudo para cada pneu.....	96
Figura 5.12 – Resultado do estudo.....	96

Figura 5.13 – Estudo Cg e Cgk para a MU#2.	98
Figura 5.14 – Pneu nº1 marcado na MU#19.	101
Figura 5.15 – Pneu nº2 marcado na MU#19.	102
Figura 5.16 – Pneu nº3 marcado na MU#19.	102
Figura 5.17 – Exemplos de marcações com falhas não detetadas pelo sistema.	107

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 – Número de pneus vulcanizados produzidos pela CM no ano de 2014. (3)	17
Tabela 2.1 – Critérios de aceitação dos estudos de repetibilidade e reprodutibilidade. (1)	39
Tabela 2.2 – Impacto do número de distintas categorias (ndc) da distribuição de um processo sobre as atividades de análise. (13).....	40
Tabela 2.3 – Constante K (dependente do número de observações).....	49
Tabela 2.4 – Constante K dependente do número de avaliadores.....	49
Tabela 2.5 – Critérios de aceitação. (1).....	51
Tabela 2.6 – Critérios do Kohen's Kappa. (1)	52
Tabela 3.1 – Materiais e função dos constituintes de um pneu.....	54
Tabela 4.1 – Resumo das características das câmaras utilizadas nas MU. (21) (22) (23).....	81
Tabela 5.1 – Resumo dos estudos a realizar.....	88
Tabela 5.2 – Valores de Cg e Cgk para as MU com câmara.....	90
Tabela 5.3 – Resultado do estudo nas MU's #2 e #3.	99
Tabela 5.4 – Comparação dos valores do range para cada pneu com o valor do RFH1.	100
Tabela 5.5 – Valores obtidos nas medições efetuadas na MU#19.	101
Tabela 5.6 – Resumo dos resultados da avaliação das MU.....	103
Tabela 5.7 – Valores de Cg e Cgk para a medição do valor do ângulo e raio da câmara superior.	103
Tabela 5.8 – Valores de Cg e Cgk para a medição do valor do ângulo e raio da câmara inferior.	104
Tabela 5.9 – Valores de repetibilidade e ndc para a medição do valor do ângulo e raio.	104
Tabela 5.10 – Estudo por atributos: Resultados individuais.	105
Tabela 5.11 – Outras marcas não incluídas na avaliação global: imperfeições no LTA.....	106
Tabela 5.12 – Outras marcas não incluídas na avaliação global: marcação não realizada no CMS. ...	106
Tabela 5.13 – Resultados do estudo do tipo R&R por atributos.	107
Tabela 5.14 – Estudo de Cg e Cgk para a medição do preenchimento da marcação.	108

Tabela 5.15 – Resultados do estudo do tipo R&R por atributos na segunda avaliação do sistema.	108
Tabela 6.1 – Valores para k.....	129

Abreviaturas e Siglas

CB – Código de Barras

CM – Continental Mabor

CMS – *Central Marking System*

CW – *Clockwise*

CCW – *Counter Clockwise*

EMA – Erro Máximo Admissível

EMM – Equipamentos de Medição e Monitorização

MSA – *Measurement System Analysis*

MU – Máquina de Uniformidade

R&R – Repetibilidade e Reprodutibilidade

SG – *Specific Gravity*

UM – *Mooney Units*

OE – Equipamento de Origem

MS – Mercado de Substituição

HP – *High Point*

LP – *Low Point*

Índice

AGRADECIMENTOS.....	II
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABELAS	X
ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XII
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Enquadramento	13
1.2 Objetivos e Motivação	13
1.3 Estrutura do Relatório	15
1.4 Empresa.....	15
1.4.1 Empresa Continental Mabor.....	17
1.4.2 Clientes.....	18
1.4.3 Laboratório de Metrologia	20
1.5 Normas ISO/TS 16949 e ISO/IEC 17025	23
CAPÍTULO 2 - METROLOGIA - ANÁLISE DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO	28
2.1 Requisitos de um instrumento de medição.....	28
2.2 Procedimento Geral de Calibração.....	29
2.3 Análise de Sistemas de Medição (MSA).....	31
2.3.1 Processo de Medição.....	32
2.3.2 Preparação de um estudo de um Sistema de Medição.....	33
2.3.3 Conceitos relacionados com a variação.....	34

2.3.4	Análise de resultados.....	39
2.3.5	Estudo por variáveis	43
2.3.6	Estudo por atributos	51
CAPÍTULO 3 - METROLOGIA NO PROCESSO PRODUTIVO		53
3.1	Papel da Metrologia no Processo Produtivo.....	56
3.1.1	Receção de matérias-primas.....	58
3.1.2	Departamento I – Misturação	59
3.1.3	Departamento II – Preparação.....	60
3.1.4	Departamento III – Construção	62
3.1.5	Departamento IV – Vulcanização	64
3.1.6	Departamento V – Área Final	66
3.1.7	Expedição de Produto Acabado	68
CAPÍTULO 4 - UNIFORMIDADE E MÉTODO INOVADOR DE MARCAÇÃO		69
4.1	Uniformidade de um pneu.....	69
4.1.1	Forças Radial, Lateral e Tangencial.....	71
4.1.2	Descentramento Radial e Lateral	74
4.1.3	Saliências e depressões na parede lateral	75
4.2	Especificações de Marcação.....	75
4.3	Máquinas de uniformidade.....	76
4.3.1	Máquinas de marcação por <i>Spotting</i>	77
4.3.2	Câmara de Imagem.....	79
4.4	Sistema de Marcação Central (CMS).....	81
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE MARCAÇÃO		87
5.1	Descrição do Problema.....	87
5.2	Avaliação das MU's.....	88
5.3	Avaliação da Máquina CMS	103
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES.....		110
6.1	Considerações finais.....	110
6.2	Trabalhos futuros	113

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo apresenta o enquadramento do projeto desenvolvido, os objetivos a atingir, a motivação e a estrutura do presente relatório.

Ainda neste capítulo, é feita uma breve descrição da empresa onde foi realizado o estágio com referência ao laboratório de metrologia. No fim do capítulo faz-se uma menção sucinta à Norma ISO/TS 16949 a qual define os requisitos de confiabilidade metrológica que garantem a qualidade no setor automóvel, variante da Norma Internacional ISO 9001 para a Indústria Automóvel bem como a Norma ISO/IEC 17025 que especifica os requisitos gerais para a competência na realização de ensaios e/ou calibrações.

1.1 Enquadramento

No âmbito da disciplina de Dissertação/Projeto/Estágio do curso de Mestrado em Engenharia de Instrumentação e Metrologia foi realizado um estágio no laboratório de Metrologia da Continental Mabor – Indústria de Pneus, S.A., sendo este relatório um documento que pretende descrever todas as atividades desenvolvidas no decorrer desse trabalho.

1.2 Objetivos e Motivação

O aumento da concorrência entre as empresas é cada vez mais visível, devido não só à globalização de mercados emergentes, mas também à inovação tecnológica e o cada vez maior nível de exigência por parte dos clientes. Neste sentido, as empresas têm necessidade de apostar em

materiais e equipamentos que lhes permitam responder de forma rápida e eficaz às oscilações do mercado, com produtos que preencham os requisitos dos clientes, com qualidade e a baixo custo.

Para tal, é necessário assegurar um controlo efetivo dos processos de uma indústria, sendo a confiabilidade dos dados gerados pelos sistemas de medição um fator de extrema relevância.

Atualmente, os dados de uma medição são utilizados com frequência e de diferentes formas no controlo de processos de fabrico. Esses dados, ou medidas estatísticas obtidas através deles, são comparados com os limites de controlo previamente calculados. Se de acordo com essa análise, os dados se encontrarem fora desses limites, o processo encontra-se fora de controlo. Outra aplicação dos dados de medição é a determinação da associação entre variáveis do processo, com a finalidade de padronizar e otimizar o mesmo identificando as causas que o afetam. A tomada de decisões de produção está intimamente ligada a este estudo. Porém se a qualidade dos dados é baixa, os benefícios de usar um procedimento como este ficam comprometidos. Para garantir que os custos de obtenção desses dados sejam superados pelos benefícios do seu uso, deve ser dada atenção aos sistemas de medição empregados.

A adoção de ferramentas de análise do Sistema de Medição (MSA) proporciona o conhecimento de fontes de variação do sistema e permite verificar se os sistemas de medição possuem características estatísticas compatíveis com as especificações do produto.

A definição de Sistema de Medição, segundo o Manual de MSA da 4ª Edição, é “Sistema de Medição é o conjunto de operações, procedimentos, dispositivos de medição e outros equipamentos, *software* e pessoal usado para atribuir um número à característica que está a ser medida; o processo completo usado para obter as medidas”. (1)

A metrologia é a responsável pelo controlo e adoção de procedimentos de calibração e preservação de todos os instrumentos que influenciam a produção de determinado produto bem como a escolha do melhor método de análise estatística das variações do processo, por forma a garantir a qualidade do produto final.

O estágio realizado além de permitir adquirir experiência pessoal e técnica em ambiente fabril tem como meta o cumprimento dos seguintes objetivos:

- Análise do enquadramento da metrologia num processo de fabrico;
- Conhecimento do MSA e sua aplicação;
- Acompanhamento da implementação do novo sistema de marcação central (CMS) de pneus e respetiva aprovação, que envolve:
 - Avaliação e aprovação de dois sistemas de marcação já implementados nas máquinas de uniformidade (Câmara e *Spotting*);
 - Correlação dos dois sistemas com o sistema de marcação central;
 - Controlo do sistema (tipo de testes e periodicidade).

1.3 Estrutura do Relatório

A estrutura do presente relatório é composta por sete capítulos. O capítulo 1 dedica-se à introdução do trabalho, o seu enquadramento, a empresa e o laboratório de metrologia onde decorreu o estágio. Neste capítulo também são mencionadas as Normas mais importantes no setor automóvel: a ISO 17025, de extrema importância na acreditação de laboratórios de medição e calibração e a ISO/TS 16949 de onde surge o MSA.

No capítulo 2 são abordados os conceitos de metrologia: requisitos dos instrumentos de medição, codificação dos equipamentos, bem como a explicação da análise de Sistemas de Medição.

O capítulo 3 demonstra de forma clara o papel da metrologia em cada etapa do processo produtivo na Continental Mabor – Indústria de Pneus S.A.

A definição da uniformidade do pneu, a sua marcação de acordo com o cliente e o funcionamento geral das máquinas de uniformidade (constituintes, regras de marcação, entre outros) constam no capítulo 4.

Os resultados dos estudos de MSA na marcação do pneu, os quais permitiram concluir as avaliações das máquinas de uniformidade e da máquina de marcação central CMS são apresentados no capítulo 5.

Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões retiradas da realização deste trabalho e as sugestões, de melhoria dos equipamentos em estudo, que poderão constituir trabalho futuro.

1.4 Empresa

A Continental, atualmente, é um dos maiores fornecedores mundiais da indústria automóvel com vendas de 33,3 mil milhões de euros em 2013. Sediada em Hannover – Alemanha, na sua origem fabricava artefactos de borracha flexível e pneus maciços para carruagens e bicicletas.

Em 1898, iniciou a produção de pneus lisos (sem desenho de piso) para automóveis. A partir de então, acompanha a evolução operada na indústria automóvel com o estudo e aplicação de técnicas, produtos e equipamento para a melhoria de pneumáticos. O seu prestígio ultrapassa as fronteiras da Alemanha e os pneus Continental passaram a equipar os carros vencedores das diversas competições automóveis.

Em 2007, a Continental adquire a Siemens VDO Automotive AG e avança para os cinco maiores fornecedores mundiais da indústria automóvel e ao mesmo tempo desenvolvendo a sua posição na Europa, América do Norte e Ásia.

Contribui para uma maior segurança na condução e proteção climática a nível global (com sistemas de travagem inovadores, sistemas e componentes para *powertrain* e *chassis*, instrumentação, soluções de entretenimento informativo, equipamento eletrónico do veículo, pneus e elastómeros técnicos). É também um parceiro especializado na comunicação automóvel em rede. (2) Na Figura 1.1 apresentam-se as áreas de negócio da Continental.

Chassis & Safety	Powertrain	Interior	Pneus de passageiros e com. ligeiros	Commercial Vehicle Tires	ContiTech
Electronic Brake Systems	Sistemas Injeção	Instrumentação & Driver HMI	Equipamento de Origem	Pneus Pesados, EMEA	Molas e anilhas
Hydraulic Brake Systems	Transmissão	Infotainment & Connectivity	Merc. Substituição EMEA	Pneus Pesados, The Americas	Benecke-Kaliko Group
Sensorics	Hybrid Electric Vehicle	Body & Security	Merc. Subst, The Americas	Pneus Pesados, Asia Pacific	Correias Transportadoras Group
Passive Safety & Advanced Driver Assistance Systems (PSAD)	Sensors & Actuators	Comm. Vehicles & Aftermarket	Merc. Subst Asia Pacific	Pneus Industriais	Elastómeros
Chassis Components	Fuel Supply		Pneus para 2 rodas		Fluid Technology
					Power Transmission Group
					Controlo vibrações
					Other Operations

Figura 1.1 – Áreas de negócio da Continental. (2)

Nos dias de hoje, a Continental tem cerca de 178 mil colaboradores em 300 locais diferentes, em 49 países.

Em Portugal existem cinco fábricas Continental:

- Continental Mabor – Industria de Pneus;
- Continental Lemmerz – Componentes para Automóveis, Lda.;
- Continental Pneus (Portugal), S.A.;
- Continental Teves Portugal – Sistemas de Travagem, Lda.;
- Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A..

1.4.1 Empresa Continental Mabor

O trabalho de estagio foi realizado na Continental Mabor (CM) – Industria de Pneus, S.A que é uma sociedade anónima fundada em 1989 como resultado da junção entre a Mabor (Manufatura Nacional de Borracha, S.A.) e a Continental AG, com sede em Lousado - Vila nova de Famalicão, cujo objetivo social é a fabricação de pneus e câmaras-de-ar, em particular a produção de pneus para veículos automóveis ligeiros e para *SUV's (Sport Utility Vehicles)*.

A CM dispõe de uma superfície total de 267 mil m² e conta com cerca de 1704 trabalhadores. Atualmente tem uma capacidade de produção média de 53 000 pneus/dia, apresentando-se assim, como uma das fábricas da Continental com melhores índices de produtividade. O resultado líquido desta fábrica para o ano de 2014 foi a produção de cerca de 17 milhões de pneus (Tabela 1.1). Mais de 98% da produção destina-se à exportação. (3)

Tabela 1.1 – Número de pneus vulcanizados produzidos pela CM no ano de 2014. (3)

2014	
Mês	Pneus vulcanizados
Janeiro	1 489 182
Fevereiro	1 545 817
Março	1 709 876
Abril	1 427 733
Maiο	1 709 995
Junho	1 578 852
Julho	1 570 140
Agosto	1 204 377
Setembro	1 556 043
Outubro	1 432 015
Novembro	1 404 787
Dezembro	638 556
Total	17 267 373

Os mercados consumistas de pneus produzidos pela Continental são o mercado de equipamento de origem e o mercado de substituição, sendo que o mercado de substituição absorve mais de metade da produção como se pode ver na Figura 1.2. A parte restante destina-se às linhas de montagem, dos mais prestigiados construtores da indústria automóvel.

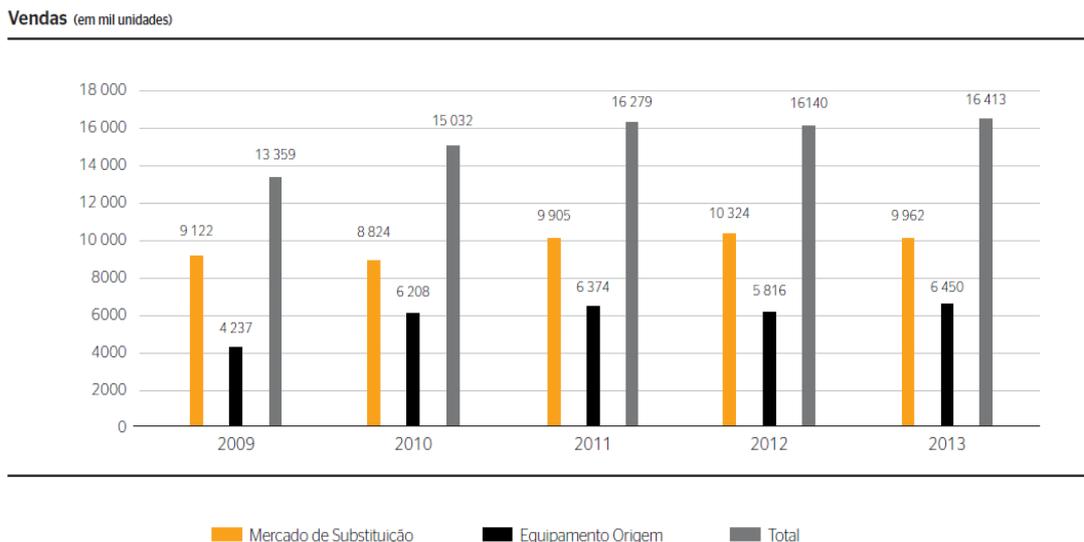


Figura 1.2 – Comparativo das vendas de mercado de equipamento de origem e mercado de substituição. (3)

1.4.2 Clientes

Os clientes da CM podem ser divididos em dois grupos, isto porque há os pneus que abastecem o mercado de origem e os que abastecem o mercado de substituição. Os clientes que se integram no mercado de origem são essencialmente as empresas que detêm as principais marcas de veículos automóveis. A Figura 1.3 apresenta as principais marcas de automóveis que recorrem a pneus de marca Continental para equiparem os seus veículos. (2)



Figura 1.3 – Clientes da empresa Continental.

Estes clientes representam diferentes partes nas vendas por parte da empresa. Através da Figura 1.4, é possível identificar quais as marcas que têm um maior impacto na percentagem de pneus vendidos anualmente, por parte da CM.

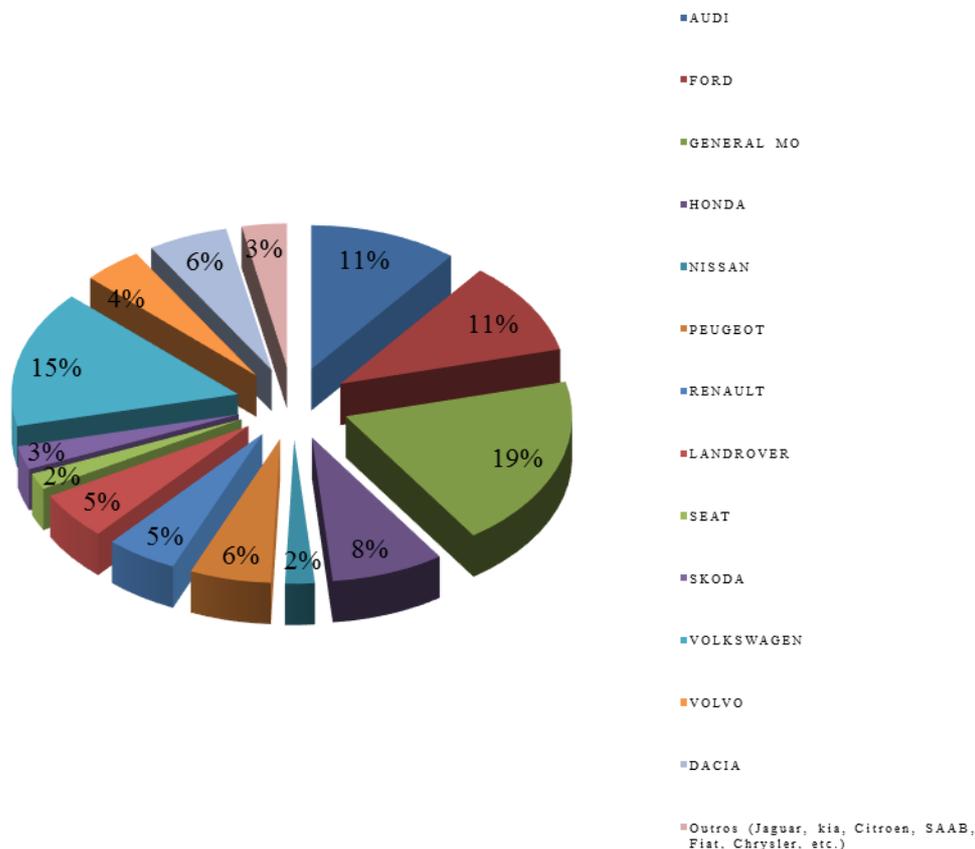


Figura 1.4 – Percentagem de vendas por cliente.

O objectivo central da Continental Mabor é crescer, em produtividade, competitividade, inovação, na qualidade do produto e dos serviços, na satisfação do cliente e na defesa do meio ambiente.

É certificada pela RWTUV, segundo as normas ISO 14001 a qual é relativa ao ambiente, QS 9000/VDA 6.1 e ISO/TS 16949 relativas à qualidade, a OHSAS 18001 relativa à Saúde Ocupacional e Segurança no Trabalho. (2)

1.4.3 Laboratório de Metrologia

Os instrumentos utilizados no processo de fabrico estão suscetíveis a acidentes, desgastes, desafinações e velhice podendo levar à alteração do seu comportamento. Para atenuar ou controlar os desvios das medições que influenciam direta ou indiretamente a produção, é fundamental recorrer aos conhecimentos da metrologia. (4)

A metrologia é a atividade, no domínio das medições, que assegura a exatidão e manutenção dos meios de controlo tecnológico. Exerce um papel fundamental dentro do Sistema de Garantia da Qualidade, dando a base técnica para a tomada de decisões corretas nas atividades de avaliação dos produtos e dos processos.

A garantia e a demonstração da confiabilidade¹ dos resultados de medições em qualquer avaliação de conformidade são requisitos fundamentais exigidos nos sistemas de Garantia da Qualidade baseados nas normas ISO.

Segundo o Decreto-lei nº142/2007, de 27 de Abril, *o Sistema Português da Qualidade (SPQ) representa o conjunto integrado de entidades e organizações interrelacionadas e interactuantes que, seguindo princípios, regras e procedimentos aceites internacionalmente, congrega esforços para a dinamização da qualidade em Portugal e assegura a coordenação dos três subsistemas – da normalização, da qualificação e da Metrologia – com vista ao desenvolvimento sustentado do País e ao aumento da qualidade de vida da sociedade em geral.* (Figura 1.5)



Figura 1.5 – Sistema Português da Qualidade. (5)

¹ Confiabilidade, "Capacidade de ter a certeza, confiança nos resultados obtidos através de medições", VIM (2012)

A Metrologia garante rigor e exatidão das medições realizadas, assegurando a sua comparabilidade e rastreabilidade, quer a nível nacional quer internacional.

Os outros dois subsistemas, o subsistema da normalização, enquadra atividades de elaboração de normas e outros documentos de carácter normativo no âmbito nacional, europeu e internacional e o subsistema da qualificação enquadra atividades de acreditação, certificação e outras de reconhecimento de competências e de avaliação de conformidade, no âmbito do SPQ. (5)

A metrologia divide-se em três aplicações: legal, industrial e científica. A metrologia legal é responsável pelos sistemas de medição utilizados nas transações comerciais e pelos sistemas relacionados às áreas de saúde, segurança e meio ambiente como por exemplo na verificação de bombas de abastecimento de combustível. A metrologia científica trata, fundamentalmente, dos padrões de medição internacionais e nacionais, dos instrumentos laboratoriais e das pesquisas e metodologias científicas relacionadas ao mais alto nível de qualidade metrológica como por exemplo a calibração de pesos-padrão e balanças analíticas para laboratórios. E por fim a metrologia industrial abrange os sistemas de medição responsáveis pelo controle dos processos produtivos e pela garantia da qualidade e segurança dos produtos finais. (6)

O estágio desenvolvido no laboratório de metrologia, bem como todo o trabalho realizado, insere-se no subsistema da Metrologia Industrial (Figura 1.6).

A Metrologia Industrial surge no âmbito das medições ao nível da produção e transformação de bens ou para demonstração da qualidade metrológica em organizações com sistemas de qualidade certificados. Relaciona-se com as medições realizadas em processos de fabrico e durante o controlo de qualidade dos diferentes produtos e serviços. Assenta numa cadeia hierarquizada de padrões existentes em laboratórios e empresas, padrões estes rastreáveis² a padrões primários (internacionais e nacionais).

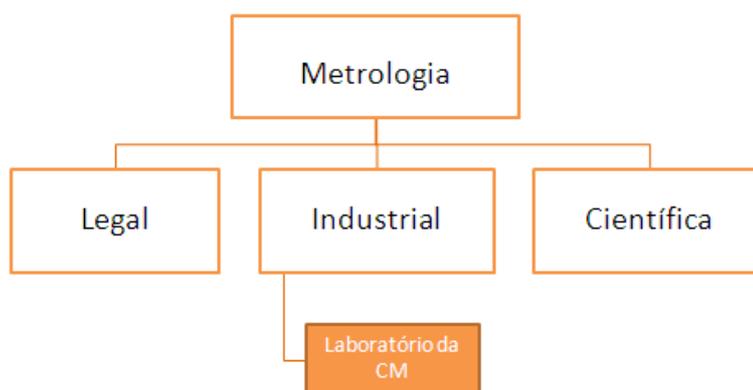


Figura 1.6 – Enquadramento do laboratório de metrologia da CM num subsistema da Metrologia.

² Rastreabilidade, “Propriedade dum resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência através duma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição. A “referência” pode ser uma definição duma unidade de medida por meio da sua realização prática, ou um procedimento de medição que inclui a unidade de medida para uma grandeza não ordinal, ou um padrão”, VIM (2012).

O laboratório de Metrologia da Continental Mabor – Indústria de Pneus existe desde 1991. Está habilitado a calibrar instrumentos de medição, nos domínios indicados no Anexo A, utilizando padrões rastreáveis a laboratórios acreditados (cadeia de calibração presente no Anexo B) e na impossibilidade de tal, utiliza padrões de referência dos fabricantes do equipamento.

Algumas dessas decisões tomadas na CM com base em resultados de medições incluem:

- Libertar ou segregar um lote produzido após ensaios finais realizados;
- Adquirir um sistema de medição com base nos resultados de ensaios realizados;
- Climatizar setores da fábrica onde são realizadas medições, inspeções ou ensaios, baseada em estudos experimentais envolvendo medições e ensaios. (2)

A metrologia acompanha o desempenho de todos os instrumentos envolvidos no processo produtivo.

Toda a instrumentação existente na fábrica está devidamente identificada e guardada numa base de dados do Laboratório de Metrologia. Dessa base de dados fazem parte instrumentos que não influenciam diretamente o processo, estando por isso isentos de calibração periódica, e instrumentos que influenciam diretamente a produção, necessitando então de uma periodicidade de calibração. Para a periodicidade de calibração, é usado o Método de Schumacher que, mediante o histórico das calibrações de cada instrumento, pode aumentar ou diminuir automaticamente o período entre calibrações. Na Figura 1.7 estão presentes sob a forma de gráfico os instrumentos calibrados, por mês (diferentes cores), desde o ano de 2004 até o ano de 2014.

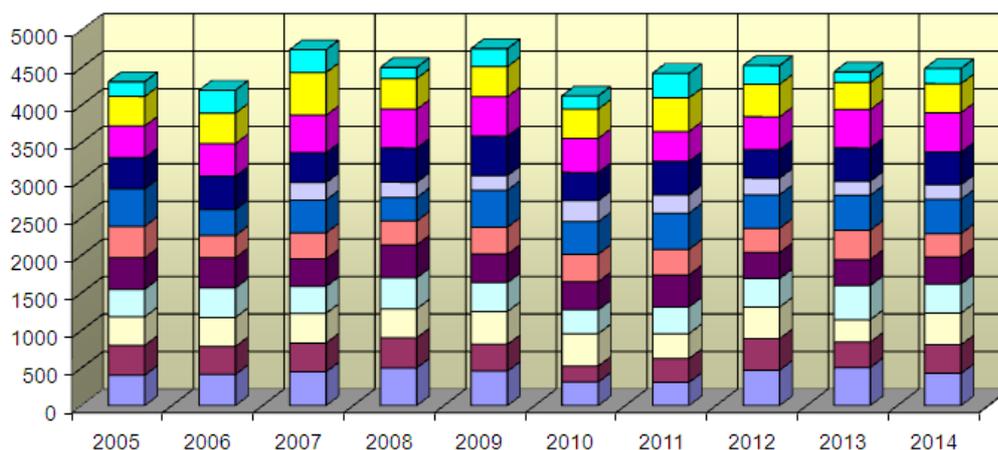


Figura 1.7 – Instrumentos calibrados desde 2004 a 2014.

Na base de dados do laboratório existem 31390 instrumentos, onde todos os instrumentos que dão entrada na fábrica são devidamente identificados e lá colocados. Desses instrumentos 12534 estão fora de serviço devido a dano, avaria ou desaparecimento, 12579 não necessitam de calibração regular

por não interferirem diretamente no processo, servem apenas para controlo, e 5119 constam do plano e por isso, são calibrados com períodos desde 6 a 36 meses.

Todos os instrumentos quando são adquiridos passam pelo laboratório para uma primeira calibração. Quando dão entrada no armazém todos os instrumentos já foram devidamente calibrados estando prontos a ser utilizados quando requisitados.

De forma a um obter um melhor desempenho, o laboratório, em 2013, implementou a **metodologia 5S**. A metodologia 5S é uma das ferramentas utilizadas para incutir a melhoria contínua de uma forma sequenciada e gradual nas empresas. Os 5S consistem numa metodologia que engloba cinco atividades, utilizadas para construir um espaço de trabalho organizado e adequado. No Anexo C apresenta-se uma descrição mais detalhada desta metodologia.

Na Figura 1.8 são visíveis as alterações no laboratório decorrentes da implementação da metodologia 5S.



Figura 1.8 – Laboratório antes e depois do 5S.

1.5 Normas ISO/TS 16949 e ISO/IEC 17025

A ISO/TS 16949 é uma norma de garantia da qualidade do setor automóvel e define os requisitos de confiabilidade metrológica através de análises da capacidade estatística considerando a variabilidade dos resultados de cada sistema e de cada tipo de medição.

A competitividade do mercado automóvel levou a que a certificação dos fornecedores do sector fosse uma exigência dos seus clientes. Foram criados pelos grandes fabricantes diversos referenciais normativos, que definem os requisitos dos sistemas da qualidade a aplicar pelos fornecedores do ramo.

Contudo, não existia um reconhecimento mútuo entre os vários referenciais existentes, o que implicava que, organizações que forneciam produtos para mercados internacionais e para fabricantes de diversos países, teriam que manter várias certificações, acompanhadas das respetivas auditorias ao sistema da qualidade.

O problema foi colmatado pelo IATF (*International Automotive Task Force*) que iniciou, em 1995, o desenvolvimento de um referencial comum, que incluísse os requisitos dos vários fabricantes e que fosse reconhecido por todos, surgindo em 1999 a Especificação Técnica ISO/TS 16949.

O IATF consiste num grupo internacional de fabricantes de veículos automóveis e respectivas associações, que inclui a Ford, GM, Daimler Chrysler, BMW, PSA Peugeot Citroën, Renault SA, Fiat, Volkswagen, bem como várias associações de comércio automóvel: AIAG (América), VDA/QMC (Alemanha), ANFIA (Itália), FIEV (França) e SMMT (Reino Unido).

A ISO/TS 16949 foi desenvolvida com base na ISO 9001:1994, cujo campo de aplicação é estabelecer os requisitos de um sistema da qualidade para a conceção, desenvolvimento, produção, instalação e serviços após venda de produtos ligados à indústria automóvel. Trata-se da variante da Norma Internacional ISO 9001 para a Indústria Automóvel. O documento, em conjunto com os requisitos específicos de cada fabricante, define os requisitos para o sistema da qualidade a utilizar na cadeia de fornecimento automóvel. Esta norma foi concebida tendo em conta a melhoria da qualidade de produtos e processos, associado a um aumento da eficiência e redução da variação.

Os requisitos necessários para obter esta certificação estão presentes no Anexo D sendo de salientar um deles, que é o de maior interesse para este trabalho, que afirma que devem ser realizados estudos estatísticos para analisar a variação associada a cada medição e deve existir um laboratório, com um âmbito definido, com capacidade para realizar a inspeção requerida no plano de controlo. Este laboratório deve ser incluído no SGQ.

A ISO 17025 especifica os requisitos gerais para a competência em realizar ensaios e/ou calibrações. É aplicável a todas as organizações que realizam ensaios e/ou calibrações.

São descritos de seguida alguns dos principais requisitos da ISO 17025 (8):

Organização – define os requisitos que o laboratório ou a organização da qual ele faça parte devem seguir na implementação do sistema de gestão. Destes requisitos, é de salientar a necessidade que o pessoal técnico tenha autoridade e recurso para o desempenho das suas tarefas, com capacidade

de realizá-las de acordo com o sistema de gestão e de identificar melhorias na finalidade de prevenir ou minimizar não conformidades.

Sistema de gestão – O sistema de gestão do laboratório deve estar alinhado com as suas atividades. As políticas, os sistemas e procedimentos devem estar registados. O laboratório deve implementar um manual da qualidade que declare todas as políticas do sistema de gestão do laboratório. É nos documentos e normas operacionais emitidos pela organização que estarão descritas todas as atividades e políticas que estejam de acordo com os requisitos legais e normatizações aplicáveis.

Subcontratação de ensaios e calibrações – Quando o laboratório não possuir capacidade técnica ou operacional para a realização do ensaio solicitado pelo cliente, a norma prevê a subcontratação de outro laboratório, desde que o mesmo seja competente para o trabalho a ser desenvolvido.

Controlo de trabalhos de ensaio e/ou calibração não conforme – O laboratório deve implementar procedimentos que garantam o correto tratamento quando se deteta uma não conformidade.

Controlo de registos – Os registos podem estar em qualquer meio e consistem de relatórios de auditorias, informações de ensaios, notas de trabalho, entre outros. Devem estar armazenados de forma segura e confidencial. Os registos técnicos consistem em dados derivados de ensaios, que devem conter informações suficientes de forma a estabelecer uma linha de auditoria, além de garantir que o ensaio possa ser repetido nas condições mais próximas possíveis da original. Observações, dados e cálculos devem ser registados no momento em que são realizados.

Acomodações e condições ambientais – As instalações do laboratório devem propiciar a realização correta dos ensaios, tendo sempre as condições ambientais controladas pois estas podem ter influência na qualidade dos resultados ou amostras.

Métodos de ensaio e calibração e validação de métodos – O laboratório deve usar métodos apropriados para todos os ensaios. Estes métodos incluem desde o manuseio, transporte, armazenamento e preparação dos itens de ensaio até a estimativa da incerteza de medição e técnicas estatísticas para análise dos resultados.

Todos os desvios de métodos devem ser documentados, justificados e autorizados pelo cliente.

A validação de metodologias é a evidência de que os requisitos específicos de um ensaio são atendidos. A validação deve abranger a necessidade da aplicação do método, ser registada, bem como o procedimento utilizado para a validação, além de ser garantida a adequação do método ao uso pretendido. Como as técnicas de validação, também podem ser utilizados procedimentos de calibração com o uso de padrões ou materiais de referência, comparações com resultados obtidos

por outros métodos, avaliação sistemática dos fatores que influenciam os resultados e avaliação da incerteza dos resultados.

Os laboratórios devem ter e aplicar procedimentos para a estimativa de incerteza de medição.

Equipamentos – O laboratório deve contar com equipamentos para amostragem, medição e ensaios requeridos, capazes de alcançar a exatidão necessária e atender às especificações dos ensaios.

Antes de colocado em uso, qualquer equipamento deve ser calibrado ou verificado.

Como forma de garantir o correto registo dos equipamentos, o mesmo deve conter, além de outras informações que o laboratório julgar pertinente, informações de:

- Nome do equipamento e *software*;
- Nome do fabricante, identificação do modelo e número de série;
- Verificações de que o equipamento atende às especificações;
- Localização do equipamento;
- Manuais ou localização de manuais;
- Planos de calibração;
- Planos de manutenção;
- Informações de danos, mau funcionamento, modificações ou reparos no equipamento.

Devem ser estabelecidos procedimentos para manuseio, transporte, armazenamento e uso dos equipamentos, de modo a assegurar o correto funcionamento. Equipamentos submetidos a sobrecarga, manuseados incorretamente ou que estejam emitindo resultados suspeitos devem ser retirados de serviço, isolados e identificados até que o conserto e calibração garantam o correto funcionamento.

Rastreabilidade de medição – De forma a garantir a validade e confiabilidade dos resultados expressos pelos laboratórios, é de fundamental importância que todos os equipamentos que tenham influência na exatidão dos resultados, inclusive equipamentos de medição das condições ambientais, sejam calibrados antes de colocados em uso, inclusive adotando um plano de calibração dos mesmos.

O programa de calibração deve garantir que os resultados obtidos nos ensaios ou calibrações sejam rastreáveis ao Sistema Internacional de Unidades (SI). Quando não for possível a utilização de uma calibração através das unidades SI, o laboratório deve utilizar rastreabilidade a padrões apropriados como materiais de referência certificados.

Assim como para os equipamentos, deve haver procedimento para calibração dos padrões e materiais de referência utilizados, os quais devem ser calibrados por organismos que possam

prover rastreabilidade junto ao SI. Estes padrões devem ser utilizados exclusivamente para calibrações e verificações.

O laboratório deve ter procedimentos para verificação dos materiais de referência utilizados, verificações necessárias à manutenção da confiança dos padrões, e ainda para manuseio e transporte dos padrões de forma a prevenir contaminação ou deterioração dos mesmos.

Manuseio de itens de ensaio e calibração – O laboratório deve ter procedimento para receber, transportar, manusear, proteger, armazenar, reter e/ou remover os itens a serem ensaiados ou calibrados. Tal procedimento visa garantir a integridade das amostras, sendo que cada amostra, ao ser recebida, deve ser identificada de forma unívoca. Todas as anormalidades detectadas no momento da recepção do instrumento devem ser registradas.

Os laboratórios devem ter procedimentos e condições adequadas para preservar os itens de acordo com as necessidades do cliente, como condições ambientais de armazenamento e condicionamento de amostras, além do armazenamento da amostra em local seguro.

Garantia da qualidade de resultados de ensaio e calibração – O laboratório deve implementar procedimento para garantir a qualidade dos seus ensaios, sendo possível a detecção de tendências e desvios, que devem ser registrados.

Capítulo 2

Metrologia - Análise de Sistemas de Medição

O controlo de qualidade é feito diretamente sobre o processo de produção, desde a recepção de matérias-primas até todas as etapas de fabrico. Isto porque se atribuem a maior parte dos erros, não às falhas locais (operadores), mas sim aos próprios sistemas de produção, incluindo o estado dos materiais, a manutenção das máquinas, a operação das ferramentas e as condições ambientais. (9)

O presente capítulo menciona os procedimentos gerais de calibração, requisitos e critérios de aceitação bem como a explicação da análise de Sistemas de Medição.

2.1 Requisitos de um instrumento de medição

A aquisição de um novo instrumento de medição/ensaio para o controlo do processo/produto deve ser acompanhada pela metrologia para que sejam cumpridos todos os requisitos necessários ao equipamento em aquisição, tais como o tipo; capacidade máxima; resolução (deverá ter uma resolução capaz de medir 1/10 da tolerância da característica a controlar); marca; fornecedor (importante devido à assistência técnica que alguns fornecedores prestam).

Após a aquisição do equipamento, este deve ser enviado para o laboratório de metrologia para codificação e realização da primeira calibração. Todos os equipamentos existentes na fábrica têm um código que lhe é atribuído aquando da sua aquisição de acordo com a Figura 2.1. (10)

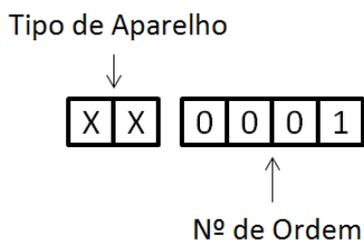


Figura 2.1 – Codificação para os instrumentos da fábrica. (Exemplo: Manómetro de pressão – MN 0001).

2.2 Procedimento Geral de Calibração

Todos os equipamentos de medição e ensaio existentes na empresa, todos os instrumentos em calibração, ou para calibração têm que seguir um circuito desde o momento que são enviados para calibração até à sua avaliação (Anexo E) para que seja possível exercer um correto controlo sobre eles. (10)

Para garantir a estabilização do instrumento que vai ser calibrado, este deve estar no laboratório, em temperatura controlada, durante um período mínimo de 4 horas antes da calibração. A exceção aplica-se a casos em que devido às dimensões/instalação, são calibrados no próprio local.

O plano de calibração consiste numa calendarização das datas de calibração de cada Equipamento de Medição e Monitorização (EMM). A calendarização é calculada automaticamente por *software*, em função da data da última calibração e da frequência da mesma. Alguns EMM têm uma frequência variável em função do histórico e da situação em que se encontram. Para alteração da frequência de calibração utiliza-se o método de Schumacher que consiste em avaliar a condição do equipamento ao ser recebido e os resultados após calibração. (Anexo F).

Quanto ao ambiente devem ser asseguradas condições ambientais adequadas para a calibração e armazenamento dos aparelhos de calibração: temperatura $20\text{ °C} \pm 1$ e humidade relativa $45\% \pm 10$.

Após a calibração é emitido um documento designado por certificado de calibração, indicando qual o procedimento utilizado na calibração, resultados, erros e o estado do aparelho (Anexo G).

O critério de aceitação diz que um instrumento é aceite se o desvio entre o valor convencionalmente verdadeiro e o valor indicado pelo instrumento a calibrar for igual ou inferior ao limite de erro admissível como se pode ver na Figura 2.2.

Nos Anexos H e I estão presentes os cálculos de incertezas e um exemplo da calibração de um termómetro, respetivamente.

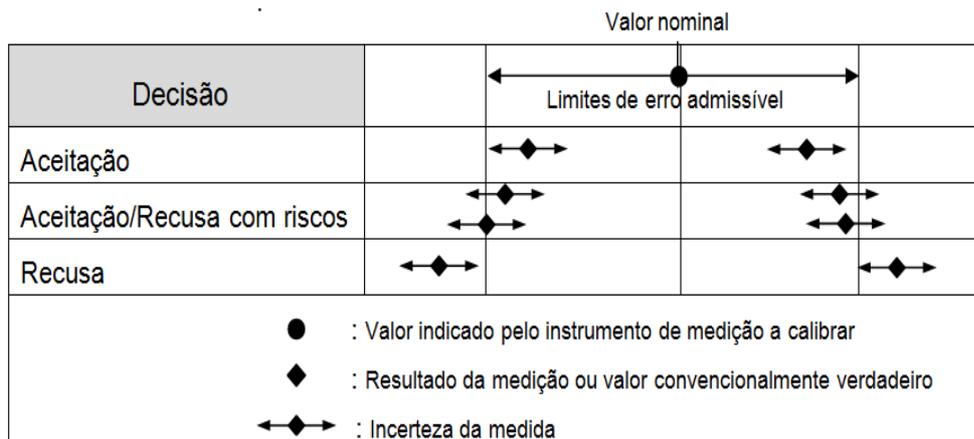


Figura 2.2 – Limites de aceitação.

A indicação do estado de calibração do instrumento de medição deve ser visível. Para tal, são utilizadas etiquetas que mostram a validade da próxima calibração. São apresentadas de seguida os tipos de etiquetas que podem ser atribuídas aos instrumentos.

- Etiqueta de calibração: Etiqueta redonda de cor verde, colocada no aparelho, indicando a data da próxima calibração, sempre que este estiver dentro de todos os requisitos (ver Figura 2.3).
- Etiqueta de inspeção: Etiqueta quadrada de cor verde, colocada no equipamento, indicando a data da próxima inspeção, sempre que este cumpra todos os requisitos (ver Figura 2.4).



Figura 2.3 – Etiqueta de calibração.



Figura 2.4 – Etiqueta de próxima inspeção.

- Etiqueta de "FORA DAS TOLERÂNCIAS": Etiqueta retangular de cor vermelha, colocada no aparelho sempre que este, após calibração, se encontre fora das tolerâncias especificadas (ver Figura 2.5).

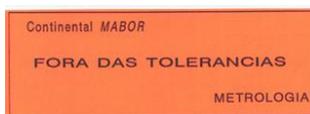


Figura 2.5 – Etiqueta que indica que o instrumento está fora das tolerâncias.

- Etiqueta de "FORA DE SERVIÇO": Etiqueta retangular de cor vermelha, colocada no aparelho sempre que este esteja danificado ou fora de uso (ver Figura 2.6).



Figura 2.6 – Etiqueta que coloca o instrumento num estado de fora de serviço.

- Etiqueta de "ISENTO DE CALIBRAÇÃO": Etiqueta redonda com 10mm de diâmetro de cor azul claro (Figura 2.7), colocada nos instrumentos que não necessitam de ser calibrados periodicamente, por não influenciarem diretamente o processo.



Figura 2.7 – Etiqueta colocada em instrumentos que não necessitam de calibração periódica.

2.3 Análise de Sistemas de Medição (MSA)

O MSA é um requisito obrigatório da norma ISO/TS 16949. Este tem como finalidade estabelecer um critério para analisar e avaliar a qualidade de um sistema de medição.

Um sistema de medição consiste num conjunto de instrumentos, dispositivos, padrões, operações, métodos, *software*, ambiente, pessoal e premissas usado para quantificar uma unidade de medida ou avaliar uma determinada característica a ser medida. (11)

A função básica do MSA é verificar se o sistema de medição é adequado ou não para avaliar ou controlar um determinado processo ou produto, e, se possível, identificar as causas da inadequação do sistema. O texto seguinte explica o que é um processo de medição, apresentam um conjunto de conceitos relacionados com a análise de um Sistema de Medição, a análise de resultados, os estudos que podem ser feitos e as suas aplicações.

2.3.1 Processo de Medição

O ato de medir e analisar é um processo: processo de medição. De forma a gerir corretamente a variação de um processo é necessário saber o que o processo deve fazer, o que pode correr mal e o que o processo está a fazer.

Todos os procedimentos estatísticos e técnicas lógicas do controlo do processo devem ser aplicadas sendo necessário para isso identificar as necessidades do cliente. O controlo correto do processo permite tomar decisões corretas com um esforço mínimo por parte dos fabricantes de determinado produto. Para tal, devem existir recursos para financiar o equipamento necessário. No entanto, a escolha de um equipamento mais caro ou de última geração nem sempre é o mais adequado para garantir o correto controlo da produção. O equipamento escolhido é apenas uma parte do processo de medição. Este deve ser usado corretamente de forma a ser possível analisar e interpretar os seus resultados.

É necessário monitorizar e controlar o processo de medição para assegurar a sua estabilidade e resultados corretos que incluem uma análise completa do sistema de medição como: estudo dos instrumentos envolvidos, procedimentos, utilizadores, ambiente, etc.

Um sistema ideal de medição produziria medidas “corretas”, todas as vezes que fosse utilizado e todas as medições deveriam sempre coincidir com um padrão. Um sistema de medição desse tipo dir-se-ia possuir propriedades estatísticas de variância zero, tendência zero e probabilidade zero de classificação errada. Infelizmente, um sistema de medição com tais propriedades estatísticas desejáveis não existem. (12)

A qualidade de um sistema de medição é geralmente determinada unicamente pelas propriedades estatísticas dos dados que produz. Outras propriedades como custo, facilidade de uso, etc. são também importantes por contribuírem para a conveniência geral de um sistema de medição. Deve-se entender que as propriedades estatísticas que são mais importantes para determinado uso, não são necessariamente as propriedades mais importantes para outro.

Apesar de poder ser exigido que cada sistema de medição tenha diferentes propriedades estatísticas, existem algumas que todos os sistemas de medição devem ter. Estas incluem:

- O sistema de medição deve estar sob controlo estatístico, o que significa que a variação no sistema de medição é devida apenas a causas comuns e não a causas especiais;
- A variabilidade do sistema de medição deve ser pequena em comparação com a variabilidade do processo produtivo;
- A variabilidade do sistema de medição deve ser pequena em comparação com os limites de especificação;

- As propriedades estatísticas do sistema de medição podem mudar à medida que variam as características que estão a ser medidas. Se isto ocorrer, a maior (pior) variação do sistema de medição deve ser pequena em relação ao menor valor entre a variabilidade do processo ou os limites de especificação. (1)

2.3.1.1 Fontes de Variação do Sistema de Medição

Existem dois tipos de causas de variação do Sistema de Medição que se designam comuns e especiais. As causas comuns referem-se às fontes de variação dentro de um processo que tem uma distribuição estável e repetitiva ao longo do tempo. Se somente causas comuns de variação estão presentes e não mudam, a produção de um processo é previsível.

As causas especiais referem-se aos fatores que causam variação, mas que não atuam sempre no processo. Quando ocorrem, fazem com que a distribuição do processo mude. Enquanto as causas especiais de variação não forem identificadas e cuidadas, estas continuarão a afetar, de forma imprevisível, o resultado do processo. Se estiverem presentes causas especiais de variação, a produção não é estável ao longo do tempo.

As mudanças na distribuição do processo devidas às causas especiais podem tanto ser prejudiciais quanto benéficas. Quando prejudiciais, necessitam de ser identificadas e removidas. Quando benéficas, devem ser identificadas e incorporadas permanentemente ao processo. Para que seja possível o controlo da variação do processo é necessário identificar as fontes de variação e eliminar ou monitorizar essas fontes. (1)

2.3.2 Preparação de um estudo de um Sistema de Medição

Em qualquer estudo ou análise, o planeamento e preparação devem ser realizados previamente:

- A abordagem utilizada deve ser planeada: observações visuais, estudo dos instrumentos, influência de operadores na calibração ou utilização do instrumento;
- Determinação do número de operadores, de peças e repetições de leituras considerando as dimensões e configurações das peças, bem como os requisitos do cliente;
- Adequação dos operadores ao teste a ser realizado: estes devem estar familiarizados com o instrumento utilizado;

- Seleção da amostra para uma análise correta tendo em conta o propósito do sistema de medição e a disponibilidade das peças a serem avaliadas visto que estas devem ser selecionadas diretamente do processo de produção. A variação das peças (PV) é utilizada para calcular a variação total (TV). A TV é um indicador da direção do processo e do controlo. Se a amostra não for proveniente do processo a TV deve ser ignorada;
- O instrumento deve ter uma discriminação de pelo menos dez vezes a variação esperada da característica que está a ser medida;
- Deve ser assegurado que o método de medição (operador e instrumento) mede as dimensões da característica e segue o processo de medição definido.

Perante isto, a forma como o estudo é conduzido é de extrema importância. De forma a minimizar erros deve-se ter em atenção os seguintes pontos:

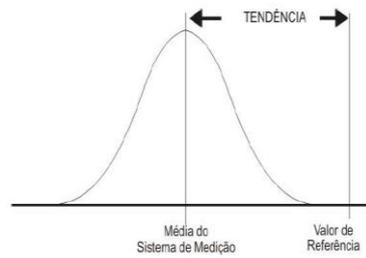
- A medição deve ser feita em ordem aleatória para assegurar que as alterações ou diferenças que possam ocorrer sejam também aleatórias durante o estudo. Os operadores/avaliadores devem desconhecer qual a peça (ou número da peça) que estão a medir para evitar a avaliação com conhecimento prévio;
- Na leitura do equipamento, os valores da medição devem ser guardados até ao limite da discriminação do instrumento;
- O estudo deve ser gerido e acompanhado por pessoas que entendam a importância da condução de um estudo fiável. (13)

2.3.3 Conceitos relacionados com a variação

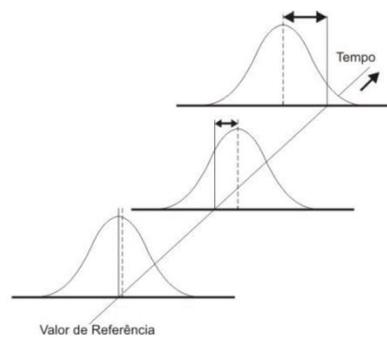
A variação num Sistema de Medição pode ocorrer na localização ou na amplitude, em relação ao valor de referência. Quanto à variação na localização, os conceitos envolvidos são a estabilidade, a tendência e a linearidade. No que se refere à amplitude fala-se de repetibilidade, reprodutibilidade e estudo R&R. (1)

2.3.3.1 Tendência, Estabilidade e Linearidade

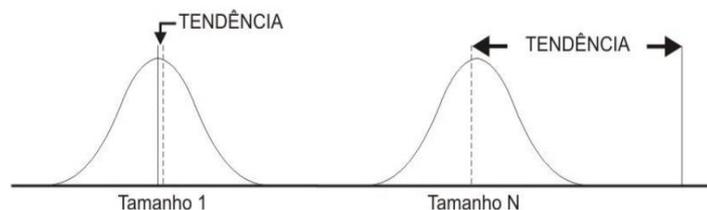
Define-se **tendência** como a diferença entre a média das medições observadas e o valor da referência.

**Figura 2.8 – Tendência.**

A **estabilidade** consiste na variação total das medições obtidas com um Sistema de Medição quando é medida uma única característica durante um período de tempo prolongado. Trata-se da variação da tendência ao longo do tempo.

**Figura 2.9 – Estabilidade**

A **linearidade** é a mudança da tendência ao longo da faixa de operação normal. Componente do erro sistemático que faz parte do Sistema de Medição – efeitos combinados de todas as fontes de variação. (28)

**Figura 2.10 – Linearidade.**

2.3.3.2 Repetibilidade, Reprodutibilidade e Estudo R&R

A **repetibilidade** é a variação nas medições obtidas com um instrumento de medição, quando usado várias vezes por um avaliador, enquanto mede uma característica idêntica de uma mesma peça, ou seja Variação do Equipamento (EV).

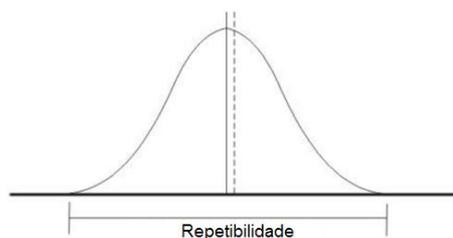


Figura 2.11 – Repetibilidade.

A **reprodutibilidade** pode ser definida como a variação das médias das medições feitas por diferentes avaliadores, utilizando um mesmo instrumento, enquanto mede uma mesma característica, sob as mesmas condições ambientais. Portanto, não é aplicável a sistemas automatizados. Por esta razão, a reprodutibilidade é também conhecida como a variação das médias entre sistemas ou entre condições de medição.

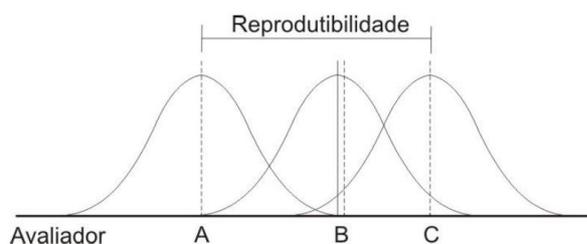


Figura 2.12 – Reprodutibilidade.

O estudo R&R é um método que fornece uma estimativa da repetibilidade e da reprodutibilidade, sem a interação de um sobre o outro.

2.3.3.3 Efeitos da Variação num Sistema de Medição

Os efeitos das fontes de variação num Sistema de Medição devem ser avaliados em curtos e longos períodos de tempo.

Um Sistema de Medição pode sofrer variação devido a três características que são a capacidade, a performance e a incerteza. A capacidade do sistema traduz-se pelo erro do sistema de medição (aleatório) num curto período de tempo, o qual é a combinação de erros de linearidade, uniformidade, repetibilidade e reprodutibilidade.

A performance do sistema que se refere à variação nas medições num longo período de tempo é o resultado de todas as fontes de variação ao longo desse tempo. Esta é atingida determinando se o processo está sob controlo estatístico (estável e consistente, e com variações devidas a causas comuns), sem desvio e com variação aceitável (R&R). Tudo isto, permite adicionar estabilidade e consistência à capacidade do sistema de medição.

A incerteza³ é o intervalo estimado, dos dados que foram medidos, o qual contém verdadeiro valor.

O objetivo do controlo de um processo é estabelecer se o processo está sob controlo estatístico, centralizado e com uma variabilidade aceitável. Se a variação no sistema de medição for grande, poderá influenciar negativamente a tomada de decisões. Os tipos de erros que podem ser cometidos são:

- Uma peça “boa” ser considerada “má” (**Figura 2.13**).
 - Erro do tipo I (risco do produtor, ou falso alarme);
- Uma peça “má” ser considerada “boa” (**Figura 2.14**).
 - Erro do tipo II (risco do consumidor, ou taxa de perda).

Assim a variação pode permitir que seja considerado capaz, um processo incapaz.



Figura 2.13 – Erro do tipo I.



Figura 2.14 – Erro do tipo II.

³ Incerteza “Parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a uma mensuranda, com base nas informações utilizadas” (VIM, 2012)

No controlo estatístico de um processo, também podem ocorrer erros tais como:

- Chamar uma causa comum de causa especial (ponto fora dos limites, por exemplo);
- Chamar uma causa especial de causa comum.

Quanto à centralização de um processo, podem ocorrer dois erros:

- Desajustar um processo que está centralizado, por considerá-lo, erradamente, descentralizado;
- Manter um processo descentralizado, por considerá-lo, erradamente, centralizado.

A variabilidade do sistema de medição pode afetar uma decisão tendo em conta a estabilidade, a tendência e a variação do processo. A relação básica entre a variação atual do processo e a observada é obtida pela soma das variâncias na expressão seguinte em que σ_{obs}^2 é a variância observada do processo, σ_{atual}^2 é a variância atual do processo e σ_{msa}^2 é a variância do Sistema de Medição.

$$\sigma_{obs}^2 = \sigma_{atual}^2 + \sigma_{msa}^2 \quad \text{Equação 1}$$

O índice de capacidade (Cp) é definido por:

$$Cp = \frac{\text{Intervalo de Tolerância}}{6\sigma} \quad \text{Equação 2}$$

A relação entre o índice Cp observado e o real e o sistema de medição é obtido substituindo por Cp a variância na Equação 3.

$$(Cp)_{obs}^{-2} = (Cp)_{atual}^{-2} + (Cp)_{msa}^{-2} \quad \text{Equação 3}$$

A capacidade do processo observada é a combinação da capacidade real mais a variação devida ao processo de medição.

2.3.4 Análise de resultados

Os resultados devem ser avaliados para determinar se o instrumento de medição é aceitável para a sua aplicação. Antes de qualquer tipo de análise, o Sistema de Medição deve ser estável para que possa ser válido.

2.3.4.1 Critérios de aceitação

Os critérios de aceitação de um Sistema de Medição regem-se pela avaliação dos erros (que devem normalmente ser inferiores a 10%) que podem ocorrer podendo esses ser de dois tipos: localização e dispersão.

O **erro de localização** é normalmente definido através da análise da tendência e da linearidade. Geralmente, erros na tendência e na linearidade são inaceitáveis se forem significativamente diferentes de zero ou excederem o máximo permitido pelo erro estabelecido no procedimento de calibração do instrumento. Nestes casos, o sistema de medição deve ser calibrado de novo ou então deve ser aplicado um *offset* de correção para minimizar o erro.

No caso do **erro de dispersão**, o critério de aceitação para um sistema de medição específico depende do seu ambiente e propósito e deve estar de acordo com os requisitos estipulados pelo cliente. Para sistemas de medição cujo propósito é analisar um processo, as diretrizes gerais para a sua aceitação são as presentes na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Critérios de aceitação dos estudos de repetibilidade e reprodutibilidade. (1)

< 10%	Aceitável	Recomendável, especialmente útil quando é necessário ordenar ou classificar peças ou quando for necessário um controlo apertado do processo.
Entre 10% e 30%	Marginalmente Aceitável	A decisão deve ser baseada primeiro, por exemplo, na importância da aplicação da medição, custo do dispositivo de medição, ou reparo. Deve ser aprovado pelo cliente.
> 30%	Inaceitável	Todos os esforços devem ser tomados para melhorar o sistema de medição. Esta condição pode ser resolvida pelo uso de uma estratégia apropriada para a medição, por exemplo, utilizar a média de diversas medições da mesma característica da mesma peça com o intuito de reduzir a variabilidade da medida final.

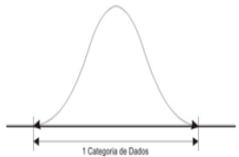
O número de distintas categorias (ndc) é outra análise estatística da variabilidade do sistema de medição a qual indica o número de categorias em que o processo de medição deve ser dividido. Esse valor deve ser maior ou igual a 5.

A **discriminação** é a capacidade do Sistema de Medição detetar e indicar pequenas mudanças nas características medidas.

Devido a limitações físicas e económicas, o sistema de medição não distinguirá peças que tenham pequenas diferenças nas características medidas. Em vez disto, a característica medida terá valores medidos agrupados em categoria de dados. Todas as peças, na mesma categoria de dados, terão o mesmo valor para a característica medida.

A discriminação é inaceitável para a análise quando não deteta variação no processo, e é inaceitável para controlo, se não detetar causas especiais de variação. A Tabela 2.2 mostra o impacto de categorias sem sobreposição de dados da distribuição do processo, nas atividades de controlo e análise. (13)

Tabela 2.2 – Impacto do número de distintas categorias (ndc) da distribuição de um processo sobre as atividades de análise. (13)

Quantidade de Categorias	Controlo	Análise
	Pode ser usada para controlo se: <ul style="list-style-type: none"> • A variação do processo for pequena comparativamente às especificações; • A principal fonte de variação causa um deslocamento na média. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inaceitável para se estimar os parâmetros e os índices do processo; • Indica apenas se o processo produz peças conformes ou não- conformes.
	Pode ser usada com técnicas de controlo semi-variável baseadas na distribuição do processo	Geralmente inaceitável para aceitar os parâmetros e os índices do processo.
	Pode ser usada com cartas de controlo por variáveis	Recomendada

O sintoma de discriminação inaceitável pode aparecer na carta de amplitudes. As cartas de média e amplitude revelam a força de discriminação (número de categorias de dados que podem ser identificadas) do sistema de medição.

O uso de ferramentas gráficas é de extrema importância. Estas permitem uma melhor visualização dos dados facilitando a identificação de causas especiais de variação. Os métodos mais utilizados apresentam-se no texto seguinte.

Carta de Médias: As médias das leituras feitas por cada avaliador sobre cada amostra são colocadas num um gráfico (Figura 2.15) cujo eixo das abcissas é formado pela identificação das amostras e o eixo das ordenadas pela linha média, as médias de cada avaliador e os limites de controlo. Esse gráfico esclarece a possibilidade de uso do sistema, porém não identifica de forma imediata a diferença entre os avaliadores. (9)

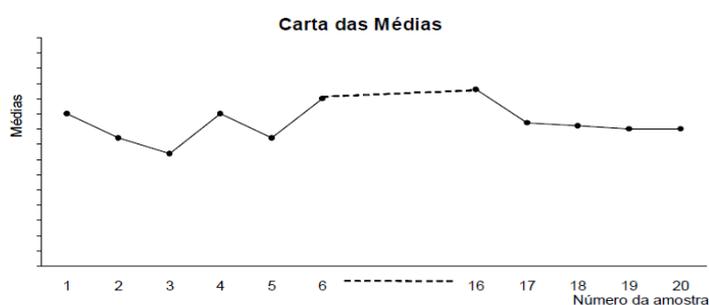


Figura 2.15 – Carta de médias. (9)

Carta de Amplitudes: Representação gráfica das amplitudes das leituras feitas por cada avaliador sobre cada peça. A partir da análise do gráfico (Figura 2.16), pode observar-se se todos os avaliadores estão a trabalhar da mesma forma, dentro dos limites de controlo. (9)

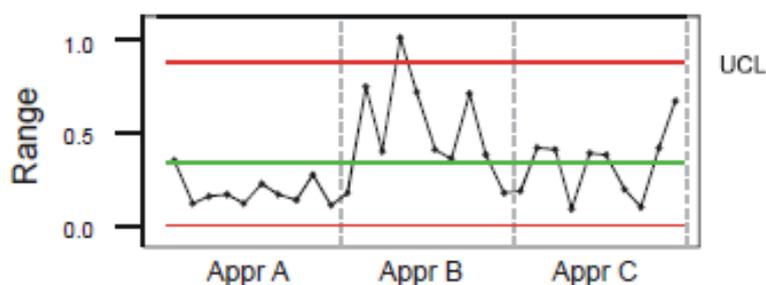


Figura 2.16 – Carta de amplitudes.

Cartas de Sequências (Run Chart): Permite conhecer o efeito na consistência da variação das peças individualmente e também detetar se há leituras com diferenças muito acentuadas (Figura 2.17). As leituras individuais são representadas num gráfico por peça, considerando todos os avaliadores. (9)

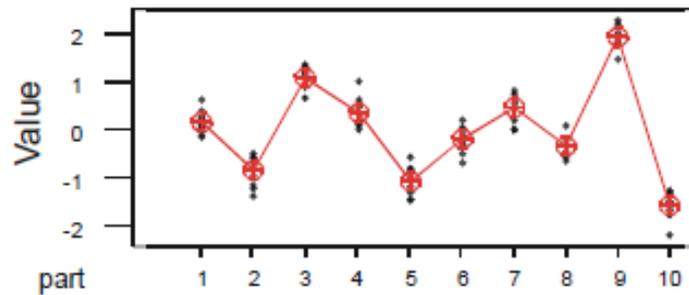


Figura 2.17 – Carta de sequências. (9)

Gráfico de dispersão: As leituras individuais são apresentadas sob a forma de gráfico por peça e por avaliadores. Visa conhecer a consistência entre os avaliadores, a indicação de leituras diferentes e as interações entre peças e avaliador. (9) Um exemplo desse tipo de gráfico está na Figura 2.18.

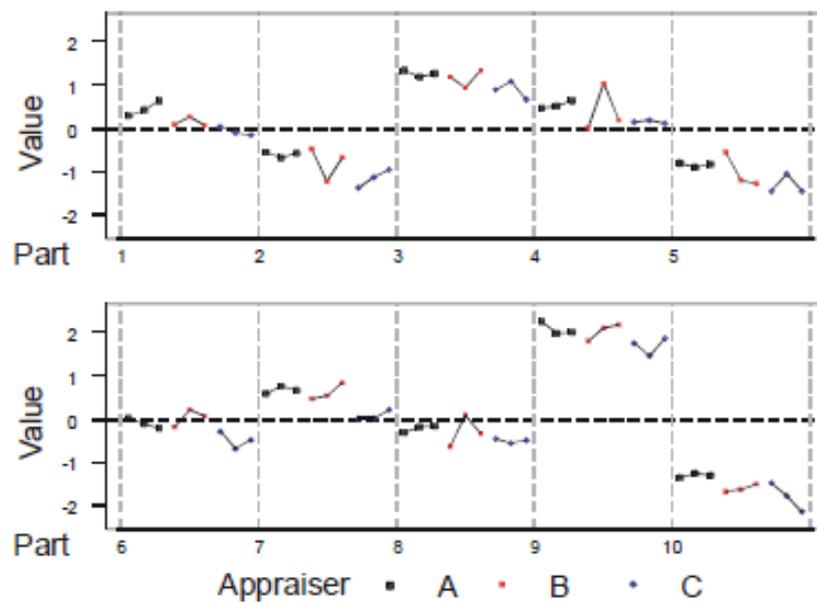


Figura 2.18 – Gráfico de dispersão. (9)

Histograma: Mostra a frequência da distribuição do erro dos avaliadores que participam no estudo e também a frequência de distribuição combinada.

Se existir valor de referência o erro é calculado pela Equação 4, caso não exista, este é obtido pela Equação 5.

$$\text{Erro} = \text{Valor Observado} - \text{Valor de Referência} \quad \text{Equação 4}$$

$$\text{Valor Normalizado} = \text{Valor Observado} - \text{Média das Peças} \quad \text{Equação 5}$$

O histograma (Figura 2.19) permite uma visão facilitada da distribuição do erro. Tendência e falta de consistência nos resultados podem ser identificados antes de qualquer análise de dados o que torna esta ferramenta muito útil. (1)

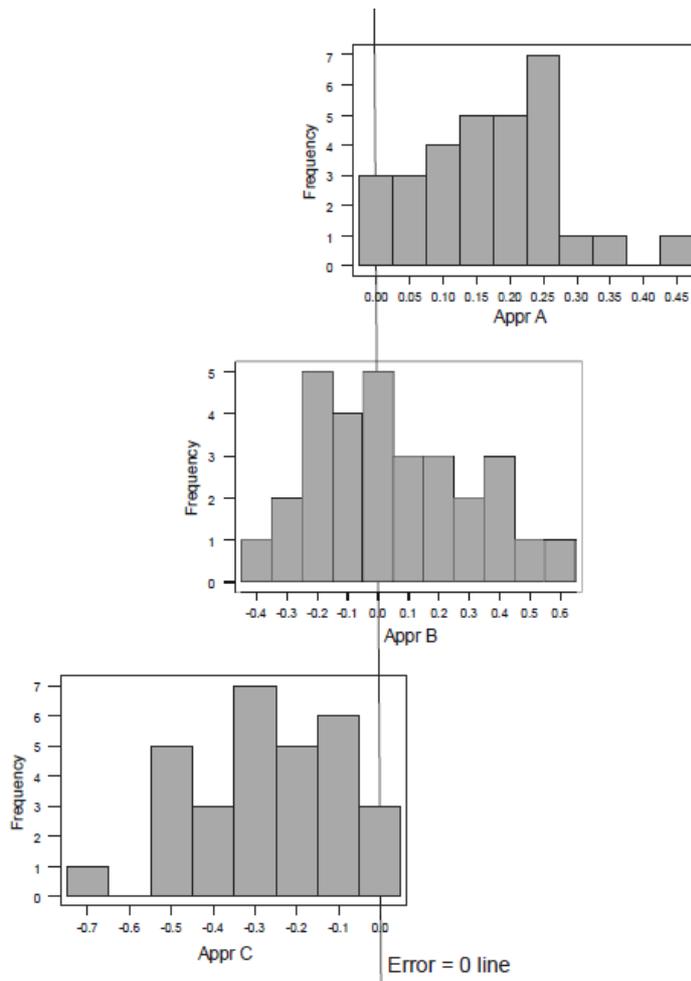


Figura 2.19 – Histograma normalizado. (1)

2.3.5 Estudo por variáveis

Neste tópico são explicados os estudos por variáveis que se podem realizar na Análise de Sistemas de Medição. Mencionam-se os estudos de Estabilidade, Tendência, Linearidade e R&R. O estudo por variáveis engloba todos os sistemas em que é possível medir a variável em análise.

Estudo da Estabilidade – Para realizar um estudo de estabilidade é necessário:

- Obter uma amostra e estabelecer o seu valor de referência medindo a peça 10 vezes e calculando a média;
- Periodicamente, medir a peça de 3 a 5 vezes;
- Tamanho e frequência da amostra devem ser baseadas no conhecimento;
- Colocar os dados em cartas de controlo;
- Estabelecer limites de controlo;
- Calcular o desvio padrão e compará-lo com o do processo.

O estudo da estabilidade permite estabelecer limites de controlo e avaliar o sistema de medição em condições instáveis ou fora de controlo, usando gráficos de controlo.

Para além dos gráficos de controlo não existe nenhuma análise numérica específica para avaliar a estabilidade. Se o processo for estável os dados podem ser usados para determinar a Tendência do sistema de medição.

Estudo de Tendência – A realização de um estudo de Tendência consta em:

- Obter uma amostra e estabelecer o seu valor de referência relativo a um padrão rastreável. Se isto não for possível, seleccionar uma peça da produção, medir a peça $n > 10$ vezes e calculando a média definir o valor de referência;
- Um operador mede $n > 20$ vezes a peça da maneira usual.

Para realizar a devida análise de resultados do estudo de Tendência obtém-se um histograma relativo ao valor de referência. Este permite determinar se existe a influência de alguma causa especial ou anomalia. Caso não seja detetado nenhum inconveniente o estudo deve prosseguir passando pelo cálculo das variáveis numéricas. Em primeiro lugar calcula-se a média das leituras utilizando a Equação 6.

$$m\u00e9dia = \frac{\sum_{i=1}^n (linearidade)_i}{n}$$

Equação 6

O desvio padrão da repetibilidade é também obtido através da Equação 7. Onde posteriormente é permitido determinar se a repetibilidade é aceitável através da variação do equipamento (EV), pela Equação 8.

$$\sigma_{\text{Repetibilidade}} = \sigma_r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad \text{Equação 7}$$

$$\%EV = 100 \left[\frac{EV}{TV} \right] = 100 \left[\frac{\sigma_{\text{repetibilidade}}}{TV} \right] \quad \text{Equação 8}$$

Estudo de Linearidade – O estudo de linearidade passa por:

- Selecionar $n > 5$ peças ao longo da faixa de operação do dispositivo;
- Obter valores de referência;
- Confirmar abrangência da faixa de operação;
- Um operador que normalmente usa o instrumento, mede $m > 10$ vezes cada peça.

Num estudo de linearidade é necessário, em primeiro lugar, calcular a Tendência de cada medição e a média da Tendência de cada peça.

$$\text{Linearidade}_{i,j} = x_{i,j} - (\text{valor de referência})_i \quad \text{Equação 9}$$

$$\overline{\text{Linearidade}} = \frac{\sum_{j=1}^m \text{linearidade}_{i,j}}{m} \quad \text{Equação 10}$$

De acordo com a média obtida em relação ao valor de referência traça-se um gráfico linear onde surge também um intervalo de confiança que é calculado através das equações seguintes.

$$\bar{y}_i = a x_i + b \quad \text{Equação 11}$$

Onde x_i é o valor de referência e y_i é a média.

$$a = \frac{\sum xy - \left(\frac{1}{gm} \sum x \sum y\right)}{\sum x^2 - \frac{1}{gm} (\sum x)^2} \quad \text{Equação 12}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} = \text{interceção} \quad \text{Equação 13}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum y_i^2 - b \sum y_i - a \sum x_i y_i}{gm-2}} \quad \text{Equação 14}$$

Intervalo de confiança:

$$\text{Limite Inferior: } b + ax_0 - \left[t_{gm-2,1-\alpha/2} \left(\frac{1}{gm} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)^{1/2} s \right] \quad \text{Equação 15}$$

$$\text{Limite Superior: } b + ax_0 + \left[t_{gm-2,1-\alpha/2} \left(\frac{1}{gm} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)^{1/2} s \right] \quad \text{Equação 16}$$

Neste estudo verifica-se se a repetibilidade é aceitável através da Equação 17.

$$\%EV = 100 \left[\frac{EV}{TV} \right] = 100 \left[\frac{\sigma_{\text{repetibilidade}}}{TV} \right] \quad \text{Equação 17}$$

Neste caso a variação total (TV) é baseada na variação expectável do processo ou na tolerância dividida por 6. Na Figura 2.20 é mostrado um gráfico como exemplo de um aplicado ao estudo de linearidade.

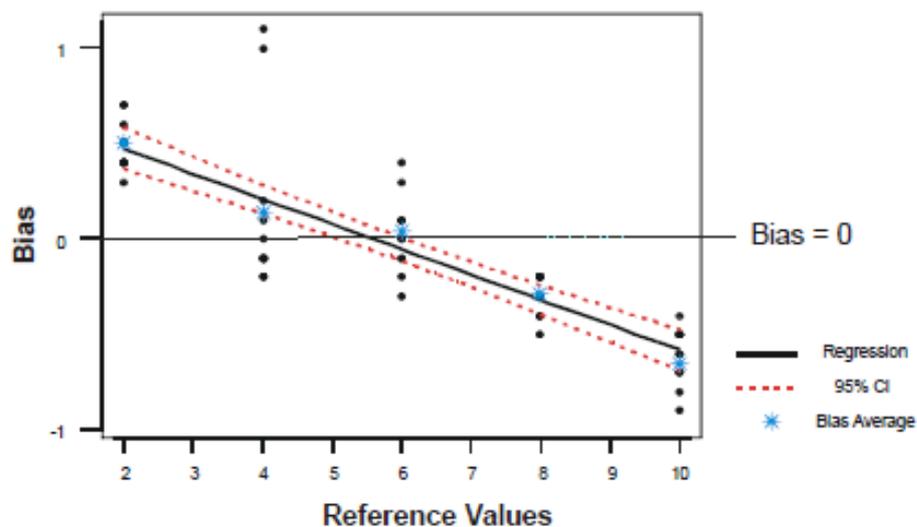


Figura 2.20 – Exemplo de um gráfico de linearidade.

Estudo R&R – Este estudo por variáveis pode ser efetuado por três métodos diferentes: Método da amplitude; Método da média e amplitude; Método da ANOVA.

À exceção do método da amplitude, a forma de realizar o estudo é muito semelhante nos restantes métodos. O **Método da Amplitude (tipo 2)** permite obter de forma fácil uma aproximação à variabilidade da medição. Este método não decompõe a variabilidade em repetibilidade e reprodutibilidade é tipicamente utilizada para uma verificação rápida que o GRR (*Gage Repetibility and Reprodutibility*) não se alterou. Tem a capacidade de detetar um sistema de medição inaceitável.

A realização de um estudo R&R de Amplitude implica:

- Usar um dispositivo de medição calibrado;
- Obter amostra de 5 (até 10) peças que represente a amplitude esperada da variação do processo;
- Numerar as peças;
- Os operadores medem 3 vezes cada peça;
- Os operadores devem medir a peça aleatoriamente.

Este método utiliza normalmente dois avaliadores e cinco peças. Cada avaliador mede a peça uma vez e a média de cada medição é feita através da diferença do valor medido por cada avaliador. A soma dessas diferenças é usada para posteriormente calcular a média.

A variabilidade total da medição é calculada através da multiplicação da média por $1/d^*_2$, onde d^*_2 pode ser consultado na tabela (Anexo J).

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{5} = \frac{0.35}{5} = 0.07 \quad \text{Equação 18}$$

$$GRR = \left(\frac{\bar{R}}{d^*_2} \right) = \left(\frac{0.07}{1.19} \right) = 0.0588 \quad \text{Equação 19}$$

De forma a determinar a percentagem do desvio padrão da variação do processo é usada a equação a baixo.

$$\%GRR = 100 * \left(\frac{GRR}{\text{Desvio Padrão do Processo}} \right) = 75.7\% \quad \text{Equação 20}$$

O Método da Média e Amplitude (tipo 3) permite obter uma estimativa da repetibilidade e reprodutibilidade de um sistema de medição. Contrariamente ao método da média, este permite separar o sistema de medição em dois componentes: repetibilidade e reprodutibilidade. No entanto, a variação causada pela interação entre o avaliador e a peça ou instrumento não é abrangida por esta análise.

A realização de um estudo R&R de média e amplitude implica:

- Obter amostra de 10 peças que represente a amplitude esperada da variação do processo;
- Selecionar os avaliadores e atribuir-lhe identificação: A, B, C, etc.
- Numerar as peças;
- Calibrar dispositivo de medição;
- Os operadores medem 3 vezes cada peça;
- Para evitar conhecimento prévio, os operadores medem a peça aleatoriamente.

Na Figura 2.21 apresenta-se um exemplo de um *template* fornecido no manual de MSA para o estudo R&R.

	Appraiser / Trial #	PART										AVERAGE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	A 1	0.29	-0.56	1.34	0.47	-0.80	0.02	0.59	-0.31	2.28	-1.36	$\bar{X}_a =$ $\bar{R}_a =$
2	2	0.41	-0.68	1.17	0.50	-0.92	-0.11	0.75	-0.20	1.99	-1.25	
3	3	0.64	-0.58	1.27	0.64	-0.84	-0.21	0.66	-0.17	2.01	-1.31	
4	Average											
5	Range											
6	B 1	0.08	-0.47	1.19	0.01	-0.56	-0.20	0.47	-0.63	1.80	-1.68	$\bar{X}_b =$ $\bar{R}_b =$
7	2	0.25	-1.22	0.94	1.03	-1.20	0.22	0.55	0.08	2.12	-1.62	
8	3	0.07	-0.68	1.34	0.20	-1.28	0.06	0.83	-0.34	2.19	-1.50	
9	Average											
10	Range											
11	C 1	0.04	-1.38	0.88	0.14	-1.46	-0.29	0.02	-0.46	1.77	-1.49	$\bar{X}_c =$ $\bar{R}_c =$ $\bar{\bar{X}} =$ $R_p =$ $\bar{\bar{R}} =$
12	2	-0.11	-1.13	1.09	0.20	-1.07	-0.67	0.01	-0.58	1.45	-1.77	
13	3	-0.15	-0.96	0.67	0.11	-1.45	-0.49	0.21	-0.49	1.87	-2.16	
14	Average											
15	Range											
16	Part Average											
17	$\bar{\bar{R}} = ([\bar{R}_1 -] + [\bar{R}_2 -] + [\bar{R}_3 -]) / [\# \text{ OF APPRAISERS} -] =$											
18	$\bar{X}_{\text{ave}} = [Max \bar{X} =] - [Min \bar{X} =] =$											
19	$*UCL_p = [\bar{R} =] \times [D_4 =] =$											
<p>*$D_4 = 3.27$ for 2 trials and 2.58 for 3 trials. UCL_p represents the limit of individual R's. Circle those that are beyond this limit. Identify the cause and correct. Repeat these readings using the same appraiser and unit as originally used or discard values and re-average and recompute $\bar{\bar{R}}$ and the limiting value from the remaining observations.</p> <p>Notes: _____</p>												

Figura 2.21 – Recolha de dados de um estudo de repetibilidade e reprodutibilidade.

Neste estudo são avaliadas diversas variáveis. A repetibilidade ou variação do equipamento (EV) é determinada pela multiplicação da média pela constante K_1 que depende do número de observações efetuadas no estudo e é igual ao inverso de d^*_2 . Onde d^*_2 é dependente do número de observações (m) e do número de peças vezes o número de observadores (g).

$$EV = \bar{R} \times K_1 \quad \text{Equação 21}$$

Tabela 2.3 – Constante K (dependente do número de observações).

Observações	K_1
2	0.8862
3	0.5908

A reprodutibilidade é calculada pela Equação 22, englobando a diferença da média dos avaliadores e a constante K_2 . A constante K_2 depende do número de avaliadores utilizados no estudo e o inverso de d^*_2 . No entanto, como a variação associada ao avaliador está influenciada pela variação do equipamento, é necessário subtrair a fração de variação do equipamento.

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - \frac{(EV)^2}{nr}} \quad \text{Equação 22}$$

Tabela 2.4 – Constante K dependente do número de avaliadores.

Operadores	2	3
K_2	0.7071	0.5231

Onde n = número de peças e r = número de observações.

A variação do sistema de medição para a repetibilidade e reprodutibilidade é calculada pela adição da raiz quadrada da variação do equipamento e da raiz quadrada da variação do avaliador como se apresenta na Equação 23.

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2} \quad \text{Equação 23}$$

Existem quatro diferentes abordagens para se determinar a variação do processo que permitem analisar a aceitabilidade da variação das medições:

- 1) Usando a variação do processo: utilizado quando as amostras selecionadas representam a variação expectável do processo.
- 2) Ignorando a variação do processo: quando não existem amostras suficientes representativas do processo mas existe um processo com uma variação semelhante disponível.
- 3) Valor de Pp ou Ppk: quando não existem amostras suficientes que representem a variação do processo e não está disponível também o processo semelhante ou o novo processo tem menos variabilidade que o processo existente.
- 4) Tolerância: quando o sistema de medição é usado para dividir o processo e este tem um valor de $Pp < 1.0$.

A variação da peça é determinada multiplicando a média das peças (R_p) por uma constante K_3 . K_3 depende do número de peças utilizadas e é o inverso de d^*2 .

A variação total é obtida pela Equação 24.

$$TV = \sqrt{(GRR)^2 + (PV)^2} \quad \text{Equação 24}$$

Onde PV é equivalente à Equação 25.

$$PV = \sqrt{(TV)^2 - (GRR)^2} \quad \text{Equação 25}$$

A variação total (TV) é utilizada para calcular as variáveis de influência na avaliação do sistema de medição.

$$\%AV = 100 \left[\frac{AV}{TV} \right] \quad \text{Equação 26}$$

$$\%GRR = 100 \left[\frac{GRR}{TV} \right] \quad \text{Equação 27}$$

$$\%PV = 100 \left[\frac{PV}{TV} \right] \quad \text{Equação 28}$$

O último passo usado na análise numérica efetuada no estudo de repetibilidade e reprodutibilidade é o cálculo do número distinto de categorias (ndc). Esse cálculo recorre à fórmula presente na Equação 29.

$$ndc = 1.41 \left(\frac{PV}{GRR} \right) \quad \text{Equação 29}$$

2.3.6 Estudo por atributos

Um estudo por atributos é uma estimativa da variação combinada da repetibilidade e da reprodutibilidade.

Os sistemas de medição por atributos são uma classe de sistemas de medição em que o valor de medição é único de um número finito de categorias. Isto é, sistemas onde os instrumentos não apresentam leituras. Ou seja, são classificados como bom/mau, conforme/não conforme, etc. (14)

Num estudo por atributos o método utilizado é o seguinte:

- Selecionar 50 peças ou mais;
- Definir o atributo referência para cada uma delas;
- Nomear 3 operadores;
- Algumas peças devem estar ligeiramente acima dos limites de especificação e outras abaixo;
- Cada operador mede 3 vezes cada peça aleatoriamente.

Os critérios de aceitação para os estudos por atributos seguem os níveis apresentados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Critérios de aceitação. (1)

Decisão	Eficácia	Falso Alarme	Classificação Errada
Aceitável	≥ 90%	≤ 5%	≤ 2%
Marginalmente Aceitável	≥ 80%	≤ 5%	< 5%
Inaceitável	< 80%	> 10%	> 5%

Onde a eficácia é calculada através da Equação 30.

$$Eficácia = \frac{\text{Número de decisões corretas}}{\text{total de oportunidades de decisão}} \quad \text{Equação 30}$$

Para uma avaliação mais completa é também calculado o *Kohen's Kappa* que consiste na probabilidade de concordância entre os diferentes operadores, tanto entre si, como com a referência. Os seus critérios de aceitação estão presentes na Tabela 2.6.

$$kappa = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e}$$

Equação 31

Tabela 2.6 – Critérios do Kohen's Kappa. (1)

Decisão	Kohen's Kappa
Bom	≥ 0.75
Aceitável	0.40 - 0.75
Inaceitável	< 0.40

Capítulo 3

Metrologia no Processo Produtivo

No presente capítulo é descrita a constituição geral de um pneu, caracterizados os respetivos constituintes e ainda o processo envolvente na sua conceção. Para cada etapa do processo produtivo é referido o trabalho desenvolvido no laboratório de metrologia.

A CM fabrica pneus adaptáveis desde jante 14 até jante 21. Os componentes que constituem um pneu podem variar consoante as características que se pretendem no pneu. No texto seguinte, é feita uma breve descrição de alguns dos componentes essenciais que podem ser inseridos na produção de um pneu. A Figura 3.1 apresenta de uma forma ilustrativa os componentes gerais que podem constituir um pneu.

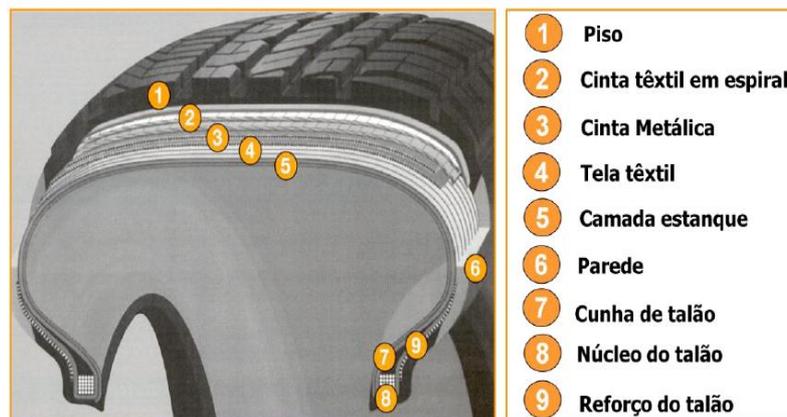


Figura 3.1 – Componentes gerais de um pneu.

De uma forma geral, os componentes que constituem um pneu são o piso, as cintas têxtil e metálica, tela têxtil, camada estanque, parede, cunha de talão, núcleo e reforço do talão. O talão fornece a força necessária para aplicação do pneu na jante e é constituído por fios de arame de elevada resistência, revestidos de um composto à base de borracha. A tela é produzida impregnação de borracha numa teia de fios têxteis ou de metal. Este componente (tela) define a estrutura do pneu.

Quanto ao do pneu, parte do pneu que se pretende que fique em contacto com o solo, deriva de um perfil extrudido. Em relação às paredes, estas consistem em perfis extrudidos de uma mistura de borrachas. As paredes são responsáveis por fornecer a resistência à abrasão da parte lateral do pneu. A Tabela 3.1 apresenta um resumo das características dos diferentes componentes do pneu. (2)

Tabela 3.1 – Materiais e função dos constituintes de um pneu.

	Material	Função
Camada Interna	Borracha butyl	Permite a retenção do ar dentro do pneu e funciona como câmara-de-ar nos pneus “Tubeless.”
Núcleo de Talão	Arame de aço cobreado coberto com borracha	Assegura que o talão assente com firmeza na jante.
Cunha de talão	Borracha Sintética	Confere estabilidade direccional, precisão de condução e influencia o conforto.
Reforço de Talão	Nylon, Kevlar	Estabilidade direccional e precisão de condução.
Tela textil	Rayon e Polyester calandrados	Constitui a estrutura do pneu e garante a resistência suficiente para suportar as pressões exercidas pelo ar armazenado.
Parede Lateral	Borracha natural	Proteger a carcaça contra choques laterais e contra a degradação atmosférica.
Cintas Metálicas	Corda de aço muito resistente	Garante a forma e a estabilidade direccional, reduz a resistência ao rolamento e aumenta a durabilidade.
Cinta de Espiral	Nylon calandrado	Promover a adaptabilidade para altas velocidades e a precisão de fabrico.
		<u>Capa:</u> Proporciona a aderência em qualquer condição de estrada; confere ao pneu resistência ao desgaste e estabilidade direccional.
Piso	Borracha natural e sintética	<u>Base:</u> Reduz resistência ao rolamento e protege a carcaça das irregularidades da estrada.
		<u>Ombro:</u> Faz a transição entre o piso e a parede lateral.

Durante o estágio realizado na CM foi possível acompanhar e realizar calibrações a muitos e diferentes instrumentos. Realizei calibrações em sensores de temperatura, manómetros, comparadores, sistemas automáticos de medição de larguras, durómetros, entre outros. Na Figura 3.2 está um gráfico com os instrumentos calibrados no decorrer do estágio. Os procedimentos de calibração de alguns desses instrumentos podem ser consultados no Anexo K.

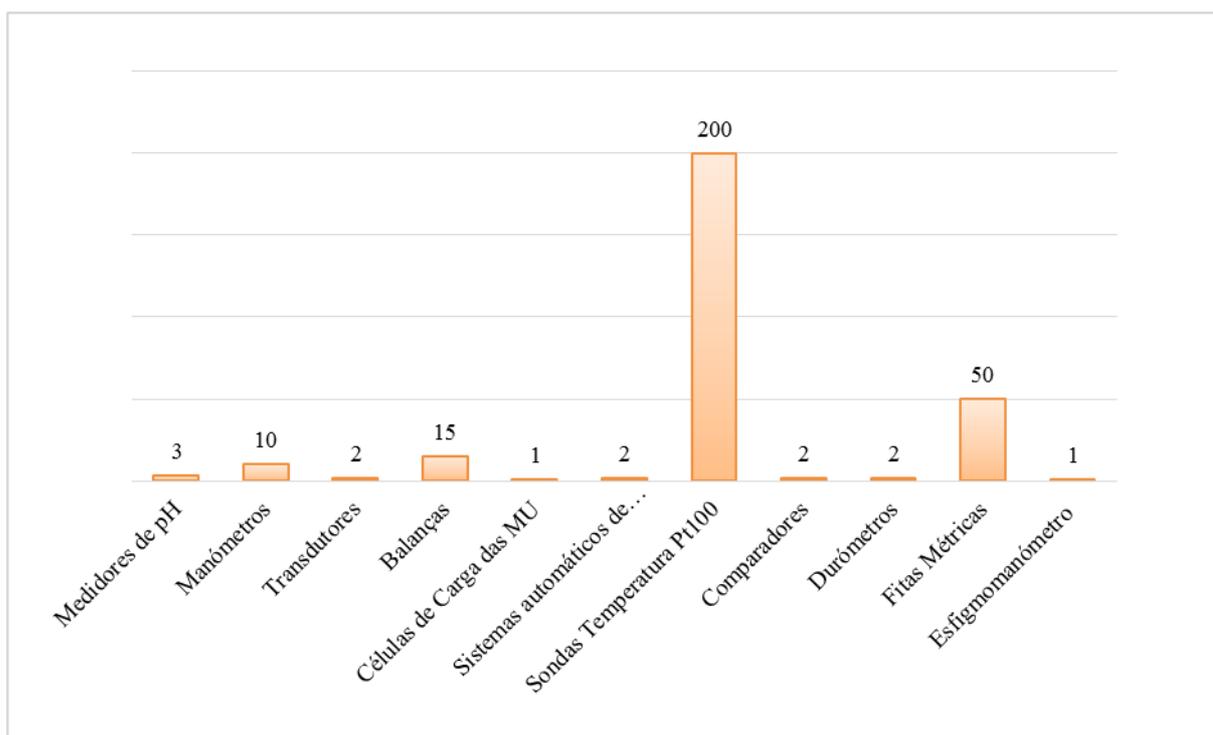


Figura 3.2 – Instrumentos calibrados no decorrer do estágio no laboratório de metrologia.

Os medidores de pH, as células de carga das MU, os sistemas automáticos de medição de larguras e as balanças devido à impossibilidade de serem removidos dos locais onde estavam instalados foram todos calibrados no local enquanto os restantes eram calibrados no laboratório de metrologia. No caso dos transdutores e das sondas de temperatura que eram instaladas nas prensas de vulcanização estas eram calibradas no laboratório mas era necessário ajustar os valores de *offset* (de acordo com os dados da calibração) na prensa quando fossem colocadas em funcionamento.

3.1 Papel da Metrologia no Processo Produtivo

Neste subcapítulo é realizada uma abordagem e uma descrição geral do sistema produtivo utilizado pela CM para fabricar os pneus. Geralmente, os sistemas de produção são caracterizados pela receção das matérias-primas necessárias para o fabrico de um produto, pelo processo de fabrico do produto e finalmente pelo processo de armazenamento e expedição do produto acabado. A Figura 3.3 apresenta a forma como o sistema produtivo da Continental Mabor se encontra organizado.

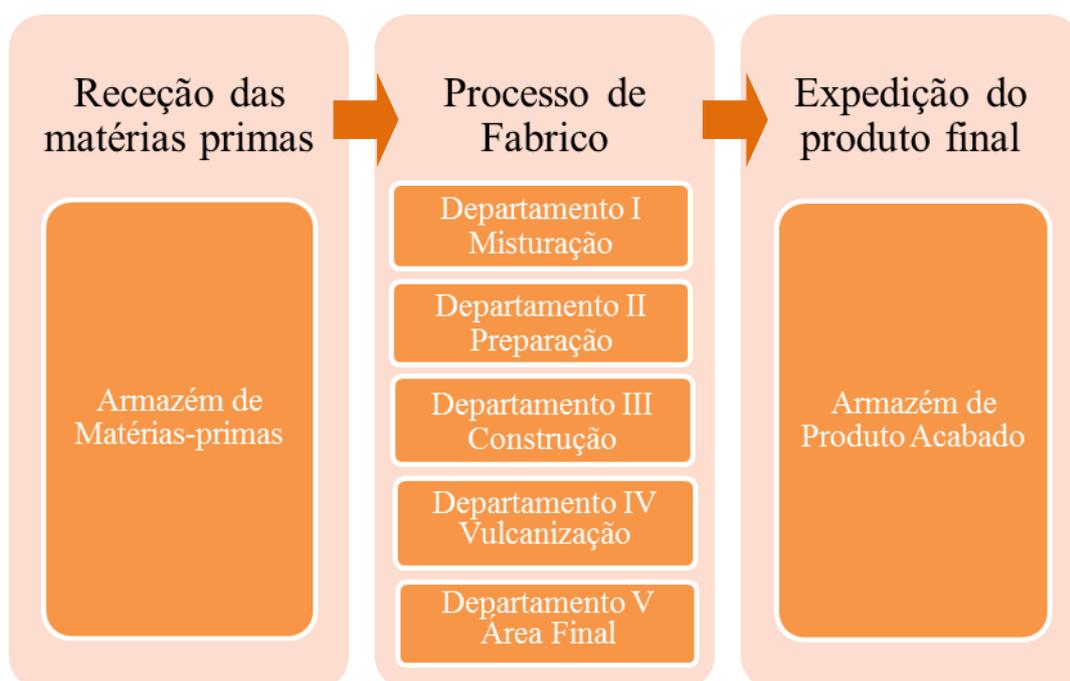


Figura 3.3 – Fluxo de materiais e de informação da CM.

O sistema produtivo é caracterizado por três etapas, ou seja, a receção das matérias-primas, o processo de fabrico e a expedição do produto acabado. A receção das matérias-primas é realizada no armazém de matérias-primas e a expedição do produto acabado é efetuada a partir do armazém de produto final.

O processo de produção de pneus encontra-se dividido em cinco fases, representadas por cinco departamentos como se pode ver na Figura 3.3. Na Misturação são produzidos os vários tipos de compostos de borracha, na Preparação são feitos todos os componentes necessários para os vários tipos de pneus, na Construção são montados os componentes e na Vulcanização o pneu vai assumir a sua forma sendo ainda submetido a um processo de inspeção, para verificar os requisitos de qualidade.

A Figura 3.4 apresenta uma descrição completa e detalhada do processo de fabrico do pneu.

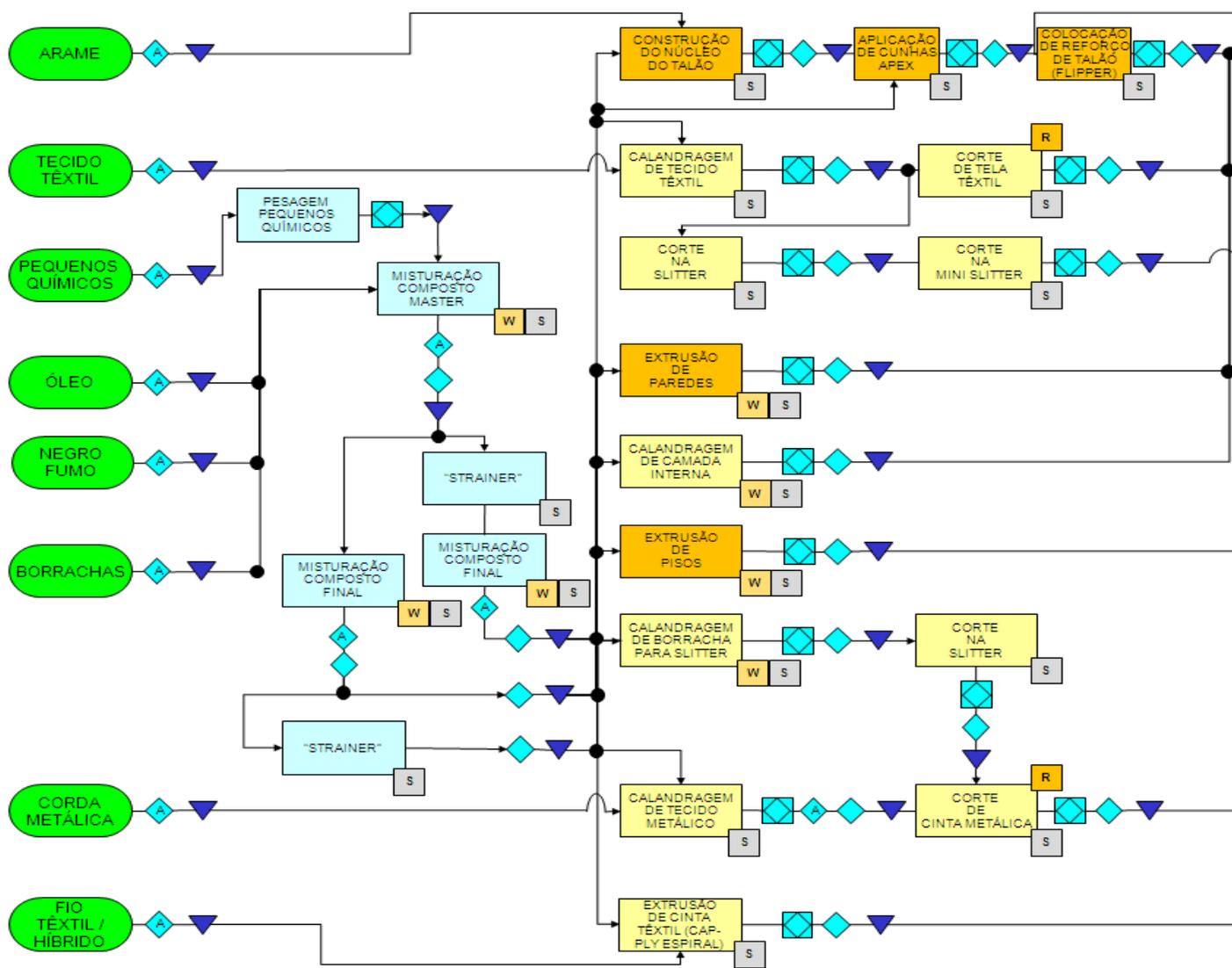


Figura 3.4 – Esquema do processo produtivo.

3.1.1 Receção de matérias-primas

As matérias-primas depois de rececionadas são submetidas a processos de controlo da qualidade para garantir que se encontram de acordo com os requisitos e as especificações exigidas. Depois de passarem pelos testes de qualidade, as matérias-primas são armazenadas no armazém de matérias-primas.

Posteriormente, quando é necessária a introdução de matérias-primas no processo produtivo, é removida a quantidade e os tipos adequados.



Figura 3.5 – Armazém de matérias-primas.

Após a receção dos materiais, estes necessitam de ser aprovados para darem entrada no processo produtivo. No laboratório de matérias-primas, existem diversos equipamentos que permitem analisar e avaliar as matérias-primas que dão entrada na fábrica. No diagrama da Figura 3.6 é possível visualizar o conjunto desses equipamentos que são calibrados no laboratório de matérias-primas.

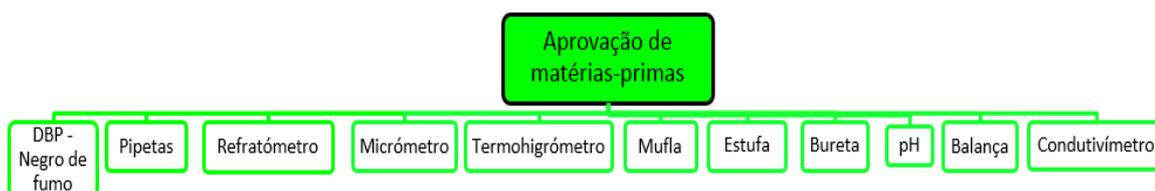


Figura 3.6 – Instrumentos calibrados na fase de aprovação de matérias-primas.

Esta fase da produção tem como objetivo rececionar, armazenar e entregar matérias-primas identificadas e aprovadas aos processos de valor acrescentado com a eficiência e qualidade definidas.

Após serem aprovados os materiais seguem para a linha de produção, começando pelo primeiro processo: a misturação.

3.1.2 Departamento I – Misturação

O departamento I ou departamento da misturação representa a 1ª fase de todo o processo de fabrico de um pneu. O processo da misturação consiste na junção dos compostos que incorporam a borracha. Estes materiais são colocados nas misturadoras, onde são transformados em mesas de borracha.

A Figura 3.7 apresenta os sacos com os diferentes compostos e a imagem à direita as mesas de borracha provenientes das misturadoras.

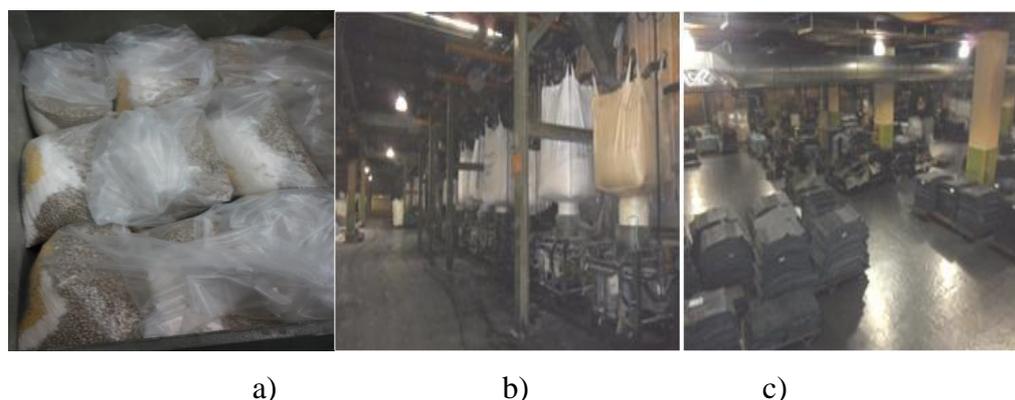


Figura 3.7 – Saco de compostos (a); Big Bags (b); Borracha após misturação (c).

Os compostos utilizados para fazer as mesas de borracha são borracha natural, borracha sintética, pigmentos, óleo mineral, sílica e negros de fumo. Diferentes tipos de pneus e diferentes partes do pneu podem necessitar de diferentes variações na consistência da borracha utilizada. Por esta razão, antes de se misturarem os compostos, é necessário proceder a uma pesagem de cada um destes, a que se designa de pesagem da receita.

Existem 10 misturadoras no total. No diagrama seguinte (Figura 3.8) é possível verificar os instrumentos que são regularmente calibrados nesta fase do processo.

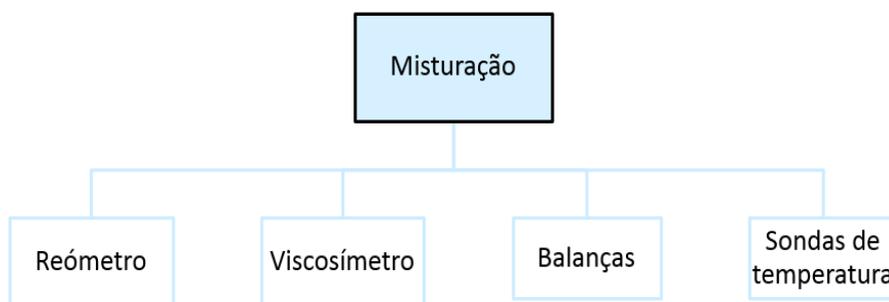


Figura 3.8 – Instrumentos calibrados na fase da misturação.

O reómetro é utilizado para medir a tensão de deformação e fluidez da borracha.

São calibradas diversas balanças como por exemplo: balanças de passadeira que fazem a pesagem tanto de químicos como de borracha, balanças para pesagem de pigmentos, óxido de zinco, resina líquida, químicos; balança de negro de fumo.

As sondas de temperatura servem para verificar a temperatura de misturação e os viscosímetros para realizar ensaios de viscosidade do material de saída.

O objetivo desta fase passa por garantir o cumprimento do plano de produção, fornecendo compostos aos processos de Preparação a Quente e Preparação a Frio com a eficiência e qualidade definidas para isso é necessário que todos os componentes estejam na quantidade certa e a temperatura de misturação seja a especificada para o efeito.

3.1.3 Departamento II – Preparação

O departamento II ou da Preparação é responsável por produzir todos os compostos necessários para a montagem de um pneu. Os materiais que abastecem este departamento são as mesas de borracha vindas da misturação e ainda materiais comprados a fornecedores como o arame, tecido têxtil, tela metálica, entre outros. Estes materiais dependendo do componente a produzir, são processados em extrusoras, calandras e máquinas de corte. A Figura 3.9 apresenta imagens que dizem respeito a várias áreas do departamento Preparação.



Figura 3.9 – Fase de preparação.

Os componentes que resultam desta fase do processo produtivo são as paredes, pisos, telas têxteis e metálica e ainda os talões. Estes componentes depois de produzidos são armazenados em

diferentes tipos de carros, que posteriormente serão encaminhados para o departamento III, o departamento da construção.



Figura 3.10 – Extrusoras de pisos e paredes.

Na fase da preparação, existem as extrusoras que podem ser divididas em extrusoras de pisos e extrusoras de paredes. De uma forma geral, os instrumentos calibrados nos dois tipos são semelhantes. Na Figura 3.11 está o esquema com os instrumentos calibrados na fase da preparação.

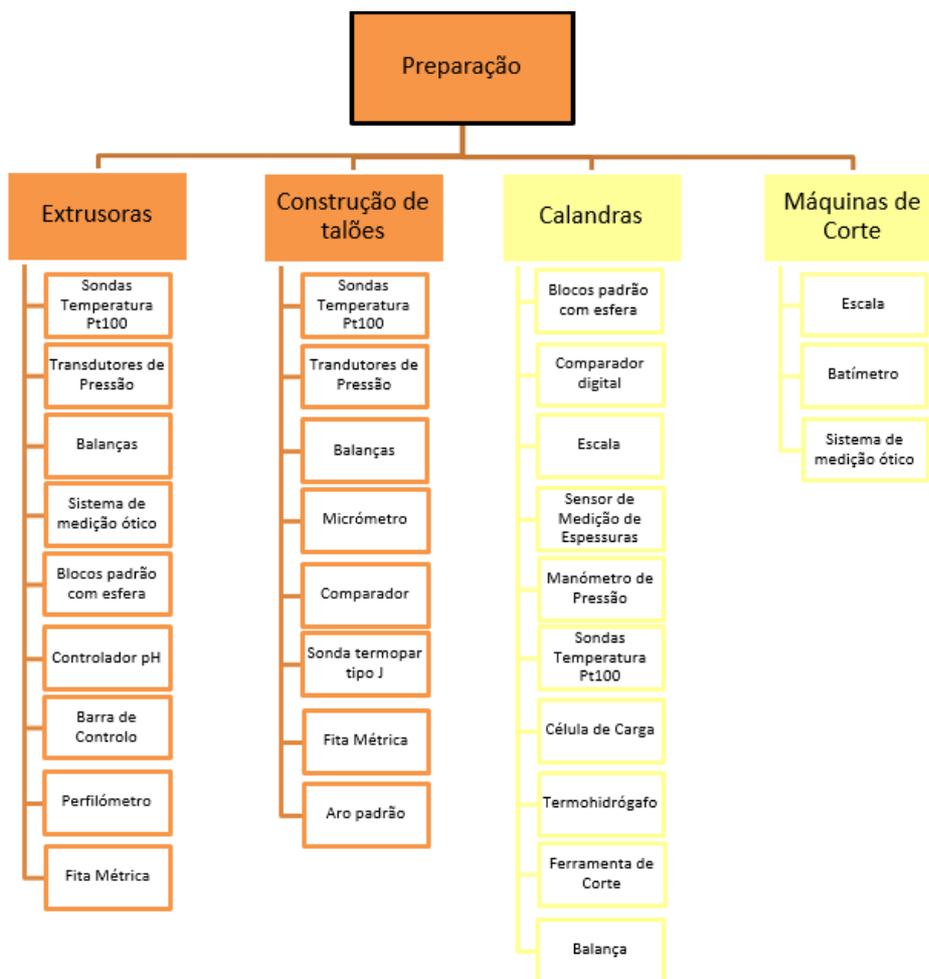


Figura 3.11 – Instrumentos calibrados na fase da preparação.

As sondas de temperatura são utilizadas para medir a temperatura no cabeçote tal como os transdutores de pressão que medem a pressão neste mesmo local.

São usadas balanças para controlar o peso por metro tanto das paredes como dos pisos e têm também um sistema ótico de medição automático de largura (final e inicial) e uma barra de controlo para verificar a largura e peso.

Como os pisos e paredes passam num tanque de arrefecimento, existem controladores de pH para medir a acidez/basicidade da água.

A construção de talões envolve também diversos instrumentos que necessitam de calibração periódica. Esses instrumentos são os transdutores de pressão, as sondas de temperatura (Pt100 e termopares) que são colocados no cabeçote. Para a dimensão dos talões são usados micrómetros (espessura), comparadores (diâmetro) e balanças (peso).

No caso das calandras, são utilizados blocos padrão de borracha com esferas para controlar o detetor de metais, ferramentas de corte para retirar amostras de tecido, termohigrógrafo para registar a temperatura e humidade relativa, células de carga para verificar a tensão nos rolos de aquecimento, arrefecimento e desenrolamento. São utilizadas escalas para medição da largura, sensores de medição de espessuras e comparadores digitais. Possuem também manómetros de pressão para controlar o ar em geral.

Existem três tipos de calandras: *Innerliner*, 3 rolos e 4 rolos. A nível de instrumentos são semelhantes, apenas no caso da *innerliner* são usados, para além dos mencionados anteriormente, perfilómetros para medir a largura final das camadas.

O corte de tecido divide-se em corte de tela têxtil e corte de cinta metálica. Nesta secção é feita apenas a medição de larguras de telas e tiras. Para isso são usadas: escalas, batímetros e um sistema automático de medição.

Tal como a fase anterior, o objetivo da preparação (tanto a quente como a frio) é garantir o cumprimento do plano de produção, fornecendo materiais ao processo de construção: pisos, paredes, talões com cunha, núcleos, cinta metálica, tela, reforços têxteis, cintas têxteis e camada interna tendo todos que cumprir determinados requisitos que são devidamente controlados através das calibrações dos instrumentos mostrados no diagrama da Figura 3.11/Figura 3.9.

3.1.4 Departamento III – Construção

O departamento III ou departamento da construção é responsável pela montagem dos componentes provenientes do departamento da preparação. Este departamento é composto por

quarenta módulos, cada módulo é constituído por duas máquinas diferentes, designadas de (máquina de construção) e PU.(máquina de expansão). Através da Figura 3.12, pode ver-se uma imagem de um dos módulos de construção do departamento III.



Figura 3.12 – Fase de construção.

Na KM é construída a carcaça do pneu e na PU junta-se a carcaça com as telas metálicas, cintas têxteis e com o piso. Da passagem dos componentes que vêm do departamento anterior por cada módulo, resultam os pneus “em verde”, também designados de pneus “em cru”. Os pneus “em verde” são transportados para o departamento seguinte através de transportadores automáticos designados por *Green Tire Conveyor* (GTC).



Figura 3.13 – Anel de transferência.

As KM são controladas apenas a nível de manómetros de pressão: no diafragma, no fixador de talão, tambor, centrador, etc.

As PU utilizam também manómetros de pressão para medir a pressão no interior da carcaça, a pressão de enformação, o fixador de talões entre outros. E também é calibrado nesta máquina um termohigrómetro que tem como função controlar a temperatura e humidade ambiente. Na Figura 3.14 é possível visualizar os instrumentos calibrados na fase da Construção.

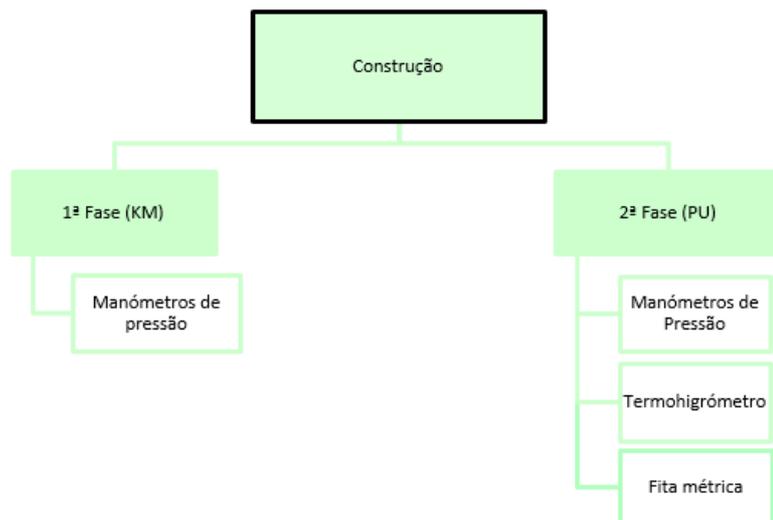


Figura 3.14 – Instrumentos calibrados na fase da construção.

Na construção o cumprimento do plano de produção é garantido pelo fornecimento de pneus em cru ao processo seguinte: vulcanização. A sua eficiência e qualidade são definidas pelo funcionamento dentro das tolerâncias dos instrumentos envolvidos.

3.1.5 Departamento IV – Vulcanização

O departamento IV ou departamento da vulcanização é constituído pelo processo de pintura e pela vulcanização dos pneus. O sistema de pintura dos pneus só é necessário para alongar a vida dos moldes das prensas da vulcanização representados na Figura 3.15.

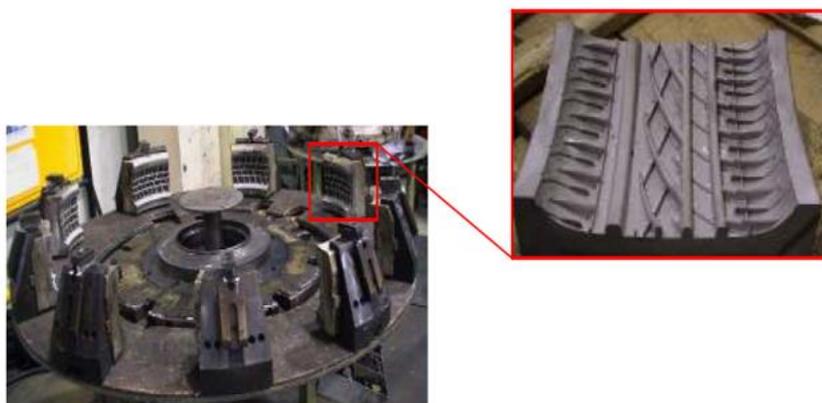


Figura 3.15 – Moldes das pensas de vulcanização.

Sendo assim, o processo de pintura representa um desperdício, já que este não acrescenta valor ao produto, só é necessário por causa de uma limitação tecnológica das prensas.



Figura 3.16 – Prensas de Vulcanização.

No processo de pintura, pneus “em verde” (Figura 3.17) vindos dos módulos de construção, são lubrificados no seu interior. Depois de pintados, os pneus são transportados, através de carros para as prensas, onde se decorrerá o processo de vulcanização dos pneus. Este processo de vulcanização que consiste na passagem da borracha do estado plástico ao elástico submete os pneus “em verde” a altas temperaturas nas prensas, para que os moldes forneçam o aspeto final do pneu.



Figura 3.17 – Pneu em cru.

Após a vulcanização dos pneus estes são encaminhados, através de transportadores para o departamento seguinte.

Existem diversos instrumentos nas prensas de vulcanização, os de maior “interesse” para a metrologia são: os comparadores porque regulam o aperto do molde, transdutores de pressão que controlam a pressão de enformação e a pressão interna do pneu e dois tipos de sondas de temperatura (placas e moldes). Segue-se, na Figura 3.18 um diagrama com os instrumentos que necessitam de calibração periódica na Vulcanização.

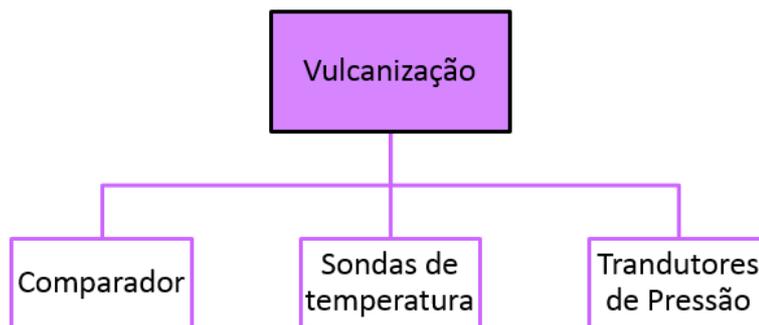


Figura 3.18 – Instrumentos calibrados na fase da vulcanização.

Os pneus vulcanizados são o objetivo deste processo e para tal é necessário que este esteja sujeito a determinadas pressões e temperaturas devidamente controladas de forma a enviar o produto dentro das especificações para a inspeção final. Tudo isto é assegurado pela metrologia.

3.1.6 Departamento V – Área Final

O departamento V ou departamento da inspeção final é a última fase do processo produtivo. Neste departamento são realizadas as verificações visuais e as inspeções automáticas (uniformidade, bulge e balanceamento), para garantir todos os requisitos de qualidade dos pneus. A Figura 3.19 mostra a inspeção visual da CM.



Figura 3.19 – Inspeção visual.

Os pneus que cumprem as especificações de qualidade definidas, são encaminhados para o armazém de produto acabado em paletes, por transportadores.



Figura 3.20 – Pneus colocados em paletes.

Também na área final é necessário garantir a eficiência e qualidade do produto. Por isso, todos os pneus entregues ao armazém devem ser inspecionados e testados. A Figura 3.21 divide a área final em uniformidade e bulge e apresenta os instrumentos calibrados em cada uma delas.

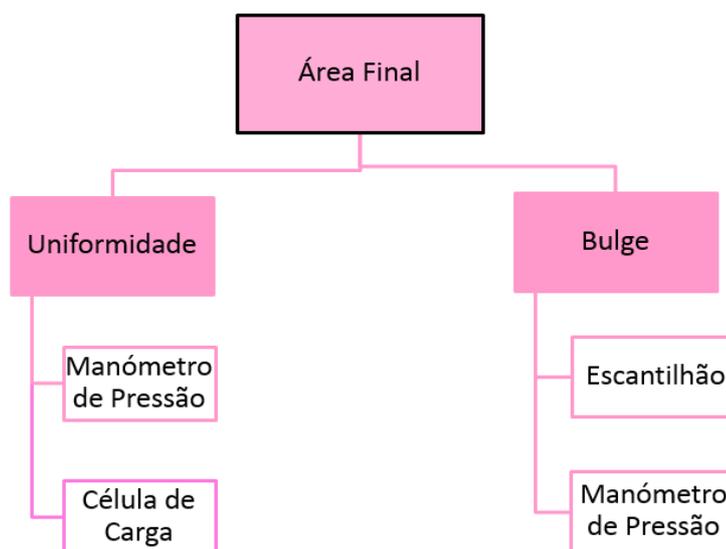


Figura 3.21 – Instrumentos calibrados na fase da inspeção final.

As máquinas de uniformidade, designadas MU, possuem manómetros que controlam a pressão de ensaio e a pressão interna que necessitam de calibração regular.

Relativamente ao bulge manual, este utiliza um escantilhão que serve para verificar saliências e depressões nos pneus, e manómetros de pressão (pressões de teste, ensaio e interna).

Em todos os processos de produção são também utilizadas fitas métricas/escalas que pertencem aos operadores servindo para controlar as dimensões do produto à saída. Essas fitas carecem de calibração periódica tal como os restantes equipamentos.

Como é acima referido, é nesta fase que se inserem as máquinas de uniformidade, máquinas essas que foram utilizadas para estudos realizados durante o estágio. Estas permitem avaliar as características do pneu pneu relativas ao seu equilíbrio e distribuição de massa como produto final a

ser enviado para o cliente daí ser de extrema importância o seu correto funcionamento de forma a evitar pneus irregulares e desequilibrados.

3.1.7 Expedição de Produto Acabado

Quando chegam ao armazém de produto acabado, os pneus são encaminhados e posteriormente armazenados, consoante as suas características, no armazém de produto acabado através de empilhadores, onde lá permanecem até que seja necessário enviá-los para os respetivos de clientes. Na Figura 3.22 são apresentadas duas imagens respeitantes ao armazém de produto acabado da empresa CM.



Figura 3.22 – Armazém de produto acabado.

O transporte de pneus para o cliente é realizado através de camiões, que são carregados consoante os requisitos dos pedidos dos clientes (Figura 3.23).



Figura 3.23 – Camião de transporte

Capítulo 4

Uniformidade e Método Inovador de Marcação

No presente capítulo são abordados os principais conceitos relacionados com a uniformidade de um pneu. É também esclarecido o conceito de marcação e os principais parâmetros envolvidos neste procedimento.

A constituição das máquinas onde foram realizados testes, bem como a máquina de marcação central são aqui mencionadas. Também neste capítulo são apresentados aspectos sobre imagem, detecção de códigos de barras, entre outros.

4.1 Uniformidade de um pneu

Idealmente, é desejável que um pneu seja um círculo perfeito e a rigidez interior, dimensões e distribuição de peso sejam uniformes ao longo da circunferência do pneu. Contudo, a construção e o processo produtivo mais comuns do pneu tornam difícil a produção em massa de um pneu ideal. Isto é, ao longo do processo ocorrem certas não uniformidades na rigidez, dimensões e peso do pneu. Como resultado, é produzida uma indesejável força de excitação no pneu enquanto o veículo está em andamento. As oscilações produzidas por essa força de excitação são transmitidas ao chassi do veículo causando uma variedade de oscilações e ruídos que são ouvidos no interior do carro. (15)

Existem diversos *standards* na indústria para avaliar a uniformidade de um pneu. O método mais utilizado recorre a um tambor rotativo que serve como substituto para a superfície da estrada e exerce uma força pré determinada no pneu enquanto roda. Ou seja, o pneu e o tambor giram em torno dos respetivos eixos rotacionais de tal forma que enquanto um gira, o outro é obrigado a girar.

Quando o pneu roda é gerada uma força de não uniformidade. Esta força é medida por vários dispositivos (por exemplo, pela célula de carga como presente na Figura 4.1) e é calculado um índice para avaliar a não uniformidade do pneu. Esta medição é referida como uma medida de uniformidade. (15)



Figura 4.1 – Tambor rotativo de uma máquina de uniformidade. (16)

De uma forma geral, a uniformidade de um pneu refere-se às suas propriedades mecânicas dinâmicas que são definidas de acordo com determinados padrões de medição que incluem parâmetros como:

- Variação da força: Variação da força radial (RFV), análise harmónica da força radial (RFHx), variação da força lateral (LFV) e conicidade;
- Variação geométrica: saliências e depressões;
- Variação de peso: balanceamento estático e balanceamento dinâmico.

A melhoria contínua da uniformidade de um pneu permite também a melhoria do conforto na condução do veículo.

Os valores da RFH1, LFV e conicidade são especificados pelos clientes de equipamento de origem. Cada cliente exige valores diferentes de acordo com o tipo de pneu.

A Continental também tem um valor estipulado para estas características. Se o valor estiver fora dos valores de Equipamento de Origem (OE) mas dentro dos valores da Continental, os pneus são considerados pneus de Mercado de Substituição (MS).

4.1.1 Forças Radial, Lateral e Tangencial

A circunferência do pneu pode ser modelada através dos elementos elásticos que variam de acordo com as condições de fabrico do mesmo. A variação da elasticidade nas direções radial e lateral causa variações nas forças a que o pneu está sujeito à medida que roda sobre uma superfície. Essas variações são a causa de varios distúrbios durante a condução e a redução permite a melhoria da performance dinâmica do veículo.

A variação da força consiste na mudança nas forças radial, lateral e tangencial à medida que o pneu roda sobre uma superfície. A **Força Radial** é a força vertical entre o pneu e a estrada, a **Força Lateral** é a força ao longo do eixo de rotação entre o pneu e a estrada e a **Força Tangencial** é a força de condução entre o pneu e a estrada. (17)

Na Figura 4.2 é possível visualizar a atuação das forças num pneu.

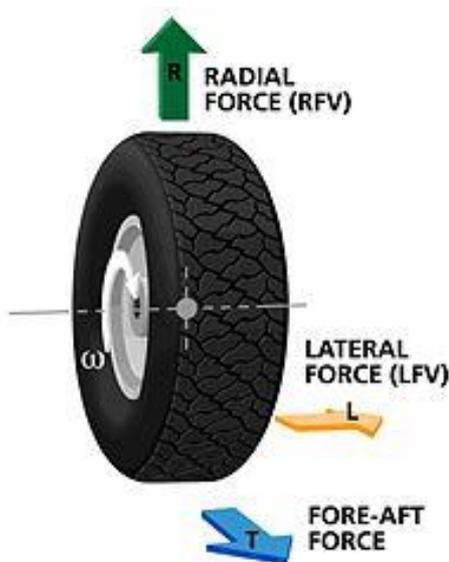


Figura 4.2 – Forças de variação. (15)

As variações da **Força Radial**, para o mesmo pneu e para as mesmas condições de pressão de enchimento e carga, pouco variam com o sentido de rotação do pneu e possuem um carácter periódico. Estas variações de força são provocadas por uma não uniformidade na estrutura do pneu, como por exemplo, as que são originadas por variações na largura da viragem da tela de corpo, variação da distância entre *cords* da tela de corpo, na parede lateral, e desalinhamento na união de cintas. Estas anomalias alteram, como se referiu, a constante de mola do pneu. (15)

A força radial, tal como as restantes forças, podem ser apresentadas sob a forma de onda, onde essa presente na Figura 4.3.

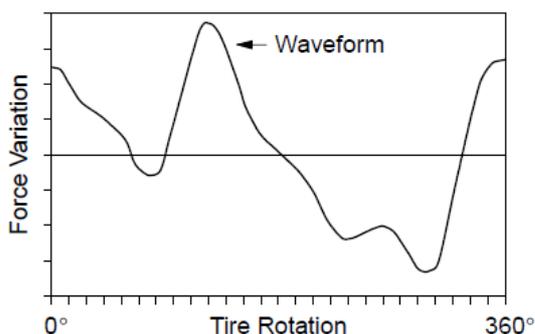


Figura 4.3 – Variação da força radial com a rotação. (17)

Essa onda (Figura 4.4) pode ser expressa de acordo com os seus harmônicos através da aplicação da transformada de Fourier (FT).

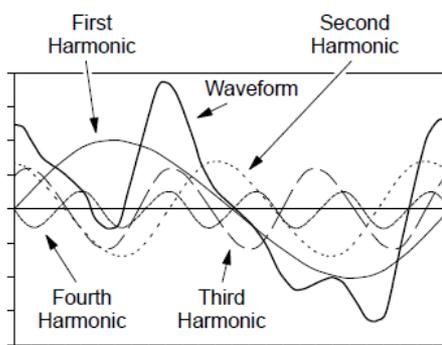


Figura 4.4 – Análise harmônica da variação da força. (17)

O primeiro harmônico é expresso como RFH1 (Força Radial do Primeiro Harmônico) e descreve a variação da magnitude da força que provoca o impulso no veículo uma vez por cada rotação.

No caso do segundo harmônico (RFH2), este expressa a magnitude da força radial que provoca o impulso duas vezes por rotação e assim sucessivamente.

O RFH1 é a primeira fonte de distúrbios durante a condução, seguida do RFH2. Quanto maior o harmônico, menor é o distúrbio causado daí ser de grande importância o conhecimento do 1º harmônico na montagem do conjunto pneu/jante pois os seus efeitos devem ser minimizados.

As variações da **Força Lateral**, para o mesmo pneu e para as mesmas condições de pressão de enchimento e carga, pouco variam, em valor absoluto, com o sentido de rotação do pneu. Contudo, apresentam um valor positivo quando o pneu roda no sentido dos ponteiros do relógio e apresentam um valor negativo quando roda em sentido contrário ao dos ponteiros do relógio e possuem sempre um caráter periódico.

Tal como no caso das variações de força radial, estas variações de força são provocadas por uma não uniformidade na estrutura do pneu, como por exemplo, as que são originadas por variações na largura da viragem da tela de corpo, variação da distância entre *cords* da tela de corpo, na parede lateral, e desalinhamento na união de cintas. Estas anomalias alteram, como se referiu, a constante de mola do pneu. A onda resultante da variação da força lateral é a que se segue na Figura 4.5. (18)

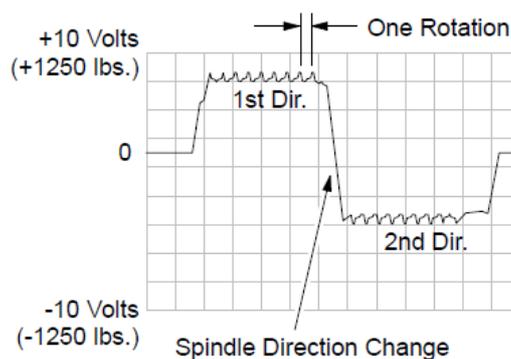


Figura 4.5 – Variação da força lateral. (17)

A **Conicidade** é um parâmetro baseado no comportamento da força lateral. É a característica que descreve a tendência do pneu em rodar como um cone (Figura 1.7). Esta característica afeta a performance da direção do veículo.

A conicidade é determinada através da medição da força lateral tanto no sentido dos ponteiros como no sentido oposto o que determina o seu sinal: positivo ou negativo. Na Figura 4.6 encontra-se um esquema explicativo da conicidade. (19)

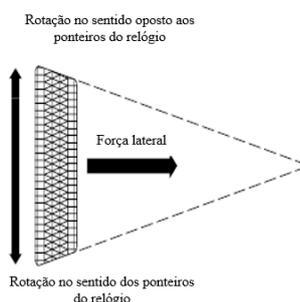


Figura 4.6 – Conicidade. (19)

A conicidade é um parâmetro muito importante nos testes de produção. Nos carros com elevadas performances, os pneus com conicidade igual são colocados nos lados esquerdo e direito do carro de forma a que o efeito da conicidade seja anulado e provoque uma condução mais suave.

4.1.2 Descentramento Radial e Lateral

O descentramento pode ser radial ou lateral. O **Descentramento Radial** (*Radial Runout*) descreve o desvio que o pneu apresenta em relação a um círculo perfeito, como mostra a Figura 4.7. Este pode ser expressa tanto em valores pico a pico como nos seus harmónicos. (19)



Figura 4.7 – Radial Runout. (20)

O **Descentramento Lateral** (*Lateral Runout*) é uma variação na geometria da parede lateral, a qual não se encontra toda no mesmo plano, num pneu a rodar, sob carga e com a pressão de enchimento recomendada. (19)

Na fFigura 4.8 é possível ver um pneu com lateral runout.



Figura 4.8 – Lateral Runout. (15)

4.1.3 Saliências e depressões na parede lateral

As saliências na parede lateral são em geral causadas por um maior espaçamento entre as cordas da tela de corpo ou por uma união muito espaçada. As depressões, pelo contrário, resultam de uma maior e localizada densidade ou por uma sobreposição na zona de união. No primeiro caso, com o pneu sob pressão e sob carga, apresenta uma maior deformação na zona defeituosa; no segundo caso, a estrutura mais densa oferece uma maior resistência à deformação e forma-se uma depressão. Um maior espaçamento entre as cordas pode ter origem na calandragem, na operação de construção ou ao enformar a carcaça. Uma sobreposição na união é causada por deficiência na construção. Este tipo de defeitos, para além de afectar a segurança na condução do veículo, introduz também perturbações e vibrações na direcção. (19)

4.2 Especificações de Marcação

Como referido no capítulo 3, um pneu é constituído por diversos componentes. A montagem de um pneu em cru (ou verde) não está isenta de erros, com maior ou menor reflexo no comportamento do pneu. Desses erros resulta o facto de o pneu não apresentar total simetria geométrica e distribuição de massa relativamente aos eixos referenciais. Para corrigir a não conformidade de um pneu, este deve ser submetido a inspeção para determinar o ponto mais elevado (ou baixo) do 1º harmónico da força radial.

A marcação é de extrema importância para a correta montagem de um pneu numa jante e de todo o conjunto pneu/jante no veículo. Daí a marcação ser fundamental pois permite uma montagem correta do pneu (alinha o ponto mais alto do pneu com o mais baixo da jante), de forma mais equilibrada proporcionando ao veículo uma maior estabilidade. (41)

As especificações de marcação no pneu são definidas pelo cliente e os requisitos exigidos podem ser: o local de marcação (ponto mais alto ou mais baixo do harmónico da força radial); o 1º ou 2º harmónico; o tipo de marcação (pinta vermelha, pinta branca, donut vermelho) e a indicação da conicidade (P caso seja positiva e N caso seja negativa). Na Figura 4.9 estão representadas as várias marcações que podem ser feitas num pneu.

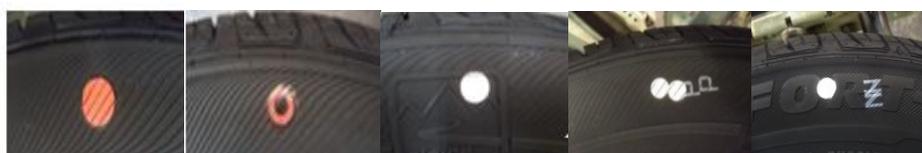


Figura 4.9 – Marcações nos pneus (red dot, red donut, white dot, white dot com letra P de conicidade positiva e white dot com letra N de conicidade negativa)

Todos os pneus apresentam um código de barras (Figura 4.10 – Código de barras de um pneu.) que lhes é atribuído nas KM, dando-lhes uma identidade. Este código de barras é usado em muitos processos da fábrica porque para além de ser a identificação única e intransmissível de um pneu é também utilizado como uma referência ou um ponto zero na circunferência do pneu.

A leitura do código de barras é feita por um leitor *Datalogic*, usado em todas as máquinas da fábrica para o efeito.



Figura 4.10 – Código de barras de um pneu.

No caso das máquinas de uniformidade, o código de barras é usado como ponto zero sendo possível obter um valor de ângulo entre este e a marcação do ponto onde se situa o harmónico.

4.3 Máquinas de uniformidade

Na CM existem 20 MU. Dessas 20 máquinas foram instaladas câmaras em 3 e o sistema de alinhamento por spotting em 5.

Cada máquina de uniformidade tem um número que é a sua identificação, por exemplo MU#1, MU#2 e assim em diante. As máquinas onde foram instaladas câmaras são as MU#9, MU#11 e MU#12. No caso do spotting, este sistema foi colocado nas MU#2, MU#3, MU#18, MU#19 e MU#20. As restantes máquinas serão futuramente equipadas com um destes sistemas.

Inicialmente, as MU apenas marcavam o lado do pneu em que a força do harmónico era superior. Atualmente, devido a imposições por parte dos clientes do OE, a marcação deve ser feita no local onde o 1º harmónico é superior. Desta forma, foi necessário adaptar os sistemas para realizarem este tipo de marcação e por isso, surgiram os dois sistemas que foram alvo de teste.

Na Figura 4.11 é mostrado o esquema de uma MU.

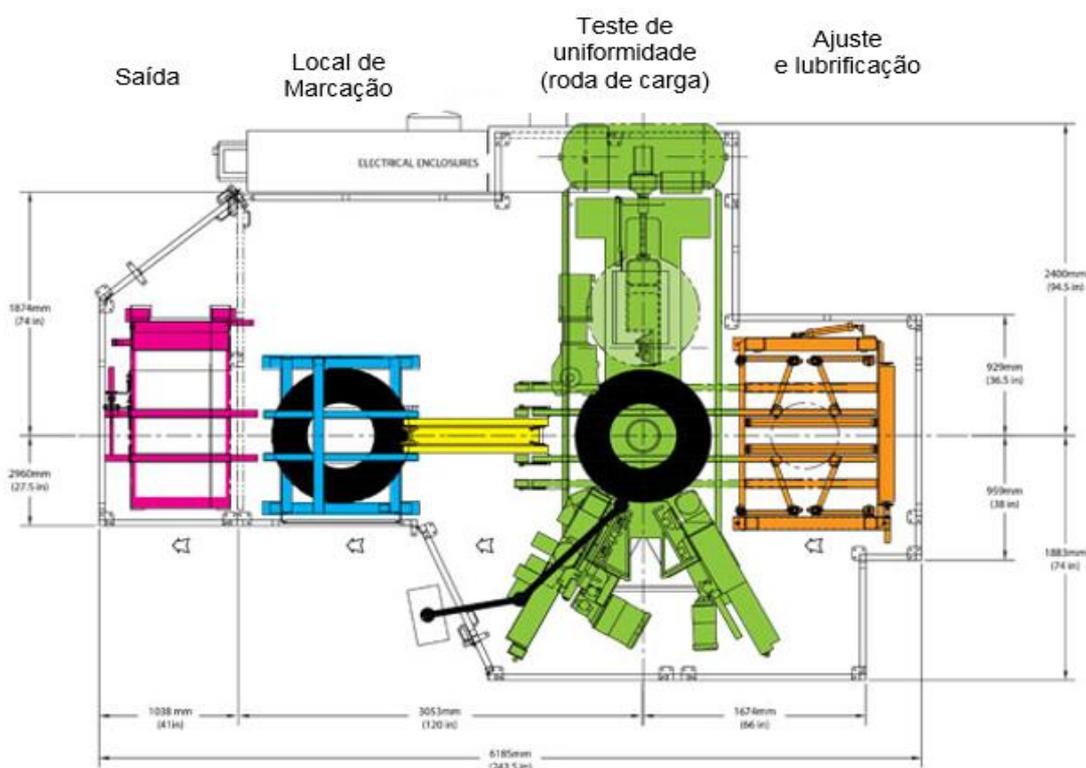


Figura 4.11 – Máquina de uniformidade. (16)

4.3.1 Máquinas de marcação por *Spotting*

As máquinas de *spotting* permitem a marcação do *high/low point* através do alinhamento do pneu em relação ao seu código de barras (CB). O código de barras é detetado pelo Datalogic e esse ponto é considerado zero graus. Quando o CB é detetado o pneu pára e a célula de carga está colocada a 270° do CB.

A seguir, o pneu é lubrificado de forma a permitir o encaixe na jante. Assume-se que o pneu entrou exatamente na posição em que estava, ou seja CB no ponto zero grau. Posteriormente realiza-se o teste de uniformidade: medição das forças radial e lateral, conicidade e obtenção do valor das coordenadas do *high point*.

O pneu é rodado de forma a que o *high point* fique nas coordenadas onde vai ser marcado com uma pinta uma vez que o marcador está fixo nessa posição (à saída da máquina). Em seguida o pneu é retirado da jante.

Para efeito dos testes realizados, nestas máquinas foi necessário medir o ângulo de marcação que é o ângulo entre o código de barras e o local no pneu em que o hp é maior, ou seja local onde foi marcada a pinta.

Este tipo de sistema de marcação (*spotting*) não envia diretamente o valor do ângulo de marcação para o *software*, apenas envia o valor de RFA (*Radial Force Angle*) e de TRA (*Tread Angle*). De uma forma esquematizada é mostrado na Figura 4.12 o esquema do funcionamento de uma MU que realiza marcação do pneu por *spotting*.

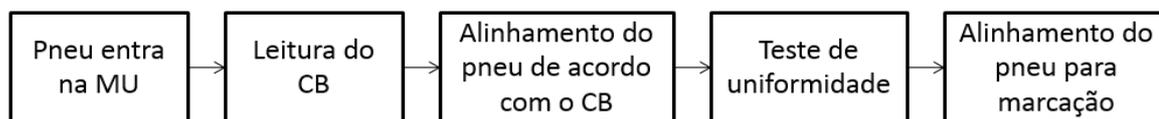


Figura 4.12 – Funcionamento da máquina de uniformidade.

O valor do ângulo de marcação em relação ao código de barras é então obtido através de um cálculo que combina as duas variáveis referidas.

O valor de TRA é o ângulo a que o código de barras se encontra da célula de carga para que o CB esteja alinhado no “ponto zero”, sendo o RFA o valor do ângulo do ponto de maior força radial. Este ângulo pode ser medido pela máquina no sentido dos ponteiros do relógio (“*clockwise*”, cw) ou no sentido oposto (“*contra clockwise*”, ccw).

Perante isto, caso seja necessário marcar o *high point* do pneu é realizado um cálculo para obter o ângulo do CB que está presente na Equação 32.

$$BCAngle = TRA - RFA_{cw}$$

Equação 32

O valor do TRA é, normalmente, 270° porque é relativo ao ângulo que o código de barras, quando na posição zero, faz em relação à célula de carga como se pode visualizar no esquema da Figura 4.13.

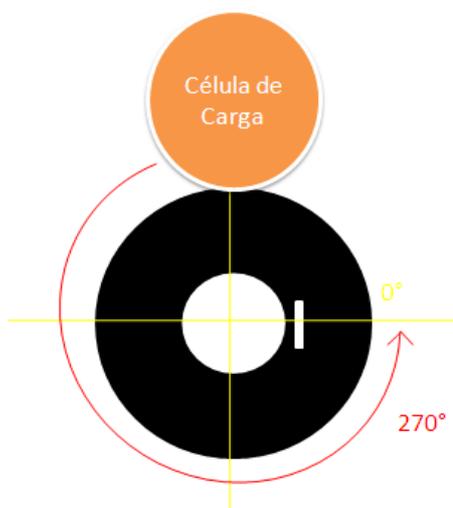


Figura 4.13 – Esquema representativo da posição do CB em relação à célula de carga.

No caso da marcação pretendida pelo cliente ser no *low point* a fórmula de cálculo é alterada e processa-se como representado na Equação 33.

$$BCAngle = RFA_{cw} - 180$$

Equação 33

4.3.2 Câmaras de Imagem

As câmaras instaladas nas MU apresentam princípios de funcionamento semelhantes: após o teste de uniformidade, a imagem obtida pela câmara permite traçar um eixo de coordenadas em relação ao código de barras. Na Figura 4.14 pode-se ver o processo de marcação de um pneu numa máquina de uniformidade com câmara.

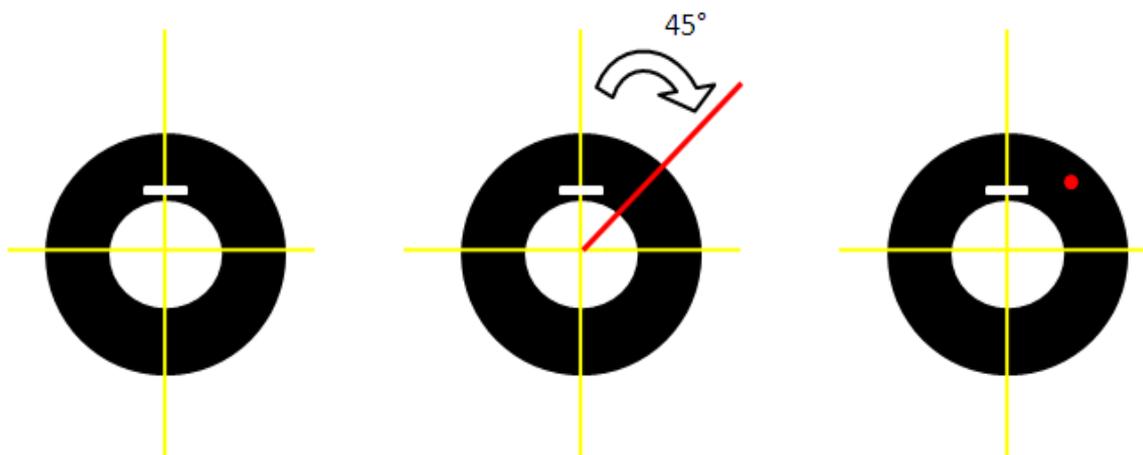


Figura 4.14 – Processo de marcação do pneu.

O algoritmo usado faz o cálculo das coordenadas do ponto onde vai fazer a marcação, dando à saída o valor de marcação do *high* ou *low point*. Contrariamente às máquinas com *spotting*, as MU com câmara dão o valor do ângulo de marcação em relação ao código de barras direto sem necessidade de cálculos.

As câmaras estão colocadas a uma altura de 1300 mm de forma a poder abranger todo o tipo de pneus com diferentes tamanhos.

A nível de iluminação, cada fornecedor aplicou diferentes filtros de forma a eliminar possíveis “ruídos” exteriores na imagem como por exemplo brilhos, reflexos, etc.

Nas 3 câmaras instaladas nas máquinas apresentam 3 tipos diferentes filtros: Nas 3 câmaras instaladas apresentam-se 3 tipos diferentes filtros: na MU #9: led branco, na MU #11: infravermelho e MU #12: led azul.

Na Figura 4.15 apresenta-se a câmara instalada na MU#12 com filtro luminoso azul.



Figura 4.15 – Sistema de câmara e iluminação colocados na MU#12.

As características das câmaras utilizadas nas MU podem ser consultaas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Resumo das características das câmaras utilizadas nas MU. (21) (22) (23)

Característica	MU#9	MU#11	MU#12
Marca	Datalogic	Teledyne	Sick IVP
Resolução	648 x 488	1280 x 1024	1024 x 768
Sensor imagem	1/3" CCD	1/3" CCD	1/3" CCD
Lentes	C-Mount	C-Mount	C-Mount
Performance	-	-	24 Hz
Memória	-	256 MB	128 MB
Processador	-	700 MHz	800 MHz

Cada fornecedor garante que o sistema implementado apenas deteta a sua própria luz ou seja no caso do infravermelho, todo o tipo de radiação diferente não é detetado pelo sistema, não interferindo com os resultados de medição.

4.4 Sistema de Marcação Central (CMS)

Como anteriormente foi explicado, a marcação da uniformidade de um pneu é feita nas MU. Cada máquina de uniformidade marca determinado tipo de pneus consoante o seu código de barras, ou seja após o ensaio de uniformidade os pneus passam pelo marcador. Este método apresenta alguns problemas pois em caso de avaria no marcador, por exemplo, a máquina é obrigada a parar e não realiza mais testes enquanto não for reparada a avaria. O que provoca um “congestionamento” e consequente atraso nos testes de uniformidade nos pneus da máquina em questão.

De forma a colmatar este problema, surgiu então, o novo sistema de marcação central que para além de fazer marcação de todo o tipo de pneus consoante a informação proveniente das MU's (registada no seu código de barras), também verifica se o pneu foi ou não bem marcado. Ou seja, futuramente pretende-se que a marcação seja toda feita no CMS servindo as MU apenas para testes de uniformidade e envio dos dados para o CMS. Passando assim toda a marcação a ser feita num único local, não atrasando os ensaios de uniformidade.

O objetivo do marcador central é acabar com as marcações feitas nas MU e apenas receber a informação proveniente destas (através do código de barras identificativo de cada pneu) de forma marcar os pneus, onde posteriormente verifica a “qualidade” da marcação, ou seja, cada MU envia o valor do ângulo de marcação para o CMS e apenas aqui é feita a marcação.

A máquina CMS, ligada em rede ao sistema da fábrica, recebe o valor do ângulo de marcação proveniente das máquinas de marcação de uniformidade (MU), tem como finalidade a marcação correta da pinta pretendida pelo cliente.

Na Figura 4.16 apresenta-se o esquema de funcionamento do CMS de uma forma geral.

O pneu quando entra nesta é alinhado (consoante a posição do código de barras) de acordo com a informação proveniente da máquina de uniformidade.



Figura 4.16 – Funcionamento do CMS.

A leitura do código de barras é feita por um leitor *Datalogic*, usado em todas as máquinas da fábrica para o efeito. Ao detetar o código de barras, a máquina CMS alinha o pneu de acordo com a informação enviada pela MU para o pneu em questão. Esse alinhamento é feito com o auxílio de uma câmara da marca Teledyne (igual à utilizada na MU#11) como se pode ver na Figura 4.17.

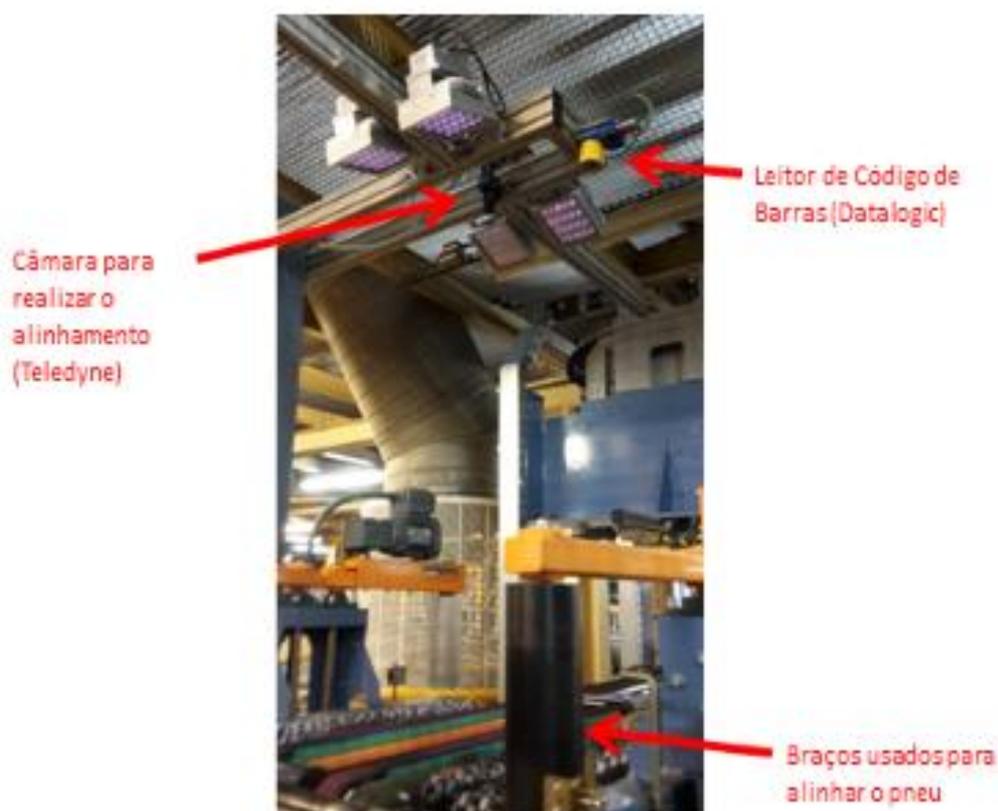


Figura 4.17 – Sistema de alinhamento: leitura do CB e posicionamento angular.

Após o alinhamento, o pneu é enviado para o marcador onde estão colocados 6 rolos com as respectivas “pintas”: 3 em cima e 3 em baixo. Quando a máquina for aprovada devem ser implementadas mais máquinas para que cada uma delas tenha marcações diferentes sem necessidade de trocar os rolos manualmente e constantemente (Figura 4.18).



Figura 4.18 – Zona de marcação (3 rolos).

A marcação realizada nas MU é do tipo *inkjet*, ou seja é por jato de tinta. Existe em cada máquina um depósito com a tinta para marcação. Este sistema requer manutenção periódica devido à sua facilidade em secar e entupir.

No caso do CMS, apesar de também possuir marcação do tipo *inkjet* mas não ser utilizada para já, a marcação é realizada através de um rolo e faz a estampagem da pinta a quente o que faz com que a marca não se apague tão facilmente como acontece no caso do *inkjet*.

O rolo utilizado e a marca feita no CMS são os presentes na Figura 4.19.



Figura 4.19 – Rolo de impressão a quente (à esquerda) e respetiva marca (à direita). (24)

O CMS tem 4 tipos de *stickers* (donut branco, vermelho e dot branco e vermelho) utilizados tanto para a marcação do lado de cima (*top*) como também do lado de baixo (*bottom*).

A validação da qualidade das marcações é feita por 4 câmaras: uma em cima, uma em baixo e duas de lado. As duas de lado são para verificar as marcações de um *sticker* amarelo no piso do pneu. Este tipo de *sticker* ainda não está em utilização.

As câmaras colocadas em cima e em baixo possuem uma lente *Rodenstock* modelo *Rodagon* com abertura de 8mm e F1/4⁴. Na Figura 4.20 está presente uma imagem das câmaras na “zona de verificação” das marcações.

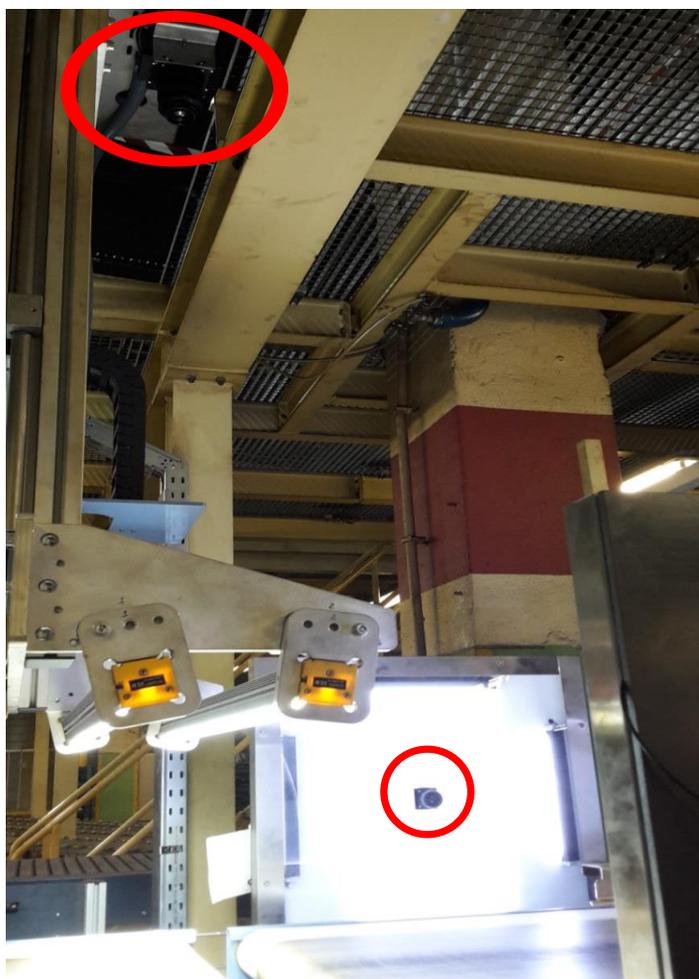


Figura 4.20 – Câmaras de verificação das marcações (a vermelho).

⁴ Informação sobre a escolha das câmaras não é fornecida por parte do departamento de Engenharia.

O sistema de câmaras permite avaliar as marcações em relação à forma (*dot* ou *donut*), ao lado (*top* ou *bottom*), à cor (vermelho ou branco), ao raio, ao ângulo, ao tamanho, à distância, à área e ao número de marcas.

A forma da marcação refere-se a *dot* ou *donut* que pode ser colocada em cima ou em baixo (lado) e com cor vermelha ou branca (cor).

Quanto ao ângulo, este permite verificar que o local de marcação está correto e a distância a que está do ombro do pneu também é verificada (variável “distância”) e para isso é dado pelo sistema também o valor do raio do pneu medido desde o centro. O CMS confere também se o número de marcas feitas no pneu está correto, evitando marcações duplas. Quanto à área, esta serve para verificar se a marcação está completa ou apresenta falhas, como por exemplo, verificar se é uma pinta redonda perfeita.

Na Figura 4.21 é possível verificar a página principal do *software* do CMS com a indicação dos valores de ângulo, código de barras, conformidade das características avaliadas na “pinta” e visualização do sistema de uma forma geral.

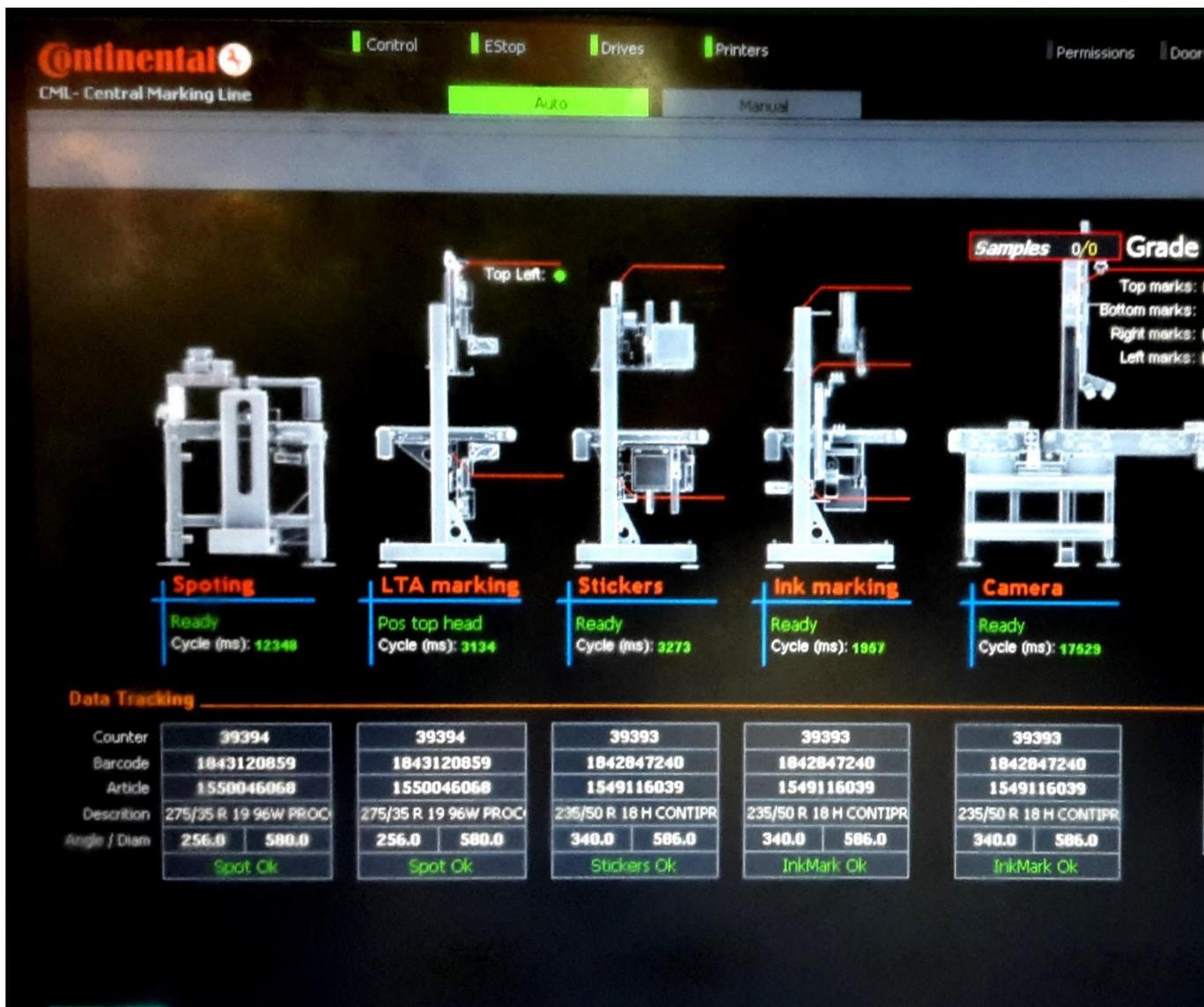


Figura 4.21 – Ambiente de trabalho do CMS.

Capítulo 5

Resultados da Avaliação dos Sistemas de Marcação

O capítulo 5 apresenta os resultados do estudo dos diferentes sistemas de marcação, existentes nas máquinas de marcação da uniformidade do pneu. A explicação da sua obtenção permite compreender os métodos utilizados na avaliação das máquinas em questão.

5.1 Descrição do Problema

Como anteriormente foi explicado, marcação de uniformidade de um pneu é feita nas máquinas de uniformidade, que consoante os valores obtidos nos testes, fazem a marcação do *high/low point* no pneu.

A máquina que está sob avaliação é a CMS que possui o novo sistema de marcação. Para verificar se está a funcionar corretamente vai ser testada na determinação dos seguintes parâmetros: marcação do *high/low point* de acordo com a informação do código de barras, deteção da marcação (tipo, cor, ângulo, tamanho, e proveniente das outras máquinas de marcação da uniformidade MU) e falhas na marcação (dupla, incompleta, lado errado).

A máquina CMS apenas deve marcar o ângulo que é enviado pelas MU, por isso, estas também têm que ser testadas (avaliadas) para verificar se o valor do ângulo é corretamente marcado e enviado. O marcador das MU está apenas ativo para realizar estes testes pois futuramente vão deixar de realizar esta tarefa, passando a marcação da uniformidade dos pneus a ser feita só no CMS.

Desta forma, para avaliar os sistemas envolvidos foi necessário recorrer às ferramentas estatísticas presentes no MSA. Nas MU é necessário avaliar a capacidade das câmaras de imagem e do spotting. Para isso é necessário recorrer ao estudo de Cg e Cgk em cada uma delas.

A máquina CMS também possui câmara de imagem e por isso também se avalia a sua capacidade. Para verificar as marcações é necessário realizar um estudo R&R de atributos. A Tabela 5.1 mostra um resumo dos estudos realizados para fazer a avaliação dos sistemas de marcação das diferentes máquinas.

Tabela 5.1 – Resumo dos estudos a realizar.

	Estudo	Materiais	Método
MU	Cg e Cgk (apenas nas câmaras)	1 pneu	50 vezes
	R&R (média e amplitude) – Tipo 3	10 pneus	5 vezes (medição manual vs MU)
CMS	Cg e Cgk	1 pneu	50 vezes
	R&R (atributos)	50 pneus	3 vezes

As câmaras instaladas são diferentes nas três MU e por isso são testadas as três de forma a validar a que apresenta melhor desempenho.

No caso do spotting este deve ser comparado ao sistema de câmaras para confirmar qual deles apresenta resultados mais aceitáveis.

5.2 Avaliação das MU's

Em primeiro lugar foi realizada a avaliação das máquinas com sistema de medição do ângulo através de câmara de imagem. Para isso, foi necessário proceder ao estudo de capacidade das câmaras (Cg e Cgk).

A folha de resultados utilizada para o cálculo destas variáveis foi o da Figura 5.1.

 Fábrika Lousado	Análise de Sistemas de Medição Estudo de C_g/C_{gk} - Tipo 1 (Tendência e Repetibilidade)	Área de Aplicação: Uniformidade																																																																																																														
Aquisição de Dados (Data Input in Yellow Fields)																																																																																																																
Instrumento de Medição Sistema de Medição: <input type="text"/> Nº Identificação: MU#11 Amplitude de Medição: <input type="text"/> Resolução: 0,1	Padrão de Medição Descrição: 255/55R19 Nº Identificação: <input type="text"/> Valor de Referência: 269,000	Data: 25-02-2015 Característica: Ângulo Unidade de medida: Graus Obs: <input type="text"/>																																																																																																														
Intervalo de Tolerância (TW): 10,00 <small>(exemplo, se a tolerância for ± 5, TW = 10)</small>		Intervalo de Processo(PV): <input type="text"/> <small>(se conhecido)</small> <small>(PV = 6 x Desv. padrão)</small>																																																																																																														
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th>Repet.</th><th>Valor</th><th>Repet.</th><th>Valor</th><th>Repet.</th><th>Valor</th><th>Repet.</th><th>Valor</th><th>Repet.</th><th>Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>269,100</td><td>11</td><td>269,100</td><td>21</td><td>269,100</td><td>31</td><td>269,100</td><td>41</td><td>269,100</td></tr> <tr><td>2</td><td>269,100</td><td>12</td><td>269,200</td><td>22</td><td>269,100</td><td>32</td><td>269,000</td><td>42</td><td>269,200</td></tr> <tr><td>3</td><td>269,100</td><td>13</td><td>269,100</td><td>23</td><td>269,200</td><td>33</td><td>269,100</td><td>43</td><td>269,100</td></tr> <tr><td>4</td><td>269,200</td><td>14</td><td>269,100</td><td>24</td><td>269,100</td><td>34</td><td>269,200</td><td>44</td><td>269,100</td></tr> <tr><td>5</td><td>269,200</td><td>15</td><td>269,100</td><td>25</td><td>269,200</td><td>35</td><td>269,200</td><td>45</td><td>269,100</td></tr> <tr><td>6</td><td>269,100</td><td>16</td><td>269,200</td><td>26</td><td>269,100</td><td>36</td><td>269,100</td><td>46</td><td>269,200</td></tr> <tr><td>7</td><td>269,000</td><td>17</td><td>269,200</td><td>27</td><td>269,000</td><td>37</td><td>269,000</td><td>47</td><td>269,100</td></tr> <tr><td>8</td><td>269,100</td><td>18</td><td>269,200</td><td>28</td><td>269,000</td><td>38</td><td>269,100</td><td>48</td><td>269,100</td></tr> <tr><td>9</td><td>269,000</td><td>19</td><td>269,200</td><td>29</td><td>269,100</td><td>39</td><td>269,100</td><td>49</td><td>269,100</td></tr> <tr><td>10</td><td>269,200</td><td>20</td><td>269,100</td><td>30</td><td>269,000</td><td>40</td><td>269,200</td><td>50</td><td>269,100</td></tr> </tbody> </table>			Repet.	Valor	Repet.	Valor	Repet.	Valor	Repet.	Valor	Repet.	Valor	1	269,100	11	269,100	21	269,100	31	269,100	41	269,100	2	269,100	12	269,200	22	269,100	32	269,000	42	269,200	3	269,100	13	269,100	23	269,200	33	269,100	43	269,100	4	269,200	14	269,100	24	269,100	34	269,200	44	269,100	5	269,200	15	269,100	25	269,200	35	269,200	45	269,100	6	269,100	16	269,200	26	269,100	36	269,100	46	269,200	7	269,000	17	269,200	27	269,000	37	269,000	47	269,100	8	269,100	18	269,200	28	269,000	38	269,100	48	269,100	9	269,000	19	269,200	29	269,100	39	269,100	49	269,100	10	269,200	20	269,100	30	269,000	40	269,200	50	269,100
Repet.	Valor	Repet.	Valor	Repet.	Valor	Repet.	Valor	Repet.	Valor																																																																																																							
1	269,100	11	269,100	21	269,100	31	269,100	41	269,100																																																																																																							
2	269,100	12	269,200	22	269,100	32	269,000	42	269,200																																																																																																							
3	269,100	13	269,100	23	269,200	33	269,100	43	269,100																																																																																																							
4	269,200	14	269,100	24	269,100	34	269,200	44	269,100																																																																																																							
5	269,200	15	269,100	25	269,200	35	269,200	45	269,100																																																																																																							
6	269,100	16	269,200	26	269,100	36	269,100	46	269,200																																																																																																							
7	269,000	17	269,200	27	269,000	37	269,000	47	269,100																																																																																																							
8	269,100	18	269,200	28	269,000	38	269,100	48	269,100																																																																																																							
9	269,000	19	269,200	29	269,100	39	269,100	49	269,100																																																																																																							
10	269,200	20	269,100	30	269,000	40	269,200	50	269,100																																																																																																							
Análise																																																																																																																
Valor Ref ^a , X _m : 269,000		Valor Máximo: 269,200																																																																																																														
Valor Refer ^a Superior: 270,000 <small>(X_m + (0.1 x TW))</small>		Valor Mínimo: 269,000																																																																																																														
Valor Refer ^a Inferior: 268,000 <small>(X_m - (0.1 x TW))</small>		Range, R: 0,200																																																																																																														
Média, X _g : 269,116		Desvio Padrão, S _g : 0,065																																																																																																														
Tendência: 0,116 <small>(B_i = X_g - X_m)</small>		Limite variação Sup: 269,311 <small>(X_g + (3 x S_g))</small>																																																																																																														
		Limite variação Inf: 268,921 <small>(X_g - (3 x S_g))</small>																																																																																																														
Índice de Capacidade Índice, C_g (Repetibilidade) $C_g = (0.2 \times TW) / (6 \times S_g)$ 5,13		Índice Capacidade, C_{gk} (Tendência e Repetibilidade) $C_{gk} = ((0.1 \times TW) - B_i) / (3 \times S_g)$ 4,53																																																																																																														
Tolerância Mínima, T_{Cg} <small>(Baseada na Repetibilidade do equipamento)</small> $T_{Cg} = (6 \times S_g) / 0.2$ 1,95		Intervalo de Tolerância Mínimo para Aceitação/Aprovação do Equipamento de Medição <small>(Baseado no Máximo de T_{Cg} e T_{Res})</small> 1,95																																																																																																														
Tolerância Mínima, T_{Res} <small>(Baseada na Resolução do equipamento)</small> $T_{Res} = \text{Resolução} / 0.1$ 1																																																																																																																
Resultados																																																																																																																
Critério de Aceitação: <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <tr><td>C_g, C_{gk}</td><td>Aceitável</td></tr> <tr><td>≥ 1.33</td><td>Aceitável</td></tr> <tr><td>1.0 - 1.33</td><td>Marginalmente Aceitável</td></tr> <tr><td>< 1.0</td><td>Inaceitável/Necessita melhoria</td></tr> </table>		C _g , C _{gk}	Aceitável	≥ 1.33	Aceitável	1.0 - 1.33	Marginalmente Aceitável	< 1.0	Inaceitável/Necessita melhoria	O sistema de medição é aceitável? X SIM NÃO																																																																																																						
C _g , C _{gk}	Aceitável																																																																																																															
≥ 1.33	Aceitável																																																																																																															
1.0 - 1.33	Marginalmente Aceitável																																																																																																															
< 1.0	Inaceitável/Necessita melhoria																																																																																																															
Ações: <input type="text"/>		Metrologia: <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <tr> <td style="width:33%;">J. Martins</td> <td style="width:33%;">27-02-2015</td> <td style="width:33%; text-align: center;"></td> </tr> <tr> <td>Nome</td> <td>Data</td> <td>Assinatura</td> </tr> </table>	J. Martins	27-02-2015		Nome	Data	Assinatura																																																																																																								
J. Martins	27-02-2015																																																																																																															
Nome	Data	Assinatura																																																																																																														

Figura 5.1 – Template em excel com os valores obtidos para o estudo de C_g e C_{gk} (MU#11).

Neste estudo coloca-se o pneu numa posição predeterminada a qual representa o valor de referência. Tendo em conta os valores definidos para a tolerância do instrumento que se está a avaliar a capacidade realizam-se 50 medições para determinar o ângulo de marcação do *high point* no pneu.

Estas medições permitem determinar o desvio que o equipamento apresenta entre as medições e em relação ao valor de referência. Para isso é feita uma análise que permite separar as variáveis: valor de referência (X_m), valor mínimo, valor máximo, range (R), média (X_g) e desvio padrão (S_g). Essas variáveis são depois utilizadas para calcular o valor de referência superior ($X_m + (0,1 \times \text{tolerância})$), o valor de referência inferior ($X_m - (0,1 \times \text{tolerância})$), a tendência ($|B| = X_g - X_m$), o limite de variação superior ($X_g + (3 \times S_g)$) e o limite de variação inferior ($X_g - (3 \times S_g)$). Através dos resultados obtidos nestes cálculos é gerado um gráfico com esses valores em cada medição (de forma a ver quais os valores que estão dentro ou fora dos limites) e um histograma com os valores das medições mais repetidas pelo equipamento.

O objetivo deste estudo é determinar os índices de capacidade C_g ($(0,2 \times \text{Tolerância}) / (6 \times S_g)$) e C_{gk} ($((0,1 \times \text{Tolerância}) - |B|) / (3 \times S_g)$).

Este estudo foi realizado para as três MU: 9, 11 e 12. Na Tabela 5.2 é apresentado um resumo dos resultados para as três máquinas.

Tabela 5.2 – Valores de C_g e C_{gk} para as MU com câmara.

MU	Cg/Cgk (>1.33)	
9	6.54	3.99
11	5.13	4.53
12	2	1.41

Após um resultado positivo (C_g e $C_{gk} > 1.33$) na capacidade dos sistemas, que prova a capacidade das câmaras em avaliar a característica pretendida (medição do ângulo), procedeu-se ao estudo da repetibilidade (Figura 5.2).

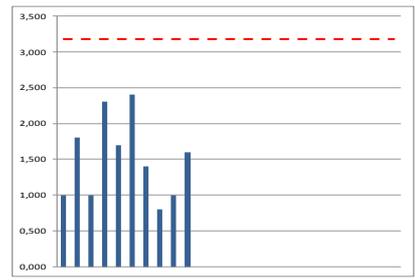
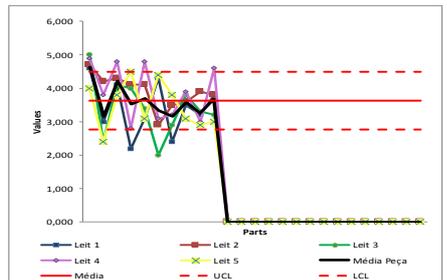
 Plant: Lousado	Análise do Sistema de Medição Estudo R&R - Tipo 3 (Método Média e Amplitude)	Pág. 1 / 2 Anexo 1 PLLO-M-QM-M-00-WI-0513-14																																																																																																																																																																																																																							
Aquisição de dados																																																																																																																																																																																																																									
Equipamento: MU vs Manual Número de Identificação: #12 Resolução: 0,1 Tolerância (TW): 20 <small>(exemplo, se tolerância ± 5, TW = 10)</small>	Componente: 55/60 R 18 CROSSCONTACT Característica: Ângulo Unidades: Graus Var.Processo (PV): (se conhecido) <small>(PV = 6 x process st. dev.)</small>	Data: 03-03-2015 Obs: Câmara Repetições: 5 (2, 3, 4, ou 5) Amostras: 10 (25, 20, 15 ou 10) (Total amostras x repetições TEM de ser ≥ 50)																																																																																																																																																																																																																							
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Peça</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>Méd.</th><th>Range</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4,600</td><td>4,700</td><td>5,000</td><td>4,900</td><td>4,000</td><td>4,640</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>2</td><td>3,000</td><td>4,200</td><td>2,400</td><td>3,800</td><td>2,400</td><td>3,160</td><td>1,800</td></tr> <tr><td>3</td><td>4,100</td><td>4,300</td><td>4,100</td><td>4,800</td><td>3,800</td><td>4,220</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>4</td><td>2,200</td><td>4,100</td><td>4,000</td><td>2,800</td><td>4,500</td><td>3,520</td><td>2,300</td></tr> <tr><td>5</td><td>3,100</td><td>4,100</td><td>3,400</td><td>4,800</td><td>3,100</td><td>3,700</td><td>1,700</td></tr> <tr><td>6</td><td>4,300</td><td>2,900</td><td>2,000</td><td>3,100</td><td>4,400</td><td>3,340</td><td>2,400</td></tr> <tr><td>7</td><td>2,400</td><td>3,500</td><td>2,900</td><td>3,200</td><td>3,800</td><td>3,160</td><td>1,400</td></tr> <tr><td>8</td><td>3,500</td><td>3,600</td><td>3,800</td><td>3,900</td><td>3,100</td><td>3,580</td><td>0,800</td></tr> <tr><td>9</td><td>3,200</td><td>3,900</td><td>3,300</td><td>3,000</td><td>2,900</td><td>3,260</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>10</td><td>3,800</td><td>3,800</td><td>3,200</td><td>4,600</td><td>3,000</td><td>3,680</td><td>1,600</td></tr> <tr><td>11</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range	1	4,600	4,700	5,000	4,900	4,000	4,640	1,000	2	3,000	4,200	2,400	3,800	2,400	3,160	1,800	3	4,100	4,300	4,100	4,800	3,800	4,220	1,000	4	2,200	4,100	4,000	2,800	4,500	3,520	2,300	5	3,100	4,100	3,400	4,800	3,100	3,700	1,700	6	4,300	2,900	2,000	3,100	4,400	3,340	2,400	7	2,400	3,500	2,900	3,200	3,800	3,160	1,400	8	3,500	3,600	3,800	3,900	3,100	3,580	0,800	9	3,200	3,900	3,300	3,000	2,900	3,260	1,000	10	3,800	3,800	3,200	4,600	3,000	3,680	1,600	11								12								13								14								15								<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Peça</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>Méd.</th><th>Range</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>16</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;"> R_{bar}: 1,5000 Média (Peças): 3,626 Range (Peças): 1,480 </p>	Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range	16								17								18								19								20								21								22								23								24								25							
Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range																																																																																																																																																																																																																		
1	4,600	4,700	5,000	4,900	4,000	4,640	1,000																																																																																																																																																																																																																		
2	3,000	4,200	2,400	3,800	2,400	3,160	1,800																																																																																																																																																																																																																		
3	4,100	4,300	4,100	4,800	3,800	4,220	1,000																																																																																																																																																																																																																		
4	2,200	4,100	4,000	2,800	4,500	3,520	2,300																																																																																																																																																																																																																		
5	3,100	4,100	3,400	4,800	3,100	3,700	1,700																																																																																																																																																																																																																		
6	4,300	2,900	2,000	3,100	4,400	3,340	2,400																																																																																																																																																																																																																		
7	2,400	3,500	2,900	3,200	3,800	3,160	1,400																																																																																																																																																																																																																		
8	3,500	3,600	3,800	3,900	3,100	3,580	0,800																																																																																																																																																																																																																		
9	3,200	3,900	3,300	3,000	2,900	3,260	1,000																																																																																																																																																																																																																		
10	3,800	3,800	3,200	4,600	3,000	3,680	1,600																																																																																																																																																																																																																		
11																																																																																																																																																																																																																									
12																																																																																																																																																																																																																									
13																																																																																																																																																																																																																									
14																																																																																																																																																																																																																									
15																																																																																																																																																																																																																									
Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range																																																																																																																																																																																																																		
16																																																																																																																																																																																																																									
17																																																																																																																																																																																																																									
18																																																																																																																																																																																																																									
19																																																																																																																																																																																																																									
20																																																																																																																																																																																																																									
21																																																																																																																																																																																																																									
22																																																																																																																																																																																																																									
23																																																																																																																																																																																																																									
24																																																																																																																																																																																																																									
25																																																																																																																																																																																																																									
Análise Gráfica																																																																																																																																																																																																																									
<p>MÉDIA UCL = R_{bar} x D₄ UCL = 3,1710</p>  <p style="color: red; font-weight: bold; font-size: small;">Se alguns dos valores de range exceder UCL, investigar as causas e repetir medições</p>	<p>AMPLITUDE</p> 																																																																																																																																																																																																																								
Análise																																																																																																																																																																																																																									
Análise do Sistema de Medição Estudo R&R - Tipo 3 (Método Média e Amplitude)																																																																																																																																																																																																																									
Pág. 2 / 2																																																																																																																																																																																																																									
Plant: Lousado																																																																																																																																																																																																																									
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:33%;"> REPETIBILIDADE = Variação Equipamento(EV) $EV = R_{bar} / d_2$ <small>d₂ baseado no nº de leituras, SPC constants</small> 0,6362 </td> <td style="width:33%;"> % Análise Tolerância $\%EV = (6EV / TW)100$ 19,09 % </td> <td style="width:33%;"> % Análise Variação Processo <small>(Baseado na TV_s se não for conhecido PV acima)</small> $\%EV = (6EV / PW)100$ 80,70 % </td> </tr> <tr> <td> Variação entre peças (PV_s) $PV_s = Range_{peças} \times K_3$ <small>K₃ = 0.3146 para 10 peças, 0.2814 para 15, etc.</small> 0,4655 </td> <td> $\%PV_s = (6PV_s / TW)100$ 13,97 % </td> <td> $\%PV_s = (6PV_s / PW)100$ 59,05 % </td> </tr> <tr> <td> Variação Total (TV_s) $TV_s = \text{SQRT}(GRR^2 + PV_s^2)$ 0,788 </td> <td> $\%TV_s = (6TV_s / TW)100$ 23,65 % </td> <td> $\%TV_s = (6TV_s / PW)100$ 100,00 % </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> Número Distinto de Categorias (ndc) $ndc = 1.41 \times (PV_s / GRR)$ or $1.41 \times (PW / GRR)$ 1 NA </td> </tr> </table>			REPETIBILIDADE = Variação Equipamento(EV) $EV = R_{bar} / d_2$ <small>d₂ baseado no nº de leituras, SPC constants</small> 0,6362	% Análise Tolerância $\%EV = (6EV / TW)100$ 19,09 %	% Análise Variação Processo <small>(Baseado na TV_s se não for conhecido PV acima)</small> $\%EV = (6EV / PW)100$ 80,70 %	Variação entre peças (PV_s) $PV_s = Range_{peças} \times K_3$ <small>K₃ = 0.3146 para 10 peças, 0.2814 para 15, etc.</small> 0,4655	$\%PV_s = (6PV_s / TW)100$ 13,97 %	$\%PV_s = (6PV_s / PW)100$ 59,05 %	Variação Total (TV_s) $TV_s = \text{SQRT}(GRR^2 + PV_s^2)$ 0,788	$\%TV_s = (6TV_s / TW)100$ 23,65 %	$\%TV_s = (6TV_s / PW)100$ 100,00 %	Número Distinto de Categorias (ndc) $ndc = 1.41 \times (PV_s / GRR)$ or $1.41 \times (PW / GRR)$ 1 NA																																																																																																																																																																																																													
REPETIBILIDADE = Variação Equipamento(EV) $EV = R_{bar} / d_2$ <small>d₂ baseado no nº de leituras, SPC constants</small> 0,6362	% Análise Tolerância $\%EV = (6EV / TW)100$ 19,09 %	% Análise Variação Processo <small>(Baseado na TV_s se não for conhecido PV acima)</small> $\%EV = (6EV / PW)100$ 80,70 %																																																																																																																																																																																																																							
Variação entre peças (PV_s) $PV_s = Range_{peças} \times K_3$ <small>K₃ = 0.3146 para 10 peças, 0.2814 para 15, etc.</small> 0,4655	$\%PV_s = (6PV_s / TW)100$ 13,97 %	$\%PV_s = (6PV_s / PW)100$ 59,05 %																																																																																																																																																																																																																							
Variação Total (TV_s) $TV_s = \text{SQRT}(GRR^2 + PV_s^2)$ 0,788	$\%TV_s = (6TV_s / TW)100$ 23,65 %	$\%TV_s = (6TV_s / PW)100$ 100,00 %																																																																																																																																																																																																																							
Número Distinto de Categorias (ndc) $ndc = 1.41 \times (PV_s / GRR)$ or $1.41 \times (PW / GRR)$ 1 NA																																																																																																																																																																																																																									
Resultados																																																																																																																																																																																																																									
<p>% Gage R&R = % EV</p> <p>< 10% Aceitável 10 - 30% Marginalmente Aceitável > 30% Inaceitável</p> <p>ndc</p> <p>> 5 Aceitável 2 - 4 Aplicação Limitada</p>	<p style="text-align: center;">Sistema de Medição Aceitável?</p> <p style="text-align: center;"> <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO </p> <p>Análise: </p> <p>Metrologia: J. Martins Data Assinatura</p>																																																																																																																																																																																																																								

Figura 5.2– Template usado na análise de Repetibilidade.

Os valores utilizados resultaram da diferença entre o valor do ângulo de marcação medido com um transferidor (Figura 5.3) manualmente e o valor registado pela máquina, o que permite verificar se existe coerência entre o valor obtido pela marcação do pneu e o enviado pela MU.

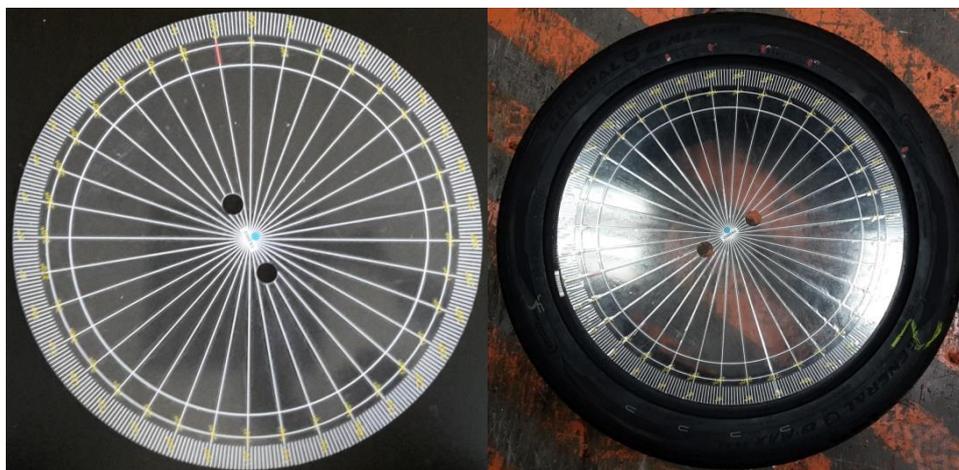


Figura 5.3 – Transferidor usado para medir os ângulos de marcação (à esquerda) e transferidor colocado no pneu (à direita).

Na Figura 5.4 está representada uma tabela com os resultados da máquina 9 (diferença entre o ângulo medido com o transferidor e o que resulta da marcação efetuada pela máquina). O valor da média utiliza as cinco medições efetuadas sendo que o valor da coluna designada por *range* é o intervalo existente entre a medição de menor valor e a de maior valor em cada pneu.

Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range
1	1,300	3,300	1,700	3,100	3,000	2,480	2,000
2	5,500	1,600	4,100	6,700	2,000	3,980	5,100
3	6,600	6,700	5,000	5,300	3,900	5,500	2,800
4	4,500	1,100	3,900	4,100	3,600	3,440	3,400
5	5,000	4,400	5,000	5,700	1,300	4,280	4,400
6	3,600	5,000	8,700	4,000	2,800	4,820	5,900
7	3,500	8,000	3,700	3,300	3,700	4,440	4,700
8	7,200	4,400	3,800	3,500	4,700	4,720	3,700
9	4,000	2,800	3,700	4,800	5,100	4,080	2,300
10	5,700	5,500	5,300	3,800	0,000	4,060	5,700
11							
12							
13							
14							
15							

Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							

R_{bar}:

Média (Peças):

Range (Peças):

Figura 5.4 – Resultados do estudo: ângulo marcado pela MU#9 versus ângulo medido manualmente.

A folha de cálculo Excel que foi usada para análise dos resultados, gera gráficos (Figura 5.5) com os valores obtidos de forma a possibilitar uma melhor interpretação dos resultados e verificar a existência de causas especiais. Para isso recorre-se ao uso de um histograma com o valor da média relativa a cada medição para cada um dos dez pneus e a uma carta de amplitudes que permite ver se os valores obtidos em cada pneu para cada medição estão dentro dos limites definidos para a tolerância ($\pm 10^\circ$).

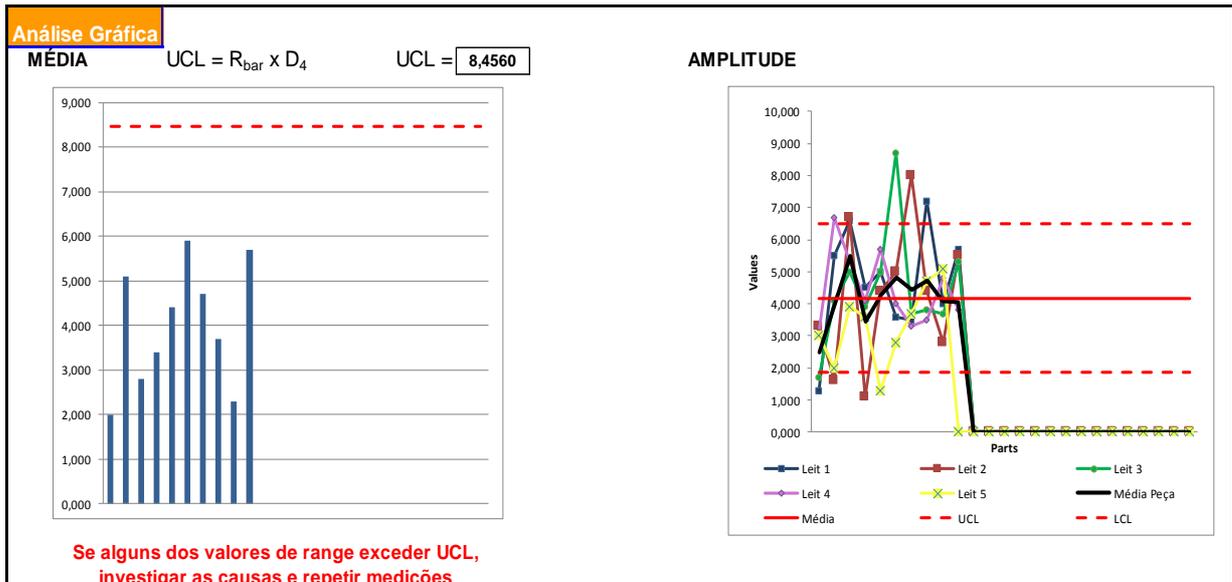


Figura 5.5 – Representação gráfica dos valores obtidos no estudo para cada pneu.

Com os valores resultantes são realizados cálculos (com as fórmulas do MSA presentes no capítulo 2) de forma a conhecer a variação do equipamento/processo. Na MU #9 o resultado final foi de aproximadamente 50% de variação como se pode confirmar pela Figura 5.6. Com base nos requisitos de aprovação do MSA esta máquina não cumpre o especificado.

Análise		
REPETIBILIDADE = Variação Equipamento(EV)		
$EV = R_{bar} / d_2$	1,6965	
<small>d_2 baseado no nº de leituras, SPC constants</small>		
Variação entre peças (PV_s)		
$PV_s = Range_{parts} \times K_3$	0,95	
<small>$K_3 = 0.3146$ para 10 peças, 0.2814 para 15, etc.</small>		
Variação Total (TV_s)		
$TV_s = \sqrt{GRR^2 + PV_s^2}$	1,944	
% Análise Tolerância		
$\%EV = (6EV / TW)100$	50,89	%
% Análise Variação Processo <small>(Baseado na TV_s se não for conhecido PV acima)</small>		
$\%EV = (6EV / PW)100$	87,25	%
$\%PV_s = (6PV_s / TW)100$	28,50	%
$\%PV_s = (6PV_s / PW)100$	48,86	%
$\%TV_s = (6TV_s / TW)100$	58,33	%
$\%TV_s = (6TV_s / PW)100$	100,00	%
Número Distinto de Categorias (ndc)		
$ndc = 1.41 \times (PV_s / GRR)$ or $1.41 \times (PW / GRR)$	1	NA

Figura 5.6 – Resultado do estudo.

Na MU 11 os valores para a medição dos ângulos estão presentes na Figura 5.7 e os gráficos resultantes na Figura 5.8.

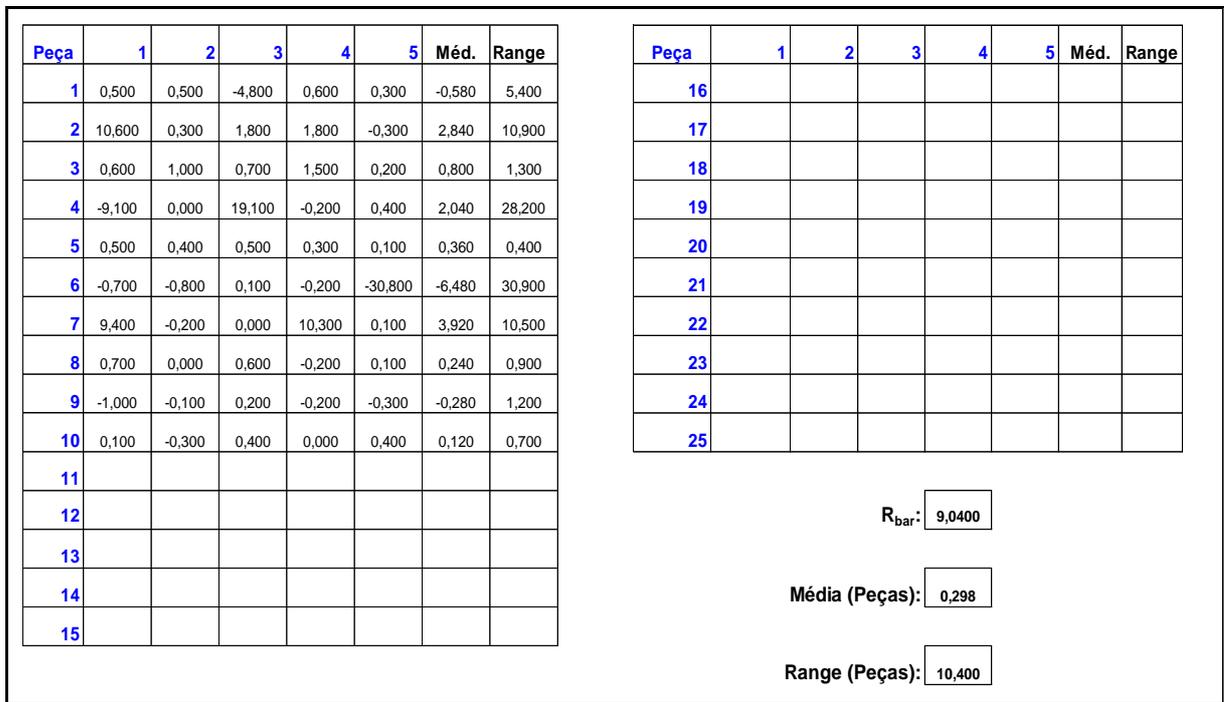


Figura 5.7 – Resultados do estudo: ângulo marcado pela MU#11 versus ângulo medido manualmente.

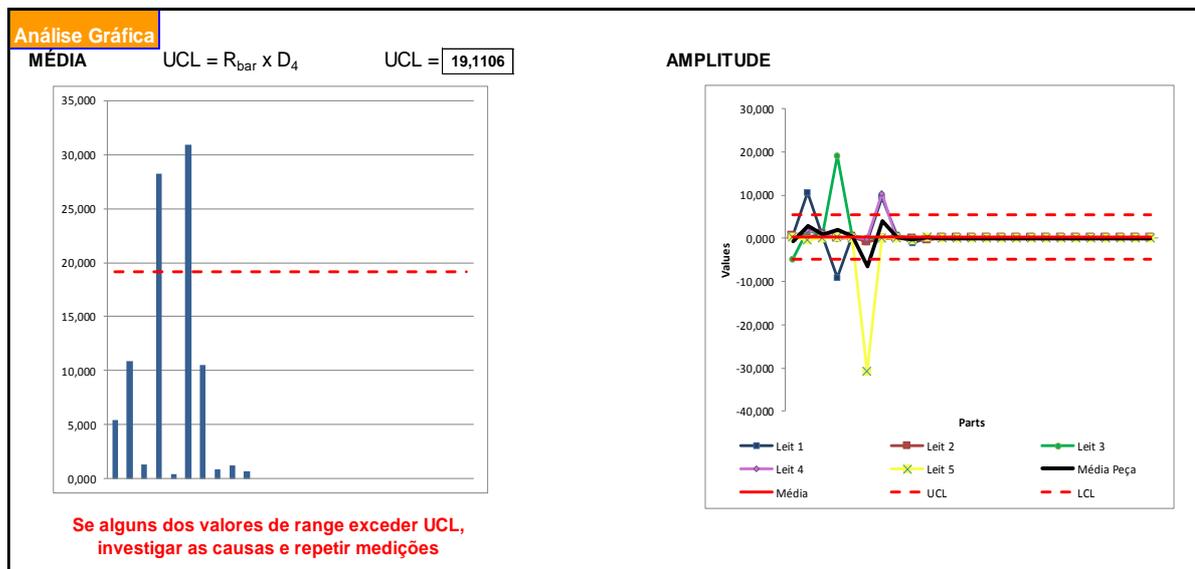


Figura 5.8 – Representação gráfica dos valores obtidos no estudo para cada pneu.

Na primeira avaliação efetuada nesta máquina o valor da % EV foi igual a 115.02%. Foram realizados alguns ajustes na câmara quer na luminosidade quer no offset o que contribuiu para que esta

máquina obtivesse um valor final de aproximadamente 13% (Figura 5.9), o qual se revela suficiente para a aprovação do sistema de marcação.

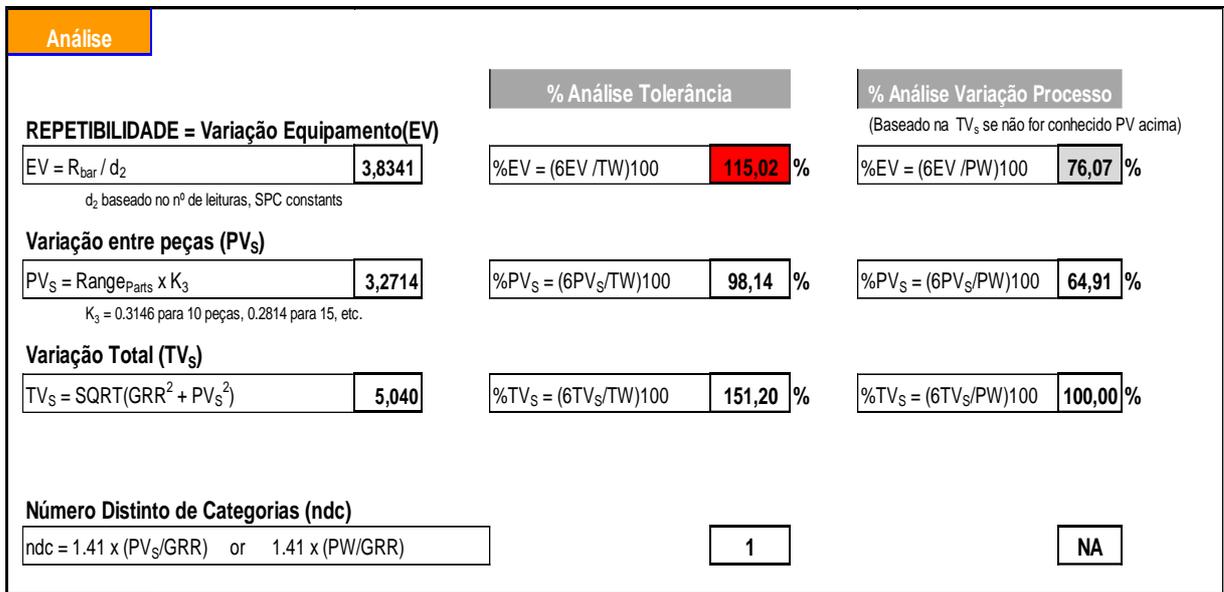


Figura 5.9 – Resultado do estudo.

Na MU#12 o resultado do estudo está apresentado na Figura 5.10.

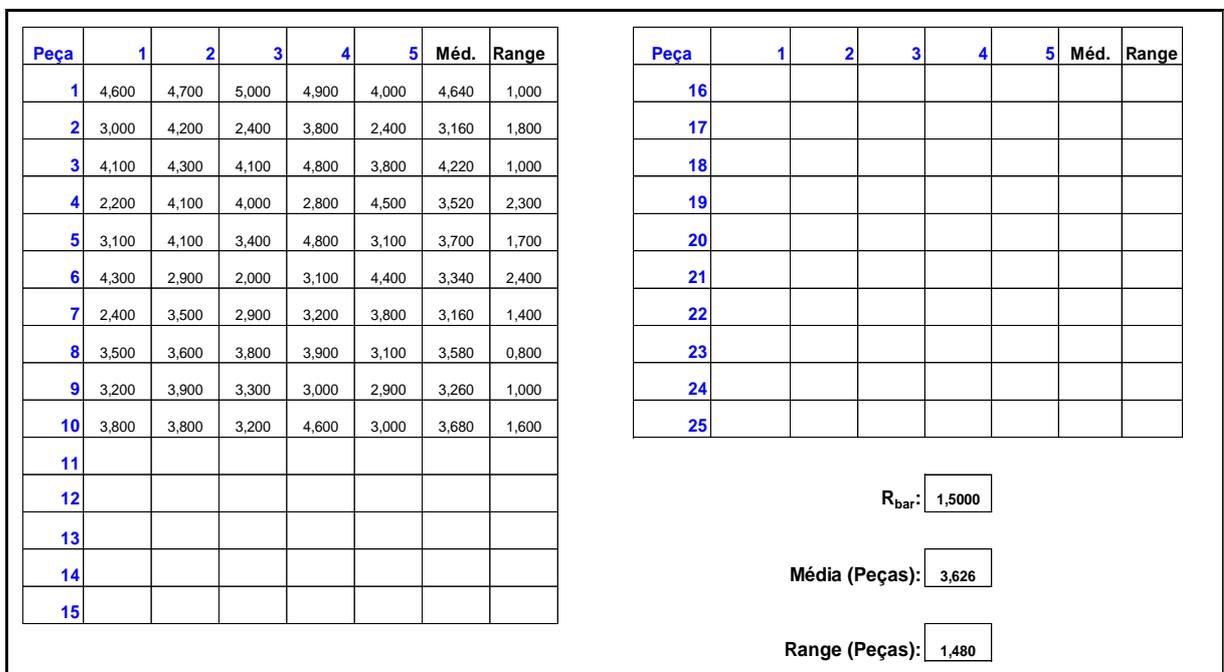


Figura 5.10 – Resultados do estudo: ângulo marcado pela MU#12 versus ângulo medido manualmente.

Com base na Figura 5.11 é possível verificar a inexistência de causas especiais na medição.

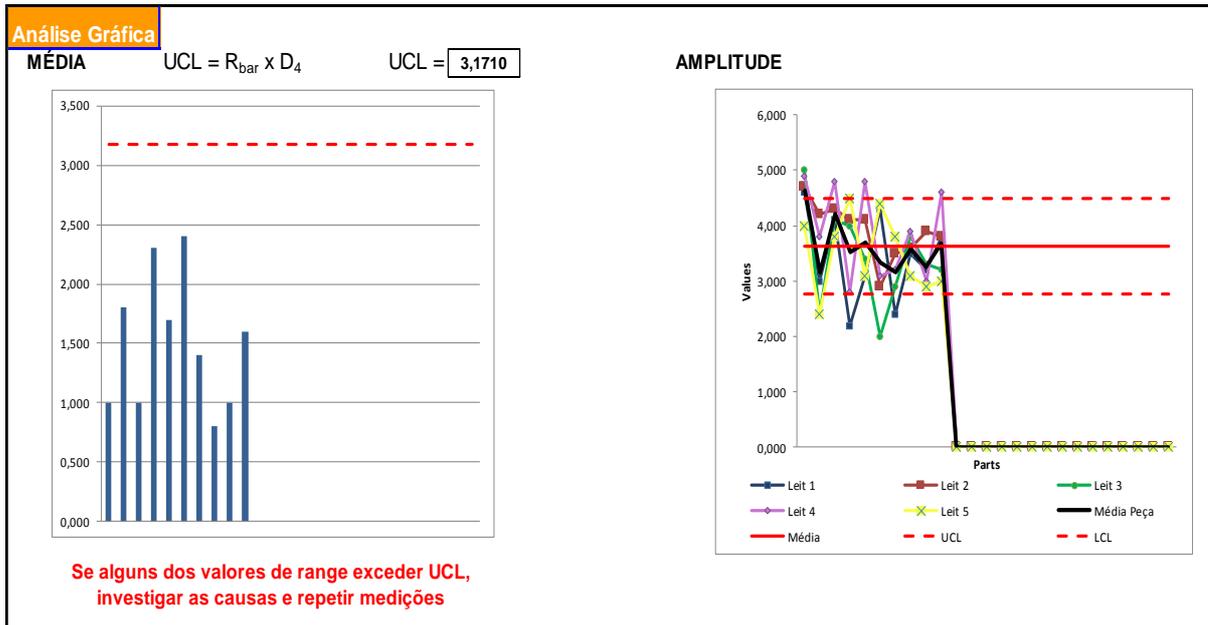


Figura 5.11 – Representação gráfica dos valores obtidos no estudo para cada pneu.

Perante isto, o resultado foi o presente na Figura 5.12 que significou a aprovação do equipamento.

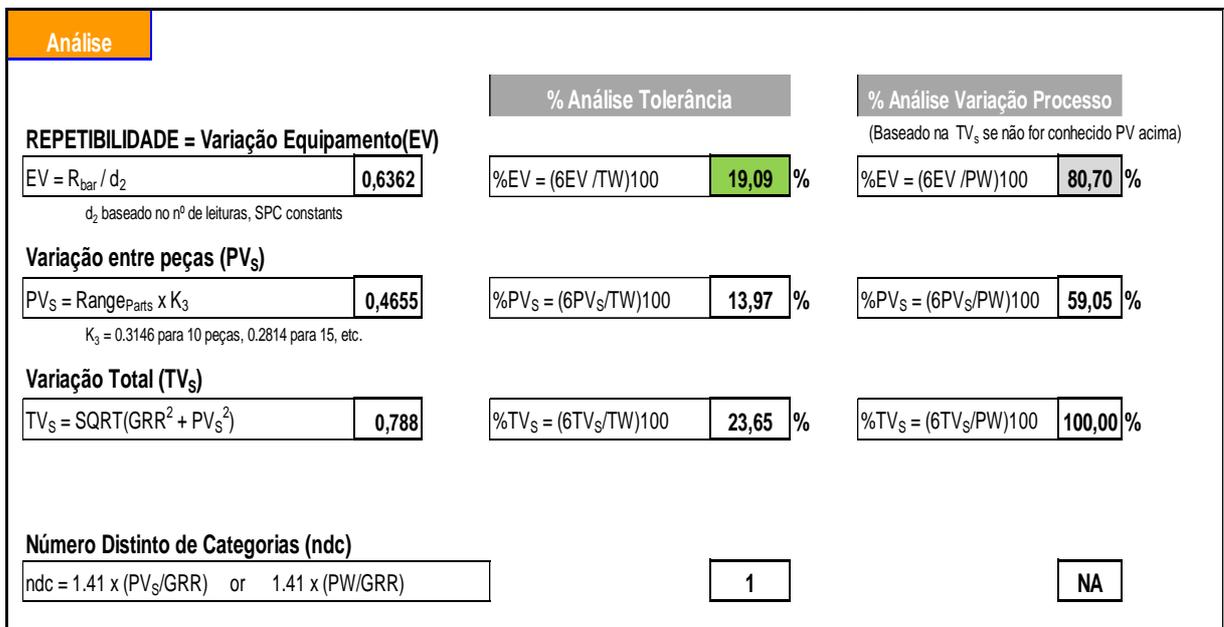


Figura 5.12 – Resultado do estudo.

A avaliação das máquinas de uniformidade com câmara tinha por objetivo a escolha do melhor sistema de imagem para a medição do ângulo e conseqüente marcação. Por isso, os testes tiveram como objetivo escolher a máquina que melhor se adaptava ao pretendido e assim a escolha recaiu sobre as câmaras das máquinas MU #11 e MU#12. Em termos comparativos, a MU#12 apresentou melhores resultados ao nível de Cg e Cgk e a MU#11 na repetibilidade.

Os valores de Cg e Cgk só avaliam as câmaras não mostrando a influência de outros fatores intervenientes como acontece no estudo da repetibilidade. Desta forma, a melhor escolha é a MU#11 visto ter apresentado melhores resultados como um sistema no seu todo.

Relativamente às máquinas com o *tire spotting*, inicialmente realizaram-se os testes nas máquinas MU#2 e MU#3.

Nestas máquinas, à semelhança das MU's com câmara, realizou-se um estudo de Cg e Cgk no entanto, devido ao seu modo de funcionamento ser diferente e aos conseqüentes resultados menos favoráveis concluiu-se que neste tipo de máquinas não é possível avaliar esses índices porque para cada ensaio o pneu tem que, obrigatoriamente, ser recolocado na jante e só posteriormente é feita a marcação o que faz com que haja uma variação nos valores, devidos ao alinhamento, que não são aceites neste tipo de estudo por conter parâmetros mais apertados (

Figura 5.13).

	Análise de Sistemas de Medição Estudo de C_g/C_{gk} - Tipo 1 (Tendência e Repetibilidade)	Área de Aplicação: <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">Uniformidade</div>																																																																																																																
Fábrica: Lousado																																																																																																																		
Aquisição de dados (Data Input in Yellow Fields)																																																																																																																		
Instrumento de Medição Sistema de Medição: Nº Identificação: MU#2 Amplitude de Medição: Resolução: 	Padrão de Medição Descrição: Nº Identificação: Valor de Referência: 172,000	Data: 02-04-2015 Característica: Ângulo Unidade de medida: Graus Obs: 																																																																																																																
Intervalo de Tolerância (TW): 20,00 <small>(exemplo, se a tolerância for ± 5, TW = 10)</small>	Intervalo de Processo (PV): (se conhecido) <small>(PV = 6 x Desv. padrão)</small>																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Repet.</th><th>Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>171,100</td></tr><tr><td>2</td><td>182,300</td></tr><tr><td>3</td><td>173,800</td></tr><tr><td>4</td><td>170,400</td></tr><tr><td>5</td><td>170,300</td></tr><tr><td>6</td><td>172,800</td></tr><tr><td>7</td><td>171,600</td></tr><tr><td>8</td><td>170,800</td></tr><tr><td>9</td><td>171,700</td></tr><tr><td>10</td><td>174,100</td></tr> </tbody> </table>	Repet.	Valor	1	171,100	2	182,300	3	173,800	4	170,400	5	170,300	6	172,800	7	171,600	8	170,800	9	171,700	10	174,100	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Repet.</th><th>Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>11</td><td>174,300</td></tr><tr><td>12</td><td>170,800</td></tr><tr><td>13</td><td>175,200</td></tr><tr><td>14</td><td>172,300</td></tr><tr><td>15</td><td>172,300</td></tr><tr><td>16</td><td>175,000</td></tr><tr><td>17</td><td>170,000</td></tr><tr><td>18</td><td>177,600</td></tr><tr><td>19</td><td>175,000</td></tr><tr><td>20</td><td>170,500</td></tr> </tbody> </table>	Repet.	Valor	11	174,300	12	170,800	13	175,200	14	172,300	15	172,300	16	175,000	17	170,000	18	177,600	19	175,000	20	170,500	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Repet.</th><th>Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>21</td><td>169,700</td></tr><tr><td>22</td><td>173,500</td></tr><tr><td>23</td><td>174,700</td></tr><tr><td>24</td><td>171,300</td></tr><tr><td>25</td><td>174,700</td></tr><tr><td>26</td><td>173,200</td></tr><tr><td>27</td><td>181,500</td></tr><tr><td>28</td><td>170,000</td></tr><tr><td>29</td><td>175,100</td></tr><tr><td>30</td><td>176,300</td></tr> </tbody> </table>	Repet.	Valor	21	169,700	22	173,500	23	174,700	24	171,300	25	174,700	26	173,200	27	181,500	28	170,000	29	175,100	30	176,300	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Repet.</th><th>Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>31</td><td>171,300</td></tr><tr><td>32</td><td>170,700</td></tr><tr><td>33</td><td>174,900</td></tr><tr><td>34</td><td>174,200</td></tr><tr><td>35</td><td>172,900</td></tr><tr><td>36</td><td>171,000</td></tr><tr><td>37</td><td>171,700</td></tr><tr><td>38</td><td>171,400</td></tr><tr><td>39</td><td>169,000</td></tr><tr><td>40</td><td>169,700</td></tr> </tbody> </table>	Repet.	Valor	31	171,300	32	170,700	33	174,900	34	174,200	35	172,900	36	171,000	37	171,700	38	171,400	39	169,000	40	169,700	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Repet.</th><th>Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>41</td><td>171,100</td></tr><tr><td>42</td><td>171,400</td></tr><tr><td>43</td><td>169,700</td></tr><tr><td>44</td><td>171,000</td></tr><tr><td>45</td><td>172,200</td></tr><tr><td>46</td><td>171,700</td></tr><tr><td>47</td><td>170,900</td></tr><tr><td>48</td><td>171,500</td></tr><tr><td>49</td><td>175,400</td></tr><tr><td>50</td><td>173,000</td></tr> </tbody> </table>	Repet.	Valor	41	171,100	42	171,400	43	169,700	44	171,000	45	172,200	46	171,700	47	170,900	48	171,500	49	175,400	50	173,000
Repet.	Valor																																																																																																																	
1	171,100																																																																																																																	
2	182,300																																																																																																																	
3	173,800																																																																																																																	
4	170,400																																																																																																																	
5	170,300																																																																																																																	
6	172,800																																																																																																																	
7	171,600																																																																																																																	
8	170,800																																																																																																																	
9	171,700																																																																																																																	
10	174,100																																																																																																																	
Repet.	Valor																																																																																																																	
11	174,300																																																																																																																	
12	170,800																																																																																																																	
13	175,200																																																																																																																	
14	172,300																																																																																																																	
15	172,300																																																																																																																	
16	175,000																																																																																																																	
17	170,000																																																																																																																	
18	177,600																																																																																																																	
19	175,000																																																																																																																	
20	170,500																																																																																																																	
Repet.	Valor																																																																																																																	
21	169,700																																																																																																																	
22	173,500																																																																																																																	
23	174,700																																																																																																																	
24	171,300																																																																																																																	
25	174,700																																																																																																																	
26	173,200																																																																																																																	
27	181,500																																																																																																																	
28	170,000																																																																																																																	
29	175,100																																																																																																																	
30	176,300																																																																																																																	
Repet.	Valor																																																																																																																	
31	171,300																																																																																																																	
32	170,700																																																																																																																	
33	174,900																																																																																																																	
34	174,200																																																																																																																	
35	172,900																																																																																																																	
36	171,000																																																																																																																	
37	171,700																																																																																																																	
38	171,400																																																																																																																	
39	169,000																																																																																																																	
40	169,700																																																																																																																	
Repet.	Valor																																																																																																																	
41	171,100																																																																																																																	
42	171,400																																																																																																																	
43	169,700																																																																																																																	
44	171,000																																																																																																																	
45	172,200																																																																																																																	
46	171,700																																																																																																																	
47	170,900																																																																																																																	
48	171,500																																																																																																																	
49	175,400																																																																																																																	
50	173,000																																																																																																																	
Análise																																																																																																																		
Valor Ref ^a , X _m : 172,000	Valor Máximo: 182,300	Média, X _g : 172,732	Tendência: 0,732 <small>(Bi = X_g - X_m)</small>																																																																																																															
Valor Refer ^a Superior: 174,000 <small>(X_m + (0.1 x TW))</small>	Valor Mínimo: 169,000	Desvio Padrão, S _g : 2,742	Limite variação Sup: 180,957 <small>(X_g + (3 x S_g))</small>																																																																																																															
Valor Refer ^a Inferior: 170,000 <small>(X_m - (0.1 x TW))</small>	Range, R: 13,300		Limite variação Inf: 164,507 <small>(X_g - (3 x S_g))</small>																																																																																																															
Índice de Capacidade Índice, C _g (Repetibilidade) $C_g = (0.2 \times TW) / (6 \times S_g)$ 0,24		Índice Capacidade, C _{gk} (Tendência e Repetibilidade) $C_{gk} = ((0.1 \times TW) - B_i) / (3 \times S_g)$ 0,15																																																																																																																
Tolerância Mínima, T _{Cg} <small>(Baseada na Repetibilidade do equipamento)</small> $T_{Cg} = (6 \times S_g) / 0.2$ 82,25		Intervalo de Tolerância Mínimo para Aceitação/Aprovação do Equipamento de Medição <small>(Baseado no Máximo de T_{Cg} e T_{Res})</small> 82,25																																																																																																																
Tolerância Mínima, T _{Res} <small>(Baseada na Resolução do equipamento)</small> $T_{Res} = \text{Resolução} / 0.1$ 0																																																																																																																		
Resultados																																																																																																																		
Critério de aceitação: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th>C_g, C_{gk}</th><th></th></tr> <tr><td>≥ 1.33</td><td>Aceitável</td></tr> <tr><td>1.0 - 1.33</td><td>Marginalmente Aceitável</td></tr> <tr><td>< 1.0</td><td>Inaceitável / Necessita melhoria</td></tr> </table>		C _g , C _{gk}		≥ 1.33	Aceitável	1.0 - 1.33	Marginalmente Aceitável	< 1.0	Inaceitável / Necessita melhoria	Sistema de Medição Aceitável? SIM X NÃO																																																																																																								
C _g , C _{gk}																																																																																																																		
≥ 1.33	Aceitável																																																																																																																	
1.0 - 1.33	Marginalmente Aceitável																																																																																																																	
< 1.0	Inaceitável / Necessita melhoria																																																																																																																	
		Ações: 																																																																																																																
		Metrologia: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">J. Martins</td> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 40%; text-align: center;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Nome</td> <td style="text-align: center;">Data</td> <td style="text-align: center;">Assinatura</td> </tr> </table>		J. Martins			Nome	Data	Assinatura																																																																																																									
J. Martins																																																																																																																		
Nome	Data	Assinatura																																																																																																																

Figura 5.13 – Estudo C_g e C_{gk} para a MU#2.

Perante isto, e apesar desta limitação, realizaram-se os estudos de repetibilidade, cujo intuito era avaliar a marcação da máquina: valores registados no sistema *versus* medição manual. Para isso selecionaram-se dez pneus e realizaram-se passagens na máquina cinco vezes cada um.

Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Resultado do estudo nas MU's #2 e #3.

MU	R&R
2	59.67%
3	228,77%

Os resultados foram muito maus quanto à capacidade de marcação do sistema (C_g e $C_{gk} < 1.33$). Como a falha foi recorrente nos dois casos e tendo em conta os valores obtidos pela diferença entre a medição manual do ângulo de marcação e o valor dado pela máquina foi necessário perceber o motivo do erro.

A variação dos valores medidos em alguns pneus presentes na amostra selecionada poderiam estar relacionados com o facto de os pneus em causa apresentarem um *high point* muito baixo e como o sistema não apresenta uma sensibilidade muito elevada, a medição desta variável poderia não ser sempre constante o que faz com que a medição não seja muito fiável.

Portanto, analisaram-se os resultados dos testes de uniformidade obtidos e compararam-se os resultados com os valores utilizados para o estudo R&R (diferença entre o valor medido manualmente e o valor fornecido pela máquina) de forma a verificar se realmente o valor do *high point* afetava diretamente a marcação.

Usando como exemplo os valores adquiridos na MU#2, através da Tabela 5.4 é possível visualizar os valores do range para cada pneu e a média, de forma a comparar com um valor aproximado da força radial do primeiro harmónico (RFH1).

Tabela 5.4 – Comparação dos valores do range para cada pneu com o valor do RFH1.

Pneu	Range	RFH1 (média)
1	4,40	5,56
2	5,10	2,6
3	7,00	3,3
4	3,70	4,64
5	7,10	4,5
6	4,50	3,58
7	6,30	4,58
8	4,70	1,62
9	1,10	5,14
10	3,00	3,9

Após a análise constatou-se que não havia nenhuma relação direta entre as duas variáveis pois em alguns pneus com baixo *high point* (supondo que seja inferior a 5) o valor da diferença era aceitável e noutros não, tal como acontecia nos pneus com *hp* alto (supondo que seja superior a 5).

Contudo, apesar de não existir relação direta entre estes fatores, e de forma a apresentar uma amostra mais coerente, os ensaios realizados posteriormente contaram com uma seleção mais apropriada de pneus para teste, ou seja, os ensaios realizados nas máquinas restantes contaram com uma nova amostra de pneus cujo valor de *high point* é conhecido e superior ao dos pneus utilizados nos testes das MU #2 e #3.

Na MU#19 realizaram-se estes estudos no entanto, foram encontradas algumas dificuldades na realização dos testes. Inicialmente, o marcador não funcionava o que não permitia a medição do ângulo, porque sem a marcação da pinta não era possível ver o local onde a máquina tinha feito a marcação. Resolvido o problema e de forma a verificar o funcionamento da máquina fez-se a passagem de apenas 3 pneus e compararam-se os valores medidos com os fornecidos pelo sistema como se vê na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Valores obtidos nas medições efetuadas na MU#19.

Pneu		1	2	3	4	5	Range
1	Manual	205	224	212	171,5	182	
	MU	217,4	228,4	220,6	257	246,3	
	Manual – MU	12,4	4,4	8,6	85,5	64,3	81,1
2	Manual	88	101	117	171	131,5	
	MU	312,2	291,6	279,7	305,1	284,5	
	Manual – MU	224,2	190,6	162,7	134,1	153	90,1
3	Manual	296	299	282	280,5	281	
	MU	133,9	130,9	150,6	143,4	146,3	
	Manual – MU	-162,1	-168,1	-131,4	-137,1	-134,7	-36,7

Tal como se pode verificar pelos valores presentes na tabela anterior estes apresentam-se muito dispersos e aparentemente sem relação entre eles. Os 3 pneus colocados em teste são os presentes nas Figuras: Figura 5.14, Figura 5.15 e Figura 5.16.



Figura 5.14 – Pneu nº1 marcado na MU#19.



Figura 5.15 – Pneu nº2 marcado na MU#19.



Figura 5.16 – Pneu nº3 marcado na MU#19.

A MU#19 enviava os valores para serem marcadas as pintas no entanto, o marcador realizava a marcação em locais bastante diferentes. O problema pode estar relacionado com o alinhamento da máquina, do marcador ou até mesmo com a leitura do valor do *high point*. Perante isto, o departamento de engenharia ficou encarregue de ajustar a máquina e até ao final do estágio não houve nenhuma conclusão relativa ao problema desta máquina. Como o funcionamento desta era semelhante ao das MU #18 e #20 não foi possível realizar mais ensaios até ser detetado o problema.

Ou seja, de uma maneira geral podemos observar os resultados do estudo na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Resumo dos resultados da avaliação das MU.

Máquina	Tipo de Estudo	Resultados	
		R&R	Sistema aceitável?
MU#2	R&R – Tipo 3	59.67%	Não
MU#3	R&R – Tipo 3	228,77%	Não
MU#9	R&R – Tipo 3	50.89%	Não
MU#11	R&R – Tipo 3	12.85%	Sim
MU#12	R&R – Tipo 3	19.09%	Sim
MU#18	R&R – Tipo 3	-	-
MU#19	R&R – Tipo 3	-	-
MU#20	R&R – Tipo 3	-	-

No Anexo L podem ser consultadas as folhas completas em excel com os estudos realizados nas diferentes máquinas de uniformidade.

5.3 Avaliação da Máquina CMS

A validação do equipamento de marcação da máquina de marcação central (CMS), passou por várias etapas. Inicialmente foi necessário verificar a capacidade das câmaras de imagem para medição do ângulo de marcação e do raio do pneu. Como o sistema tem duas câmaras (inferior e superior) realizou-se o estudo para as duas câmaras.

Os resultados podem ser consultados nas tabelas: Tabela 5.7 e Tabela 5.8.

Tabela 5.7 – Valores de Cg e Cgk para a medição do valor do ângulo e raio da câmara superior.

Câmara Superior	Cg e Cgk > 1.33	
Ângulo	15.18	10.07
Raio	10.65	1.86

Tabela 5.8 – Valores de Cg e Cgk para a medição do valor do ângulo e raio da câmara inferior.

Câmara Inferior	Cg e Cgk>1.33	
Ângulo	9.69	1.39
Raio	9.88	5.95

Os índices Cg e Cgk deveriam ter valores superiores a 1.33 para as câmaras serem consideradas capazes.

Após aprovação quanto aos índices de Cg e Cgk, o sistema pode ser avaliado quanto à repetibilidade e número distinto de categorias (ndc) de forma a corroborar a informação anterior e validar o sistema para medição das características (ângulo e raio). O resultado dessas variáveis está presente na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Valores de repetibilidade e ndc para a medição do valor do ângulo e raio.

Estudo Repetibilidade	R&R	ndc
Ângulo	1.41%	3365
Raio	6.49%	101

Avaliados os parâmetros necessários para validar os instrumentos constituintes do sistema de medição do ângulo foi necessário verificar se o sistema realizava corretamente as marcações e se as conseguia identificar caso estivessem corretas ou não. Para isso, e como a característica a medir é do tipo marcação correta/não correta, o estudo mais indicado para a avaliação é o estudo R&R por atributos.

Para este estudo foi selecionada uma amostra de 50 pneus (cada pneu foi colocado na máquina 3 vezes) onde cada conjunto de pneus apresentava uma característica diferente na marcação de forma a serem avaliados os parâmetros pretendidos: cor; marcação (presente ou ausente); tipo (*Red dot* ou *donut*, *White dot* ou *donut*,...); tamanho (10 ou 14); dupla marcação (lados opostos ou marcações sobrepostas); falhas; marcação lado errado (*top* ou *bottom*); inkjet (marcação proveniente das MU).

Na Tabela 5.10 estão apresentados os resultados dos pneus avaliados de acordo com as características da marcação.

Tabela 5.10 – Estudo por atributos: Resultados individuais.

Grupo	Descrição	Exemplo	Critério	Resultado
Tamanho	DOT 14 mm versus DOT 10 mm		Tamanho (+/- 3 mm) e tipo de marcação (10/14 mm)	OK
Cor	Deteção da cor correta		Especificação do cliente	OK
Tipo de Marcação	Distinção entre marcas (p.ex.: dot ou donut)		Especificação do cliente	OK
LTA incompleto	Marcas parcialmente removidas		Tamanho (+/- 3mm)	NOK -Marcas parcialmente removidas não são rejeitadas
Dupla Marcação	Pneu marcado duas vezes pelo CMS (dot, donut, N or P)		Tamanho (+/- 3mm) Especificação do cliente	NOK – Se o N ou o P forem marcados muito próximos o sistema considera a marcação OK.
Inexistência de Marcas	Pneus sem marcação		Especificação do cliente	OK
Marca no outro lado	Pneu com marcação do lado errado		Especificação do cliente	OK
Marcação Correta	Aceitação de pneus bons		Especificação do cliente	Over rejeition

Devido às falhas na detecção de marcações incompletas (não aceites visualmente), realizaram-se passagens de pneus com esta característica para verificar a coerência do sistema em aprovar estas marcações e o resultado é o presente na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Outras marcas não incluídas na avaliação global: imperfeições no LTA.

Grupo	Descrição	Exemplo	Critério	Resultado
Imperfeições no DOT	DOT com riscas (inaceitável visualmente)		Marcas com imperfeições interiores não estão especificadas	Marcas com imperfeições interiores são consideradas OK.

Foi também avaliado à parte da avaliação global, a detecção das marcações provenientes das MU, verificando-se que o sistema falhou na detecção das marcações, dando o pneu como OK. Ou seja, a máquina apenas identifica as suas próprias marcações. O resultado está presente na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Outras marcas não incluídas na avaliação global: marcação não realizada no CMS.

Grupo	Descrição	Exemplo	Critério	Resultado
Marcas Inkjet	Marcas Inkjet feitas na máquina de Uniformidade		Marcas não conformes	Estação de detecção não identifica marcas não conformes
BCD/Tread griding markings	Marcas Inkjet feitas na máquina de Uniformidade		Marcas não conformes	Estação de detecção não identifica marcas não conformes
Pneu com marca LTA (num lado) e marca inkjet (MU) de outro lado	Pneu com dupla marcação		Marcas não conformes	Estação de detecção não identifica marcas não conformes

Relativamente aos resultados estatísticos retirados do estudo estes encontram-se apresentados na Tabela 5.13. Nesta tabela estão presentes as percentagens de eficácia (capacidade de avaliar corretamente uma marcação), classificação errada (atribuir valor OK a uma marcação NOK) e falsos alarmes (atribuir valor NOK a uma marcação OK).

Tabela 5.13 – Resultados do estudo do tipo R&R por atributos.

Análise por atributos	Eficácia	Classificação Errada	Falso Alarme
Deteção de marcações	78%	17.5%	11.1%
Marcações inkjet	0%	0%	100.0%
Falhas nas marcações	17%	72%	0%

De acordo com os parâmetros estabelecidos pelo MSA os resultados obtidos não foram satisfatórios e com base nos parâmetros avaliados foi possível perceber que a maior falha do sistema estava em rejeitar as marcações defeituosas como as que se podem ver na Figura 5.17



Figura 5.17 – Exemplos de marcações com falhas não detetadas pelo sistema.

A explicação para este tipo de falha do sistema prende-se com a forma como esta característica é avaliada. O sistema traça uma reta de acordo com o diâmetro da pinta: se esta corresponder ao valor atribuído para o diâmetro o sistema diz que a marcação está OK, caso contrário diz que está não OK. Este método é falível pois a reta traçada pode não atingir a zona de falha, fazendo com que o sistema admita, erradamente, que a marcação está completa.

Face aos resultados obtidos, e à consequente não aprovação da máquina de marcação central, foi necessário realizar ajustes no sistema.

Identificada a característica que deu um maior número de classificações erradas foi necessário corrigi-la e para isso acrescentou-se ao sistema um novo parâmetro: fator de preenchimento (*fill factor*).

A diferença em relação ao parâmetro anterior está no facto de que, pelo fator de preenchimento o algoritmo produzido faz a contagem de linhas de preenchimento da bola dando à saída um valor que varia de 0 a 100% de preenchimento. Contrariamente ao método anterior, que traçava uma única reta em determinada direção (que podia não abranger a zona em que a marca tinha falha) e calculava o seu diâmetro, este novo algoritmo permite detetar mais facilmente defeitos nas pintas. O parâmetro de aprovação de uma “boa” marcação foi estabelecido em $> 90\%$ de preenchimento.

Depois da alteração do algoritmo acima mencionado, realizou-se um estudo de Cg e Cgk para avaliar a performance do sistema relativamente ao novo parâmetro de avaliação, os resultados encontram-se na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 – Estudo de Cg e Cgk para a medição do preenchimento da marcação.

Parâmetro	Cg e Cgk	
Área	8.23	8.11

Após um resultado satisfatório no estudo anterior (Cg e Cgk com valor superior a 1.33), realizou-se novamente o estudo por atributos, acrescentando o novo parâmetro de avaliação. Os resultados podem ser consultados na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Resultados do estudo do tipo R&R por atributos na segunda avaliação do sistema.

Análise por atributos	Eficácia	Classificação Errada	Falso Alarme
Deteção de marcações	92%	0%	17.6%
Falhas nas marcações	87.5%	0%	9.5%

Os falsos alarmes são pneus com marcação correta mas que são rejeitados pelo sistema. Ora, para utilização real não existe gravidade neste resultado ($\approx 18\%$) visto que os pneus estão bem marcados. Para a aprovação do equipamento não foi tido em conta este parâmetro porque os motivos dos falsos alarmes foram as marcações sobrepostas que visualmente são aceites e alguns pneus com *donut* vermelho o que pode estar relacionado com pequenos ajustes de luminosidade ou reflexos mas como não são graves não são levados em consideração. Perante isto, a máquina CMS foi aprovada e está apta a realizar a marcação de pneus.

No Anexo M estão as fotografias dos pneus utilizados no estudo por atributos.

Capítulo 6

Conclusões

Neste capítulo são apresentados os principais resultados e conclusões que podem ser retirados do desenvolvimento e realização deste trabalho. São ainda feitas algumas sugestões e propostas a serem desenvolvidas como trabalho futuro.

6.1 Considerações finais

No trabalho desenvolvido revelou-se de importância fundamental o conhecimento dos métodos de análise de um Sistema de Medição. As ferramentas da análise de um Sistema de Medição permitiram ter um melhor conhecimento do processo bem como a forma como pode influenciar a performance de determinado equipamento. Um instrumento pode ser a melhor da sua gama e, devido à sua inadequação ao processo, não ser suficiente ou capaz de desempenhar corretamente o seu papel. Por isso é de extrema importância antes de adquirir qualquer tipo de equipamento realizar os testes devidos para verificar a sua conformidade com a tarefa que vai realizar, tendo em conta temperaturas, humidades, operadores e variações gerais decorrentes do processo.

Uma das dificuldades da metrologia deve-se à especificidade de cada indústria. Existem certos tipos de equipamentos que são demasiado específicos e desempenham papéis importantes no processo de fabrico necessitando de calibrações periódicas e para esses casos é necessário encontrar o melhor método de calibração (p.exemplo: bulges máquinas de uniformidade, que servem para detetar saliências e depressões na parede interna do pneu, é necessário aplicar a um comparador uma roldana e colocar no bulge e à medida que este roda permite verificar as diferenças de altura, ou seja, diferenças acentuadas no perímetro do bulge e se este está apto (dentro das tolerâncias) a ser utilizado no pneu).

Durante o estágio realizaram-se calibrações em sondas de temperatura, manómetros, transdutores, comparadores, paquímetros, sensores de pH, células de carga, durómetros, fitas métricas, escalas, sensores de medição de espessuras, balanças (estáticas e dinâmicas) e um esfigmomanómetro

(localizado na enfermaria). Foram também realizados estudos por atributos aos operadores na inspeção visual de pneus.

Alguns dos procedimentos existentes foram adaptados devido à aquisição de novos sistemas de medição, como aconteceu no procedimento dos perfilômetros em que foi adicionado o método de calibração do perfilômetro a laser.

Toda a gestão de EMM envolve um conhecimento prévio das normas por isso, de forma a compreender todo o sistema já implementado no laboratório foi necessário obter determinados conhecimentos ao nível de normas e métodos de organização de trabalho. Todo o ciclo de vida de um EMM deve ser acompanhado desde o momento da sua entrada na fábrica até à sua saída como equipamento para sucata: o local em que está a ser utilizado, data de entrada ao serviço, a gama da medição, o operador (no caso das escalas e fitas métricas devido a estas serem instrumentos pessoais), tudo isto deve ser do conhecimento da metrologia.

Relativamente aos estudos realizados quanto à marcação da uniformidade foi necessário compreender o funcionamento das máquinas em questão de forma a avaliar corretamente as variações presentes nos resultados.

Nos estudos realizados, e de forma a comparar o valor medido pela máquina com o valor medido manualmente, recorreu-se ao cálculo do valor da diferença entre estes, que deveria ser constante, ou seja, para um mesmo pneu a diferença entre o valor marcado na MU e o valor medido pelo transferidor deveria ser o mesmo ou então com uma variação de $\pm 10^\circ$. Nos casos em que a variação era constante apenas foi necessário ajustar o valor de *offset*, noutros casos as variações deviam-se a causas especiais o que tornou mais difícil a correção do sistema. Por isso, não foi possível realizar o estudo em todas as máquinas inicialmente propostas, visto que no caso das máquinas com o *spotting* as variações não eram constantes e não foi possível fazer a sua correção a tempo da conclusão deste relatório.

O atraso nos testes efetuados nas máquinas também resultou da dependência que estes tinham da produção: a paragem das máquinas dependia da produção e das receitas diárias não sendo a maior parte das vezes possível realizar testes pois implicavam atrasos na produção do dia.

As máquinas MU apresentavam *softwares* diferentes em todas as máquinas, o que dificultava a obtenção das variáveis em estudo porque em cada máquina era diferente a forma como o valor do ângulo era obtido. Devido a isso, para cada caso, devia existir um conhecimento prévio do funcionamento da máquina antes de realizar qualquer tipo de teste.

Para a medição manual do valor do ângulo de marcação, recorreu-se ao uso de um transferidor que consistia num círculo transparente com a numeração a preto e no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio (ccw). Como o pneu apresenta cor preta, a leitura do ângulo era dificultada por este ter a mesma cor que a escala do transferidor e nos casos em que as máquinas realizavam a marcação no sentido dos ponteiros do relógio (cw), a leitura do ângulo podia apresentar vários erros de

leitura devido à dificuldade visual, uma vez que o transferidor era invertido. De forma a evitar os erros de medição que poderiam estar associados ao transferidor, este foi alterado e colocou-se uma numeração dupla (cw e ccw) a cor amarela apenas num lado do transferidor sendo que a escala foi colocada a cor branca e a zona dos 0° (ou 360°) foi sinalizada com uma tira a vermelho. Esta alteração facilitou todo o processo de medição manual do ângulo necessário nos estudos realizados.

Os resultados da avaliação das MU permitiram selecionar, no caso das câmaras de imagem, a máquina MU#9 como sendo a que apresentava melhor resolução, e também a que teve melhores resultados ao nível da repetibilidade.

O *spotting* é um sistema de marcação que pode ser viável no entanto necessita de muitas melhorias e principalmente um estudo mais aprofundado do seu funcionamento.

As câmaras de imagem são mais precisas na medição do ângulo, contudo são mais caras e necessitam de uma maior manutenção comparativamente ao *spotting* por isso, caso o sistema com o *spotting* consiga funcionar a 100% pode ser uma alternativa mais barata para implementar em todas as máquinas. De forma a manter o controlo de todas as máquinas deveriam ser realizados estudos R&R (tipo 2) periodicamente para assegurar que estas continuam a funcionar dentro dos parâmetros pretendidos. Essa periodicidade deveria ser uma vez por ano, por exemplo.

A implementação do sistema de marcação central (CMS) apresenta diversas vantagens em relação à marcação realizada nas MU como por exemplo o facto de ser mais visível, mais difícil de remover e o marcador, como é em *sticker*, não corre o risco de entupir facilmente como acontecia no caso das máquinas MU (a tinta do marcador secava se não fosse usado com muita regularidade, exigindo muita manutenção e gastos envolvidos).

Na avaliação do equipamento dos diferentes sistemas de marcação da uniformidade do pneu, foram implementadas as ferramentas de análise dos Sistemas de Medição baseados no manual MSA do setor automóvel como o estudo por atributos. Este tipo de estudos como requisitos da ISO/TS 16949 é mais aplicado noutros equipamentos da indústria automóvel tendo sido a sua aplicação nos sistemas de marcação da uniformidade do pneu uma novidade. Os estudos realizados nas restantes máquinas de uniformidade também eles baseados no MSA também permitiram a aquisição de novos conhecimentos e utilização de ferramentas não tão conhecidas e mencionadas durante o tempo académico.

Seria importante investir na uniformização dos *softwares* de todas as máquinas (MU) bem como o seu modo de funcionamento (diferenças na medição do ângulo de marcação em cada máquina).

De uma maneira geral, o estágio na CM correu de acordo com as minhas expectativas de integração bastante satisfatória num ambiente de fábrica e num laboratório acreditado. Permitiu consolidar conhecimentos prévios e também adquirir novos nomeadamente no que toca à gestão de

instrumentos, decisão e realização de estudos do MSA. A experiência adquirida no laboratório no que se refere às calibrações dos demais instrumentos também se tornou uma mais valia.

6.2 Trabalhos futuros

Quanto às câmaras de imagem, a que foi aprovada deveria ser implementada nas restantes máquinas de uniformidade e testá-la numa outra máquina de forma a verificar se existe correlação entre o sistema de marcação e as máquinas onde está instalado.

Deveriam-se utilizar outros métodos de avaliação de sistemas de imagem.

Embora o sistema por spotting não tenha sido aprovado, dados os maus resultados nos testes, constatando-se que é o sistema mais económico, seria importante, estudá-lo e aprimorá-lo.

Por outro lado, em vez de se utilizarem os dois sistemas de marcação (câmaras e spotting) deveria optar-se apenas por um deles.

Realizar mais estudos dos sistemas de marcação por MSA de forma a manter os sistemas controlados (ao nível da estabilidade e linearidade) bem como garantir o seu correto funcionamento.

Referências

1. Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. *MSA - Measurement System Analysis, Fourth Edition*. 2010.
2. Continental. *Documentação Interna*. 2015.
3. —. *Relatório de Contas*. 2013.
4. —. *Âmbito do Laboratório*. 2014.
5. Santos, Jorge Marques dos. O Sistema Português da Qualidade. [Online] Instituto Português da Qualidade - IPQ , Novembro de 2005.
http://www.letras.up.pt/dctp/documentos/flup_seminario_qualidade_jms_ipq_ok.pdf.
6. *Decreto-lei nº142/2007 de 27 de Abril*. Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. Lisboa : Diário da República nº82/2007 – 1ª Série., 2007.
7. Sousa, Carlos. *Cadernos Técnicos*. Porto : Catim, 2008.
8. Santos, Lucas de Oliveira. *Acreditação de laboratórios de ensaio de acordo com os requisitos da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025*. Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Química, 2011.
9. Ribeiro, José Luis Duarte e Caten, Carla Schwengberten. *Controle Estatístico do Processo*. Porto Alegre : FEENG/UFRGS - Fundação Empresa Escola de Engenharia da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.
10. Continental. *Metrologia-Conceitos Básicos e Procedimento Geral*. 2014.
11. Cercal, Alcione José, Zvirtes, Leandro e Cortivo, Nélvio Dal. *Sistemática para a Análise de Sistemas de Medição (MSA): Estudo aplicado a uma empresa fornecedora de produtos para a indústria automotiva*. Salvador, Brasil : enegep, 2009.
12. Significado (e-Learning). *Ferramentas da Qualidade*. s.l. : União Europeia: Fundo Social Europeu, Governo da República portuguesa; Ministério da Segurança Social e Trabalho.
13. LTDA, DAS Quality. *Capabilidade do Processo de Medição*. São Paulo, Brasil : s.n., 2009.
14. Oliveira, André Luiz Meira, et al. *Racionalização dos Estudos de Repetitividade e Reprodutibilidade para Sistemas de Inspeção por Atributos*. 2004.
15. University, Akron. *The Pneumatic Tire*. s.l. : NHTSA.
16. ASTECPLUS. *Operators Manual*. s.l. : Micro Poise Measurement Systems.

17. Oliveira, Adriano Monteiro de. *Pneus Automotivos: Análise Crítica dos Requisitos de Segurança e de Desempenho*. São Paulo : s.n., 2005.
18. Taheri, Saied. *Developing an Intelligent Tire Concept*. Virginia : Mechanical Engineering Department, 2009.
19. *Analysis of Variation in Non-Uniformity with Runout Temperature of Tyre using Taguchi Parametric Optimization Technique*. Gaurav Bhadauria, Ajay Bangar. India : International Journal of Engineering Research and Application, 2013, Vol. 3.
20. Taheri, Saied. *Developing an Intelligent Tire Concept*. s.l. : Mechanical Engineering Department, Virginia Tech.
21. Teledyne Dalsa. *Technical Specifications*. Waterloo, Canadá : s.n., 2013.
22. Sick - Sensor Intelligence. *Product Catalog*. 2015.
23. Datalogic Automation, Inc. *Datalogic M-Series: Processor and Camera Guide*. 2015.
24. KBA - Metronic GmbH. *hpd System moto*. 2014.
25. Ortiz, C. A. *Kaizen Assembly: Designing, Constructing, and Managing a Lean Assembly Line*. New York : CRC Press, 2006.
26. Committee, European co-operation for Accreditation Laboratory. *Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration*. Setembro de 2013 rev01.
27. Continental. *Cálculo de Incertezas de Calibração*. 2012.
28. —. *Circuito e Codificação de Equipamento*. 2014.
29. Qualidade, Instituto Português da. *Vocabulário Internacional de Metrologia - VIM*. 1ª Edição, 2012.
30. Instituto Português da Qualidade. *Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM)*. 2012.

ANEXO A

Padrões de Referência do Laboratório

Domínios	Amplitude	Padrão
Dimensional	450 mm 1500 mm 25 mm	Blocos Padrão Mitutoyo Barra Padrão Feindt Calib. Comparadores Mitutoyo
Pressão	-1 a 10 bar 0 a 50 bar 0 a 200 bar 0 a 350 bar	Padrão 10 bar Sika LabDMM " 50 bar Guissani LabDMM " 200bar SI Pc6 " 350bar AEP LabDMM
Temperatura	20 a 250°C 20 a 250°C 20 a 550°C	Calib. Temperatura Jofra SE 250 Sonda Pt100 Padrão Banho Lauda Calib. Temperatura Pulsar Calibrador de Sinais elétricos
Massa	1 mg a 2 kg 5 mg a 225 kg	Massas Padrão F1 Massas Padrão M1
Durezas	Shore A	Blocos Padrão de Dureza Mitutoyo
Condutividade	1400µS/cm	Soluções de referência WTW
Humidade	33 a 77% HR	Soluções de referência
pH	0 a 7 pH	Soluções de pH Hanna
Força	0 a 10 kN	Célula de carga HBM U2B

No caso de padrões, ou equipamentos, calibrados por entidades externas, esses devem compreender os valores a baixo impostos.

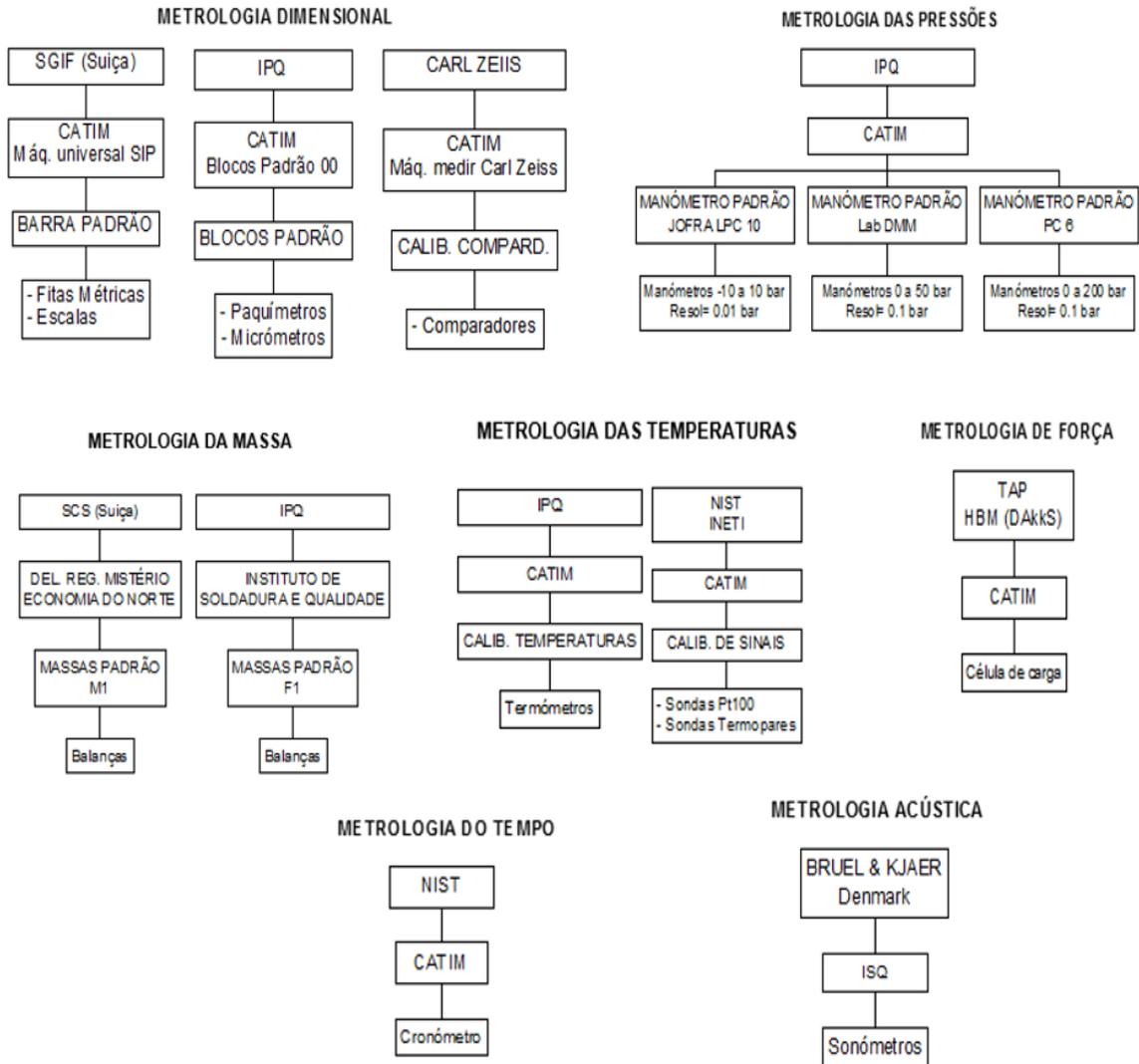
PADRÕES	CLASSE/GRAU	NORMA	ERRO MAX. ADMISSIVEL
Temperatura			± 0.2°C
Pressão			± 0.2%
Massas			
- Conjunto de 1mg a 2 kg	F1	NP 2937	
- Massas de 5,10 e 20 kg			± 2 g
Blocos Padrão	até Grau 1	DIN 861-1	
Barra Padrão			± 0.1 mm
Calibrador de comparadores			± 0.007 mm
Calibrador de sinais: CC			± 0.1 mA
RTD			± 0.2 Ω
Forças			0.5%
Cronômetro			0.5 s

EQUIPAMENTO	ERRO MÁXIMO ADMISSÍVEL
Reômetros	Grau 2
Tensômetros	Grau 0.5
Viscosímetro Mooney	± 2.0 MU
Densitron	± 0.04 SG
Peneiros 0.045 mm	± 0.003 mm (ASTM E-11)
0.063 mm	± 0.004 mm (ASTM E-11)
0.125 mm	± 0.007 mm (ASTM E-11)

Se os erros indicados no certificado de calibração ultrapassarem os EMA, no caso dos padrões, utilizar o fator de correção relativo ao erro verificado no ponto de calibração. Nos restantes casos, os equipamentos têm de ser substituídos ou ajustados pelo fabricante.

ANEXO B

Cadeias de Calibração



ANEXO C

Metodologia 5S

A implementação da metodologia dos 5S é realizada em cinco passos, cada um caracterizado por uma palavra japonesa começada pela letra S. As etapas consistem na eliminação (Seiri) dos materiais desnecessários ao posto de trabalho, organizar (Seiton) os materiais indispensáveis, limpar (Seiso) a área, normalizar (Seiketsu) e manter (Shitsuke) o local limpo e organizado (7):

- Eliminar (Seiri): o primeiro passo, ou seja, o primeiro “S” consiste em eliminar todos os materiais e ferramentas desnecessárias do espaço de trabalho. A acumulação de materiais desnecessários ao posto de trabalho pode ter várias causas. Duas delas são a inovação tecnológica e a introdução de novas características nos produtos. Isto pode levar à substituição de materiais antigos por novos materiais e a adição de novas ferramentas. Se ao proceder a estas alterações não se retirar os materiais e ferramentas que se vão tornando obsoletos ao longo do tempo, estes vão se acumulando no posto de trabalho levando à desorganização do mesmo.
- Organizar (Seiton): depois de identificados os materiais e ferramentas desnecessários, é preciso definir e arrumar os materiais, que são indispensáveis à realização das operações alocadas ao posto de trabalho, corretamente. Para isto, pode ser necessário recorrer a armários e sistemas adequados para arrumar os materiais e fazer com que estes estejam acessíveis quando necessários. Os locais definidos para colocar os materiais devem estar devidamente identificados, bem como os próprios materiais. Todos os materiais que se encontram no local de trabalho devem estar identificados.
- Limpar (Seiso): limpar e definir regras para manter a área de trabalho limpa. A limpeza do posto de trabalho, bem como das máquinas é importante porque ajuda a detetar problemas/avarias de forma mais fácil e rápida. Um local de trabalho limpo e organizado transmite a ideia de que naquele local se procura fabricar produtos com qualidade.
- Normalizar (Seiketsu): definir normas e padrões segundo os parâmetros definidos. Todos os materiais e ferramentas que foram identificados como necessários devem ter um local

apropriado e definido no posto de trabalho. Neste passo é importante dar formação aos operadores, para estes terem conhecimento de como é que deve estar o espaço de trabalho e em que locais é que devem colocar todos os materiais inerentes ao posto de trabalho. A normalização do posto de trabalho faz com que seja mais fácil para os operadores identificarem possíveis situações anómalas.

- Manter (Shitsuke): o passo mais difícil de concretizar é manter o posto de trabalho segundo os padrões e normas definidas. Neste ponto, torna-se necessário controlar e monitorizar se as regras estipuladas estão a ser cumpridas. Para isto, é necessário realizar auditorias periodicamente aos postos de trabalho para verificar se o posto de trabalho está de acordo com o normalizado.

A implementação dos 5S ajuda os operadores a identificarem a desordem no processo através da consciencialização que advém de terem um posto de trabalho organizado. A sua aplicação proporciona ao local de trabalho uma imagem de um ambiente limpo, prático e seguro.

Ao definir e identificar locais para todas as ferramentas do posto de trabalho, faz com que as ferramentas fiquem arrumadas e acessíveis para os operadores. Desta forma, os operadores já não necessitam de procurar as ferramentas, fazendo com que estes poupem tempo, que pode ser utilizado para realizar outras tarefas. Em suma, os 5S melhoram as condições de trabalho para os operadores, diminuem os riscos de acidentes de trabalho e a ocupação excessiva de materiais que são desnecessários.

ANEXO D

Certificação ISO/TS 16949

De uma maneira geral, a certificação ISO/TS 16949 significa:

- Redução no número de reconhecimentos que a organização tem que manter, permitindo a libertação de tempo e recursos para outras atividades ligadas à qualidade e oportunidades de melhoria que tragam mais-valias ao negócio;
- Redução no número de auditorias;
- Uma abordagem comum ao sistema da qualidade na cadeia de fornecimento, permitindo às organizações um trabalho conjunto mais eficaz;
- Uma linguagem comum, que implica uma melhoria na compreensão dos requisitos de qualidade, facilitando a implementação e manutenção do sistema da qualidade.

No entanto, para obter esta certificação é necessário cumprir alguns requisitos. Perante isto, ISO/TS 16949 apresenta algumas exigências como:

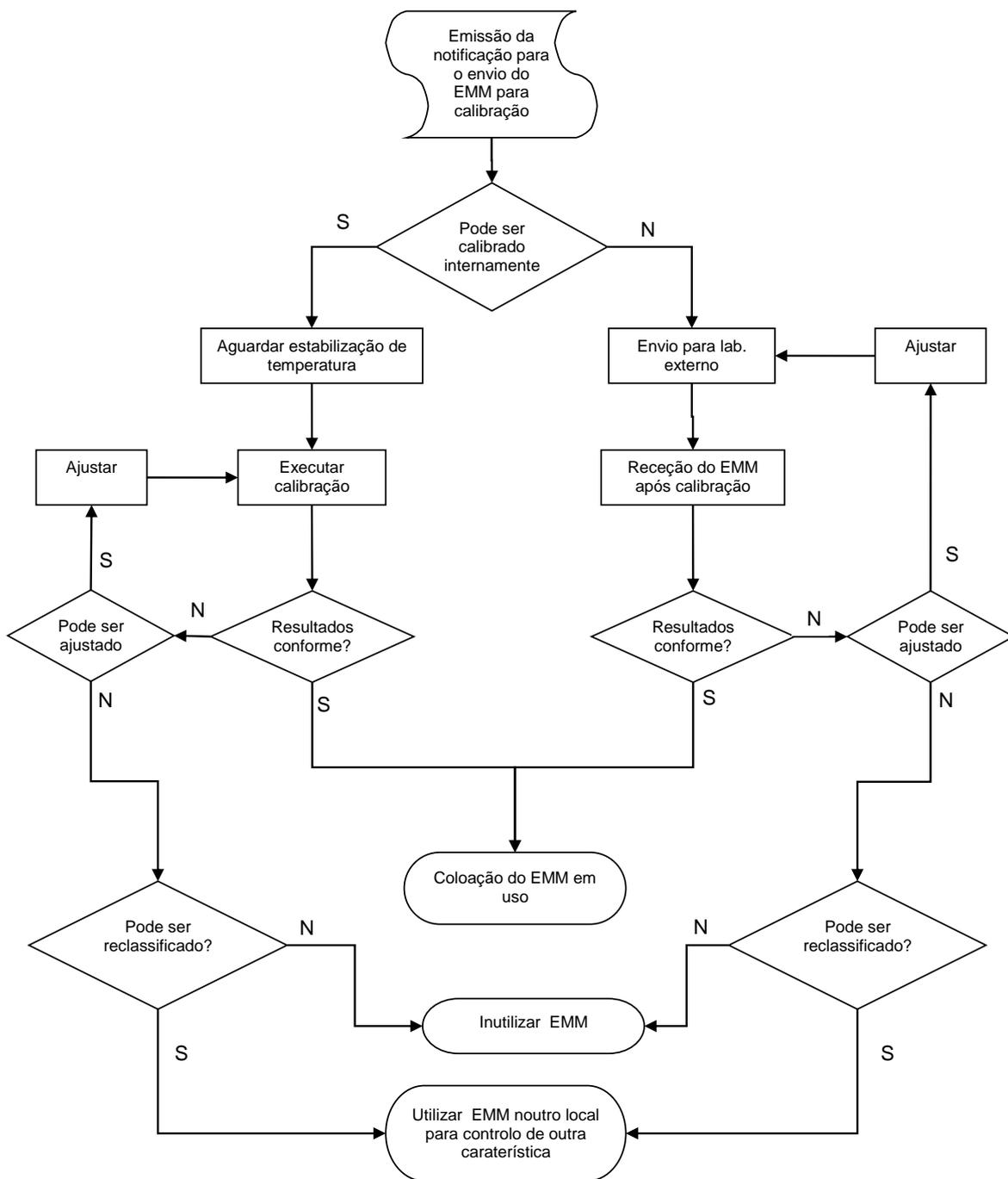
- A organização deve ter um processo para assegurar a revisão, distribuição e implementação das especificações técnicas dos clientes, e suas alterações;
- Deve existir um processo que assegure a revisão das especificações do cliente;
- A gestão de topo deve considerar a eficiência dos processos de realização do produto;
- A revisão pela gestão deve incluir o impacto das não conformidades sobre a Qualidade, Segurança e Ambiente bem como monitorizar os objetivos e custos da qualidade e promover a sua divulgação;
- A empresa deve dispor de uma metodologia para avaliar e monitorizar a eficácia da manipulação / fluxo de materiais, como análise de *layouts*;
- As atividades de fabrico/conceção e desenvolvimento devem ser desenvolvidas de forma a minimizar os riscos de segurança dos colaboradores;
- A organização deve manter as suas instalações num estado de limpeza adequado ao produto e às necessidades do processo de realização do produto;
- O output da conceção e desenvolvimento deve incluir a FMEA, as especificações do produto, análise de erros, etc.;
- A organização deve controlar o produto recebido dos fornecedores, utilizando técnicas estatísticas, inspeção de receção, auditorias da qualidade, análises laboratoriais, ou outro método;

- A organização deve ter recursos para desenhar, fabricar e verificar ferramentas de medição. Se estas atividades forem subcontratadas a organização deve dispor de um sistema de monitorização;
- A organização deve implementar um sistema de rotação de *stocks* como o FIFO. O estado do produto em *stock* deve ser periodicamente monitorizado;
- Devem ser realizados estudos estatísticos para analisar a variação associada a cada medição;

Deve existir um laboratório, com um âmbito definido, com capacidade para realizar a inspeção requerida no plano de controlo. Este laboratório deve ser incluído no SGQ.

ANEXO E

Circuito de Calibração



ANEXO F

Método de Schumacher

A condição dos equipamentos é indicada por letras como abaixo se verifica:

- C = $\leq 80\%$ da Tolerância
- F = Fora das Tolerâncias
- A = Avariado

Com base na condição de recebimento do equipamento nas duas ou três calibrações anteriores, determina-se, por meio da Tabela 1, qual a decisão a ser tomada. Esta decisão é indicada por letras, conforme abaixo indicado:

- E = Indica que o período deve ser aumentado.
- D = Indica que a período deve ser diminuído.
- M (Máxima Redução) = Indica a redução do período deve ser o máximo possível.
- P = Indica que permanece o mesmo ciclo.
- N (Novo) = Indica um novo ciclo.
-

Tabela F.1 – Condições de chegada dos equipamentos ao laboratório.

Condição			
Calibrações anteriores	Na chegada		
	A	F	C
CCC	P	D	E
FCC	P	D	P
ACC	P	D	E
CF	M	M	P
CA	M	M	P
FC	P	M	P
FF	M	M	P
FA	M	M	P
AC	P	D	P
AF	M	M	P
AA	M	M	P

Em função da decisão tomada da tabela acima e do período actual, deverá ser aplicado o novo período de acordo com a Tabela seguinte:

Tabela F.2 – Aplicação do método de Schumacher.

Intervalo actual (meses)	Intervalo recomendado		
	D-Diminuir	E-Estender	M-Máxima redução
4	2	6	*
6	4	8	3
8	6	10	4
10	8	12	6
12	10	16	8
14	12	18	10
16	14	20	12
18	16	24	14
20	18	26	16
22	20	28	18
24	22	30	18
30	24	36	26
36	30	-	30

ANEXO G

Certificado de Calibração



Page 1 of 1



Certificado de Calibração

Nº Refª : **MN11428**
Designação: **MANOMETRO DE PRESSÃO** Escala: **0 a 10 bar** Men. Div. **0.5 bar**
Marca : **WIKA** Classe: **2.5** Nº Série:
Localização: **BULGE MANUAL #2** Função: **Pressão de ensaio**

Instrumento calibrado de acordo com o método PLLO-M-QM-M-00-MT -0105-14, com Manómetro Padrão GIUSSANI DMM50, com Nº de refª CM0003 rastreável ao CATIM e com certificado nº LMP20125007890/10.

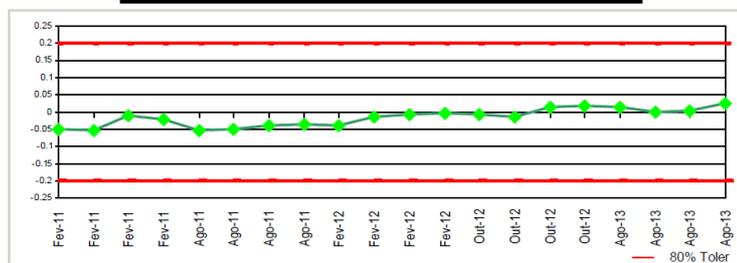
Data de Calibração : 27-08-2013
Condições de calibração: Temperatura: 20 °C Humidade rel.: 49 %

Unidades em bar

Leitura no instrumento	Leituras no Manómetro Padrão			Média	% Erro de Indicação	Toler. % Máx. Escala
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	± 2.5
5.0	4.995	4.987	4.973	4.985	0.2	± 2.5
8.0	7.990	8.002	8.005	7.999	0.0	± 2.5
8.0	7.992	8.002	7.998	7.997	0.0	± 2.5
5.0	4.977	4.976	4.975	4.976	0.2	± 2.5
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	± 2.5

Incerteza da calibração: ± 0.0601 bar

ESTADO DO INSTRUMENTO: OK



Avaliação da Estabilidade - Últimas 5 calibrações

A incerteza de medição expandida apresentada, está expressa pela incerteza de medição padrão, multiplicada pelo factor de expansão K= 2, calculado segundo uma distribuição t com 956 graus de liberdade para dar uma probabilidade expandida de aprox. 95%. A incerteza de medição padrão foi calculada de acordo com o documento EA-4/02

Próxima calibração: 8 / 2014

Data de emissão: 29-08-2013

Calibrado por:

M. GADELHO

Resp. Lab. Metrologia

J. MARTINS

ANEXO H

Cálculo de Incertezas

A avaliação da incerteza de calibração e a sua expressão no certificado de calibração deve seguir determinado procedimento (8):

1. Listar todas as fontes de incerteza associadas.
2. Calcular a variância s^2 de todas as fontes de incerteza.
3. Calcular o desvio padrão s das grandezas medidas.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- a. A variância do desvio-padrão experimental é obtida:

$$s^2 = \frac{1}{n} s^2$$

Sendo n o nº de observações efectuadas nas mesmas condições.

- b. Para cálculo da variância da incerteza indicada nos certificados de calibração (padrões), utiliza-se a seguinte fórmula:

$$s^2 = \left(\frac{U}{k}\right)^2$$

Em que U é a incerteza e k é o factor de expansão indicados no certificado.

- c. Se numa dada grandeza forem apenas conhecidos os limites de erro (exemplo: limites de erro dados por um fabricante de um instrumento) então deve ser usada uma distribuição de probabilidade rectangular:

$$s^2 = \frac{1}{3} a^2$$

Em que a são os limites de erro fornecidos pelo fabricante.

d. Se um indicador for digital então deve ser usada uma distribuição triangular:

$$s^2 = \frac{1}{6}a^2$$

Em que a são a resolução do instrumento.

4. Somar as variâncias de todas as grandezas de influência de forma a obter a variância sy^2 .
5. Calcular a raiz quadrada de sy^2 .
6. Calcular a incerteza global multiplicando o desvio padrão pelo factor $k=2$.
 - a. O factor $k=2$ significa, para uma distribuição gaussiana normal, que os limites da incerteza global correspondem a um intervalo de confiança de 95%.
 - b. Se o nº de observações for inferior a 10 o factor $k=2$ pode levar a uma incerteza expandida correspondendo a uma probabilidade expandida inferior a 95%. Nestes casos, por forma a assegurar que um valor da incerteza apresentada corresponde a uma mesma probabilidade expandida que num caso normal o factor de expansão k deve ser encontrado a partir do número de graus de liberdade efectivos ν_{ef} da estimativa do desvio-padrão. Para tal utiliza-se a fórmula de Welch-Satherwaite:

$$\nu_{ef} = \frac{\sum \nu_i}{4}$$

c. Obter o factor k na tabela abaixo, baseada numa distribuição t:

Tabela 6.1 – Valores para k.

ν_{ef}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.43	2.37	2.28	2.13	2.05	2.00

7. Expressão da incerteza de medição nos certificados de calibração:
 - a. Indicar a incerteza global sob a expressão ($y \pm U$)
 - b. O valor numérico da incerteza deve ser apresentado com não mais de dois algarismos significativos.
 - c. Uma nota adicional deverá ter o seguinte conteúdo:

“A incerteza expandida apresentada está expressa pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão $k=2$, o qual para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-04/02.”

- d. Se o factor de expansão k for calculado em função do número de graus de liberdade efetivos ν_{ef} então a nota tem de ser a seguinte:

“A incerteza expandida apresentada, está apresentada pela incerteza-padrão multiplicada pelo factor de expansão $k=XX$, o qual para uma distribuição t com $\nu_{ef}=YY$ graus de liberdade efectivos corresponde a uma probabilidade de, aproximadamente 95%. A incerteza foi calculada de acordo com o documento EA-04/02

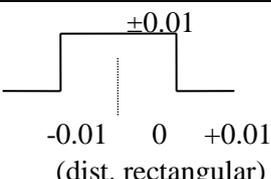
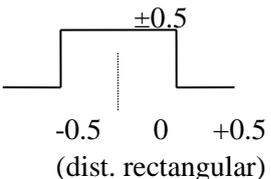
ANEXO I

Exemplo de Calibração de um Termómetro

Fontes de incerteza:

1. Incerteza do termómetro padrão = $\pm 0.02^\circ \text{C}$;
2. Estabilidade da fonte de calor = $\pm 0.01^\circ \text{C}$;
3. Resolução do termómetro = $\pm 0.5^\circ \text{C}$;
4. Leituras do termómetro.

Tabela E.1 – Resumo das variáveis para o cálculo da incerteza.

Fontes de incerteza	Desvio-padrão	Variância
Incerteza do termómetro padrão (do certificado calib.)	± 0.02 $K=2$ (distrib. normal)	$\left(\frac{0.02}{2}\right)^2$ $=0.0001$
Estabilidade da fonte de calor (dado pelo fabricante)	 -0.01 0 $+0.01$ (dist. rectangular)	$\frac{(0.01)^2}{3}$ $=0.000033$
Resolução do termómetro	 -0.5 0 $+0.5$ (dist. rectangular)	$\frac{(0.5)^2}{3}$ $=0.0833$
Leituras do termómetro	$s=0.057$ $n=3$	$\frac{(0.057)^2}{3}$ $=0.00108$

e. Somatório das variâncias será:

$$s^2=0.0001+0.000033+0.0833+0.00108 = 0.08451$$

f. Determinação do número de graus de liberdade efetivos ν_{ef} :

$$\nu_{ef} = \frac{(0.08451)^2}{\frac{(0.00108)^2}{2}} = 12246$$

g. Da tabela acima obtemos $k=2$:

$$s = \sqrt{0.08451} = 0.2907$$

$$\text{Para } k=2 \quad 2 \times 0.2907 = 0.5814^\circ\text{C}$$

h. Teríamos então: Incerteza = $\pm 0.58^\circ\text{C}$.

ANEXO J

Tabela com valor de d*2

Values associated with the Distribution of the Average Range

i	Subgroup Size (n)																			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0
2	1.9	4.21	5.8	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0
3	2.8	5.7	8.4	11.1	13.6	16.0	18.3	20.5	22.6	24.6	26.5	28.4	30.1	31.9	33.5	35.1	36.7	38.2	39.7	41.2
4	3.7	7.5	11.2	14.7	18.1	21.3	24.4	27.3	30.1	32.7	35.3	37.7	40.1	42.4	44.6	46.7	48.8	50.8	52.8	54.8
5	4.6	9.3	13.9	18.4	22.6	26.6	30.4	34.0	37.5	40.8	44.0	47.1	50.1	52.9	55.7	58.4	61.0	63.5	65.9	68.3
6	5.5	11.1	16.7	22.0	27.0	31.8	36.4	40.8	45.0	49.0	52.8	56.5	60.1	63.5	66.8	70.0	73.1	76.1	79.1	82.0
7	6.4	12.9	19.4	25.6	31.5	37.1	42.5	47.6	52.4	57.1	61.6	65.9	70.0	74.0	77.9	81.6	85.3	88.8	92.2	95.5
8	7.2	14.8	22.1	29.2	36.0	42.4	48.5	54.3	59.9	65.3	70.3	75.2	80.0	84.6	89.0	93.3	97.4	101.4	105.3	109.1
9	8.1	16.6	24.9	32.9	40.4	47.7	54.5	61.1	67.3	73.3	79.1	84.6	90.0	95.1	100.1	104.9	109.5	114.1	118.5	122.8
10	9.0	18.4	27.6	36.6	44.9	52.9	60.6	67.8	74.5	80.8	86.8	92.5	98.0	103.3	108.4	113.2	117.7	122.1	126.3	130.4
11	9.9	20.1	30.4	39.6	48.6	57.4	65.6	73.1	80.0	86.2	92.1	97.8	103.3	108.6	113.7	118.5	123.1	127.6	131.9	136.0
12	10.7	21.9	32.8	42.2	51.0	59.6	67.6	75.4	82.7	89.4	95.8	101.9	107.8	113.4	118.8	124.0	128.9	133.6	138.1	142.4
13	11.6	23.8	35.4	44.8	53.5	62.0	70.0	77.6	84.9	91.6	97.6	103.3	108.9	114.3	119.5	124.6	129.4	134.0	138.4	142.7
14	12.5	25.7	38.0	47.4	56.0	64.5	72.3	79.6	86.7	93.1	98.8	104.3	109.7	114.9	120.0	124.9	129.6	134.1	138.4	142.7
15	13.4	27.5	40.3	49.7	58.2	66.6	74.3	81.4	88.3	94.5	100.1	105.5	110.8	115.9	120.9	125.7	130.4	134.9	139.2	143.4
16	14.3	29.3	42.4	51.8	60.2	68.5	76.1	83.0	89.7	95.7	101.1	106.3	111.4	116.4	121.3	126.0	130.6	135.1	139.4	143.6
17	15.1	31.1	44.3	53.7	62.0	70.2	77.6	84.3	90.9	96.6	101.8	106.9	111.9	116.8	121.6	126.3	130.9	135.4	139.7	143.9
18	16.0	32.9	46.3	55.7	63.9	72.0	79.3	85.9	92.3	97.8	102.9	107.9	112.8	117.6	122.3	126.9	131.4	135.8	140.1	144.3
19	16.9	34.7	48.3	57.3	65.3	73.3	80.5	87.0	93.2	98.6	103.6	108.5	113.3	118.0	122.6	127.1	131.6	135.9	140.2	144.4
20	17.8	36.5	50.3	59.3	67.2	75.1	82.2	88.6	94.7	100.0	104.9	109.7	114.4	119.0	123.5	127.9	132.3	136.6	140.8	145.0
21	18.7	38.3	52.3	61.2	69.1	76.9	83.9	90.1	96.1	101.2	105.9	110.6	115.2	119.7	124.1	128.4	132.7	136.9	141.1	145.3
22	19.6	40.1	54.2	63.1	70.9	78.6	85.5	91.6	97.5	102.5	107.1	111.7	116.2	120.6	124.9	129.1	133.3	137.4	141.5	145.6
23	20.5	41.9	56.1	65.0	72.7	80.4	87.2	93.2	99.0	103.9	108.4	112.9	117.3	121.6	125.8	129.9	134.0	138.0	141.9	145.9
24	21.4	43.7	58.0	66.9	74.5	82.1	88.8	94.7	100.4	105.1	109.6	114.0	118.3	122.5	126.7	130.8	134.8	138.7	142.6	146.5
25	22.3	45.5	60.0	68.8	76.3	83.8	90.4	96.2	101.8	106.4	110.8	115.1	119.3	123.5	127.6	131.6	135.5	139.4	143.2	147.0
26	23.2	47.3	62.0	70.8	78.2	85.7	92.2	97.9	103.4	107.9	112.2	116.4	120.5	124.6	128.6	132.5	136.4	140.2	143.9	147.6
27	24.1	49.1	64.0	72.7	80.1	87.5	94.0	100.5	105.9	110.3	114.5	118.6	122.6	126.6	130.5	134.4	138.2	141.9	145.6	149.2
28	25.0	50.9	66.0	74.6	81.9	89.2	95.6	102.0	107.4	111.7	115.8	119.8	123.7	127.6	131.4	135.2	138.9	142.6	146.2	149.8
29	25.9	52.7	68.0	76.5	83.7	91.0	97.3	103.6	108.9	113.1	117.1	121.0	124.8	128.6	132.3	136.0	139.6	143.2	146.7	150.2
30	26.8	54.5	70.0	78.4	85.5	92.7	99.0	105.2	110.5	114.6	118.5	122.3	126.1	129.8	133.5	137.1	140.7	144.2	147.6	151.0
31	27.7	56.3	72.0	80.3	87.4	94.5	100.7	106.9	113.0	117.0	120.9	124.6	128.3	131.9	135.5	139.0	142.5	145.9	149.3	152.6
32	28.6	58.1	74.0	82.2	89.2	96.3	102.4	108.5	114.5	118.4	122.2	125.8	129.4	132.9	136.4	139.8	143.2	146.5	149.8	153.1
33	29.5	60.0	76.0	84.1	91.1	98.1	104.1	110.1	116.0	120.0	123.7	127.3	130.8	134.2	137.6	140.9	144.2	147.4	150.6	153.8
34	30.4	61.8	78.0	86.0	93.0	100.0	106.0	111.9	117.8	121.7	125.3	128.8	132.2	135.5	138.8	142.1	145.3	148.5	151.6	154.7
35	31.3	63.7	80.0	87.9	94.9	101.8	107.7	113.6	119.4	123.2	126.8	130.2	133.5	136.8	140.0	143.2	146.3	149.4	152.5	155.6
36	32.2	65.5	82.0	89.8	96.8	103.7	109.5	115.3	121.1	124.8	128.3	131.6	134.8	138.0	141.1	144.2	147.2	150.2	153.2	156.2
37	33.1	67.4	84.0	91.7	98.6	105.5	111.3	117.1	122.8	126.5	129.9	133.2	136.4	139.5	142.6	145.6	148.5	151.4	154.3	157.2
38	34.0	69.3	86.0	93.6	100.4	107.2	113.0	118.7	124.4	128.0	131.3	134.5	137.6	140.6	143.5	146.4	149.3	152.1	154.9	157.7
39	34.9	71.2	88.0	95.5	102.2	109.0	114.7	120.4	126.0	129.5	132.8	136.0	139.1	142.1	145.0	147.8	150.6	153.4	156.1	158.8
40	35.8	73.1	90.0	97.4	104.1	110.8	116.4	122.0	127.5	131.0	134.2	137.3	140.3	143.2	146.0	148.8	151.5	154.2	156.8	159.4
41	36.7	75.0	92.0	99.3	106.0	112.6	118.1	123.6	129.0	132.5	135.6	138.6	141.5	144.3	147.1	149.8	152.5	155.1	157.7	160.2
42	37.6	76.9	94.0	101.2	107.8	114.3	120.0	125.4	130.8	134.2	137.3	140.2	143.0	145.7	148.4	151.1	153.7	156.3	158.8	161.3
43	38.5	78.8	96.0	103.3	110.0	116.5	122.0	127.3	132.6	136.0	139.0	141.8	144.5	147.2	149.8	152.4	154.9	157.4	159.9	162.4
44	39.4	80.7	98.0	105.4	112.0	118.5	124.0	129.2	134.4	137.7	140.6	143.3	146.0	148.6	151.2	153.7	156.2	158.7	161.1	163.6
45	40.3	82.6	100.0	107.5	114.0	120.5	125.8	131.0	136.1	139.4	142.2	144.9	147.5	150.1	152.6	155.1	157.6	160.0	162.4	164.8
46	41.2	84.5	102.0	109.6	116.0	122.5	127.7	132.8	137.9	141.1	143.8	146.4	149.0	151.5	154.0	156.5	158.9	161.3	163.7	166.0
47	42.1	86.4	104.0	111.7	118.0	124.0	129.1	134.2	139.2	142.4	145.0	147.5	150.0	152.5	154.9	157.3	159.7	162.0	164.3	166.6
48	43.0	88.3	106.0	113.8	120.0	126.0	131.0	136.0	141.0	144.1	146.6	149.0	151.4	153.8	156.1	158.4	160.7	162.9	165.1	167.3
49	43.9	90.2	108.0	115.9	122.0	128.0	133.0	138.0	143.0	146.1	148.5	150.9	153.2	155.5	157.8	160.0	162.2	164.4	166.5	168.6
50	44.8	92.1	110.0	118.0	124.0	130.0	135.0	140.0	145.0	148.1	150.5	152.8	155.1	157.3	159.5	161.7	163.8	165.9	167.9	170.0

Note: The notation used in this table follows that of Achison Dimension Quality Control and Behavioral Statistics, 3rd edition, McGraw Hill, 1986.

v is the average range of r subgroups of size n . \bar{v} is the average range of r subgroups of size n .

ANEXO K

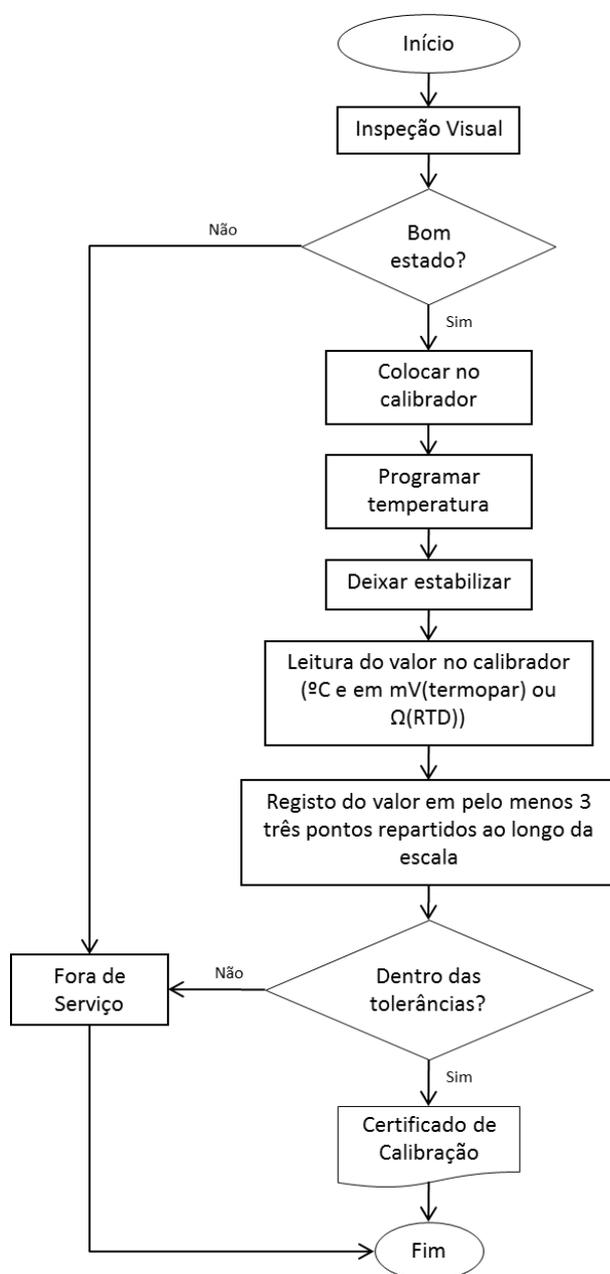
Procedimentos de Calibração

1.

Sondas de Temperatura

O procedimento que se segue é referente à calibração de sondas de temperatura:

- Pt 100;
- Termopares.

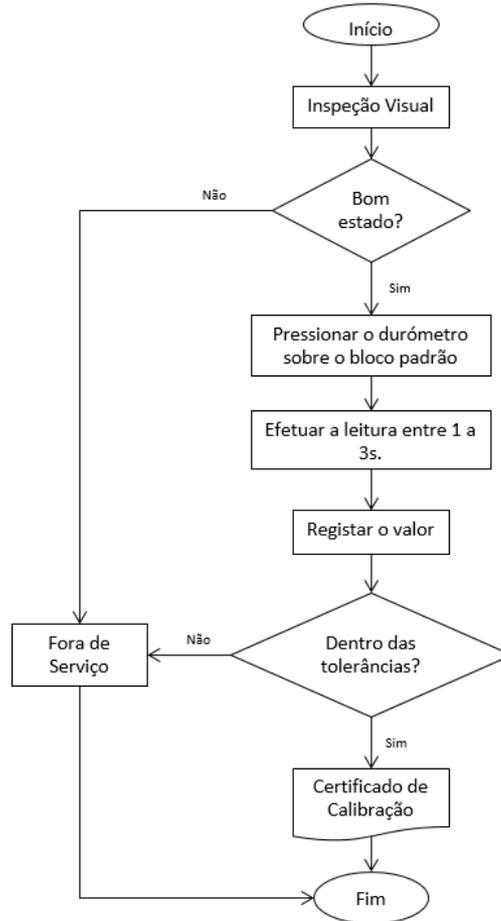


O procedimento deve ser efetuado 3 vezes para cada bloco padrão.

2.

Durómetro

Este procedimento refere-se à calibração de durómetros Shore A e Shore D. Este tipo de equipamento é utilizado para medir a dureza da borracha sendo o Shore a sua unidade.



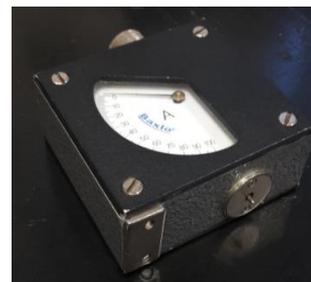
O procedimento deve ser efetuado 3 vezes para cada bloco padrão.



(a)



(b)



(c)

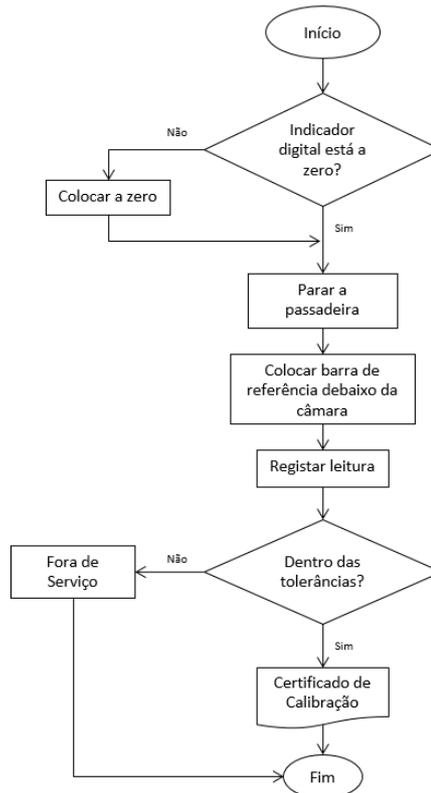
Figura K.1 – Padrões de borracha com diferentes durezas (a); Padrão de borracha (b); Durómetro (c).

3.

Sistemas de medição

automática de largura e comprimento

Este procedimento aplica-se à calibração dos sistemas de medição automática de larguras e comprimentos nas extrusoras, calandras innerliner, máquinas de construção de talões e máquinas de corte de tecido metálico.



O procedimento deve ser efetuado pelo menos 3 vezes para cada barra de referência. O sistema apresenta as seguintes tolerâncias:

Tabela I.1 – Tolerâncias do sistema de medição automática.

	Comprimento	Largura
Pisos/Paredes	±2.0 mm	±0.7 mm
Camadas	-	± 1.50 mm
Cinta metálica	-	Inicial: ± 1 mm Final: ± 0.5 mm
Talões	-	± 0.2 mm

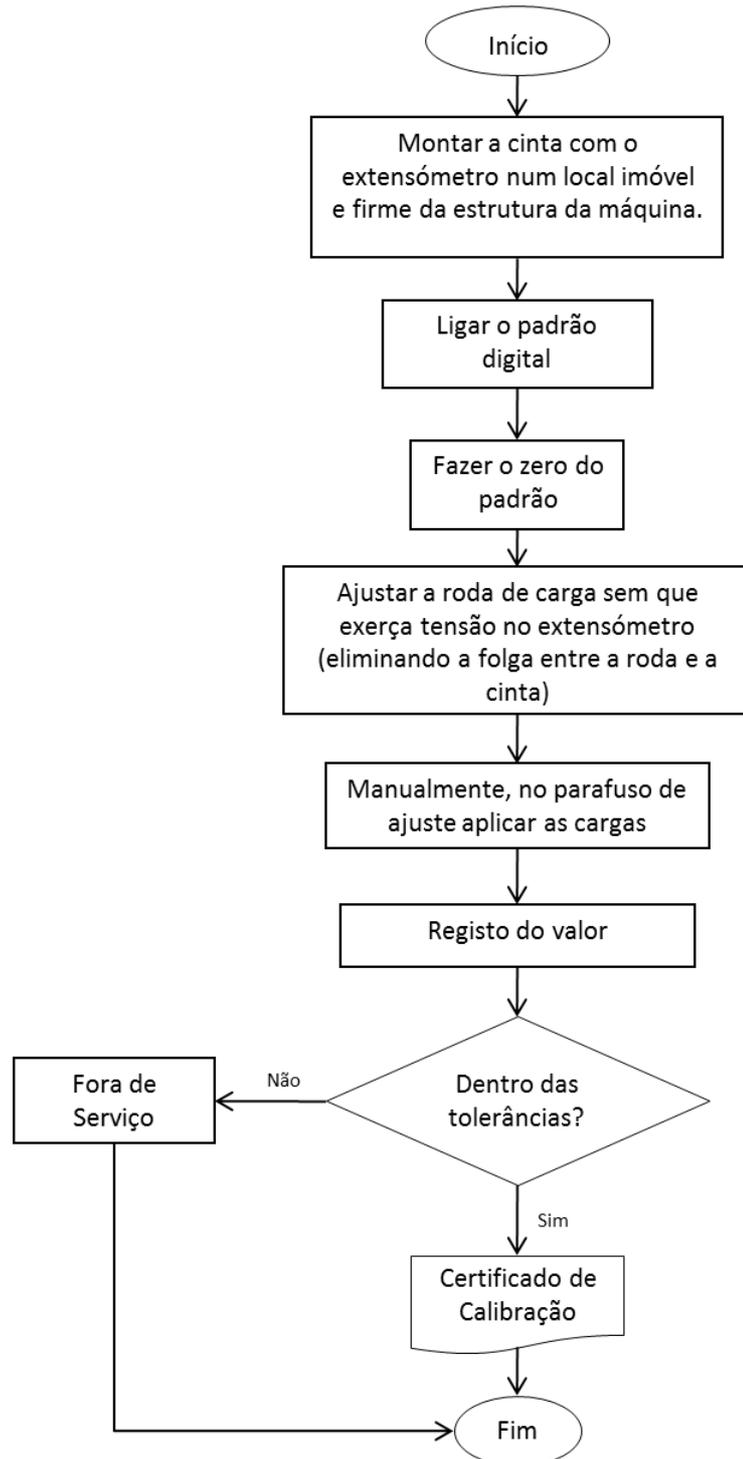
4.

Células de Carga

O presente método tem como objetivo assegurar a exatidão da carga de ensaio aplicada ao pneu.

As cargas a aplicar são: 400, 500, 600, 700 e 800 N (a carga aplicada às células de carga da máquina serão o dobro da carga aplicada à célula padrão).

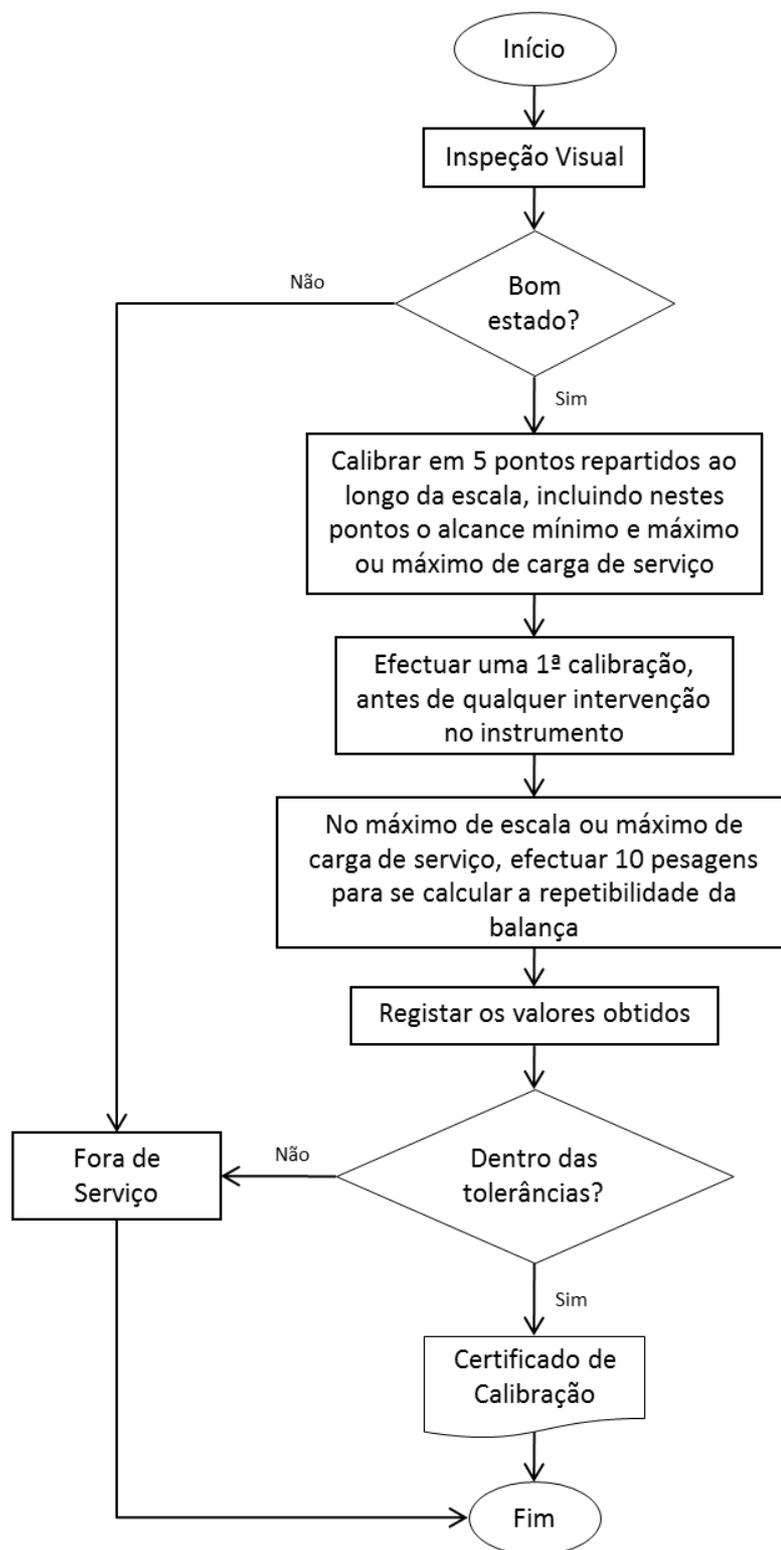
O procedimento deve ser efetuado pelo menos 3 vezes para cada carga.



5.

Balanças

Este procedimento aplica-se à calibração de todas as balanças digitais e analógicas de pesagem não automática até 225 kg.



A classe de exatidão das balanças e as suas tolerâncias são apresentadas nas tabelas seguintes.

Tabela K.2 – Determinação da classe de exatidão

Classe	Divisão de verificação	Capacidade Mínima	Nº divisões de verificação	
		Valor Mínimo	Valor Mínimo	Valor Máximo
I	$0,001g \geq d$	100 d	50 000	-
II	$0,001g \leq d \leq 0,05g$	20 d	100	100 000
	$0,1g \leq d$	50 d	5 000	100 000
III	$0,1g \leq d \leq 2g$	20 d	100	10 000
	$5g \leq d$	20 d	500	10 000
III	$5g \leq d$	10 d	100	1 000

Tabela I.3 – Tolerâncias das balanças de acordo com a sua classe de exatidão.

Classe	Nº de divisões (d)	Erro Máximo
I	0 - 50 000	$\pm 2 d$
	50 001 - 200 000	$\pm 4 d$
	> 200 000	$\pm 6 d$
II	0 - 5 000	$\pm 2 d$
	5 001 - 20 000	$\pm 4 d$
	> 20 000	$\pm 6 d$
III	0 - 500	$\pm 2 d$
	501 - 2 000	$\pm 4 d$
	> 2 000	$\pm 6 d$
III	0 - 50	$\pm 2 d$
	51 - 200	$\pm 4 d$
	> 200	$\pm 6 d$

ANEXO L

Estudos de Repetibilidade (Templates preenchidos)

Seguem de seguida os dados utilizados no estudo de repetibilidade pela seguinte ordem:

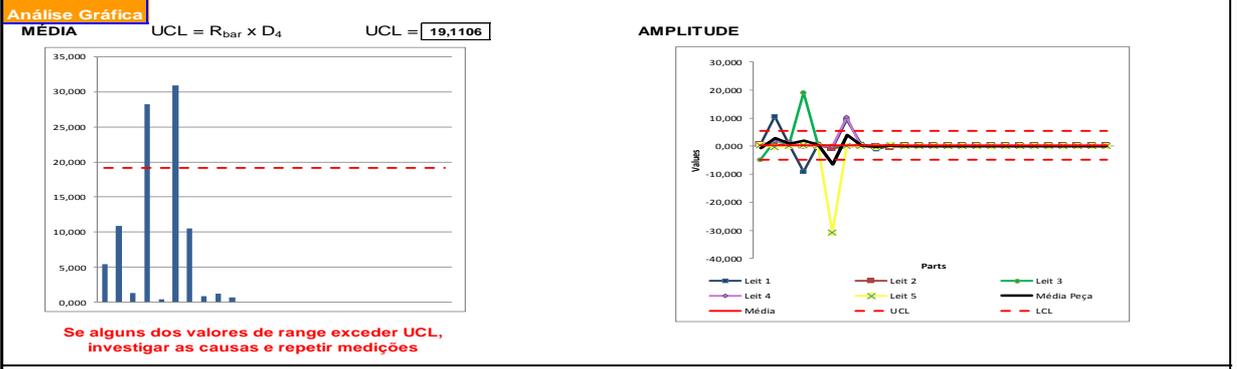
- R&R da MU#9
- R&R da MU#11
- R&R da MU#12
- R&R da MU#2
- R&R da MU#3
- R&R da MU#19

Plant: Lousado	Análise do Sistema de Medição Estudo R&R - Tipo 3 (Método Média e Amplitude)	Pág. 1 / 2 Anexo 1 PLO-M-QM-M-00-WI-0513-14
Aquisição de dados		
Equipamento: MU vs Manual Número de Identificação: #11 Resolução: 0,1 Tolerância (TW): 20 <small>(exemplo, se tolerância ± 5, TW = 10)</small>	Componente: 55/60 R 18 CROSSCONTACT Característica: Ângulo Unidades: Graus Var.Processo (PV): (se conhecido) <small>(PV = 6 x process st. dev.)</small>	Data: 04-03-2015 Obs: Câmara Repetições: 5 (2, 3, 4, ou 5) Amostras: 10 (25, 20, 15 ou 10) (Total amostras x repetições TEM de ser ≥ 50)

Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range
1	0,500	0,500	-4,800	0,600	0,300	-0,580	5,400
2	10,600	0,300	1,800	1,800	-0,300	2,840	10,900
3	0,600	1,000	0,700	1,500	0,200	0,800	1,300
4	-9,100	0,000	19,100	-0,200	0,400	2,040	28,200
5	0,500	0,400	0,500	0,300	0,100	0,360	0,400
6	-0,700	-0,800	0,100	-0,200	-30,800	-6,480	30,900
7	9,400	-0,200	0,000	10,300	0,100	3,920	10,500
8	0,700	0,000	0,600	-0,200	0,100	0,240	0,900
9	-1,000	-0,100	0,200	-0,200	-0,300	-0,280	1,200
10	0,100	-0,300	0,400	0,000	0,400	0,120	0,700
11							
12							
13							
14							
15							

Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							

R_{bar}: 9,0400
Média (Peças): 0,298
Range (Peças): 10,400



Plant: Lousado	Análise do Sistema de Medição Estudo R&R - Tipo 3 (Método Média e Amplitude)	Pág. 2 / 2
Análise		
REPETIBILIDADE = Variação Equipamento (EV) $EV = R_{bar} / d_2$ <small>d₂ baseado no n° de leituras, SPC constants</small> 3,8341	% Análise Tolerância $%EV = (6EV / TW) 100$ 115,02 %	% Análise Variação Processo <small>(Baseado na TV_S se não for conhecido PV acima)</small> $%EV = (6EV / PW) 100$ 76,07 %
Variação entre peças (PV_S) $PV_S = Range_{Parts} \times K_3$ <small>K₃ = 0,3146 para 10 peças, 0,2814 para 15, etc.</small> 3,2714	$%PV_S = (6PV_S / TW) 100$ 98,14 %	$%PV_S = (6PV_S / PW) 100$ 64,91 %
Variação Total (TV_S) $TV_S = \text{SQRT}(GRR^2 + PV_S^2)$ 5,040	$%TV_S = (6TV_S / TW) 100$ 151,20 %	$%TV_S = (6TV_S / PW) 100$ 100,00 %
Número Distinto de Categorias (ndc) $ndc = 1.41 \times (PV_S / GRR)$ or $1.41 \times (PW / GRR)$ 1		NA
Resultados		
% Gage R&R = % EV < 10% Aceitável 10 - 30% Marginalmente Aceitável > 30% Inaceitável ndc > 5 Aceitável 2 - 4 Aplicação Limitada	Sistema de Medição Aceitável? SIM X NÃO	
	Análise: 	
	Metrologia: J. Martins	[Assinatura]
	Nome	Data
		Assinatura

Plant: **Lousado**

Anexo 1

PLO-M-QM-M-00-WI-0513-14

Aquisição de dados

Equipamento: MU vs Manual	Componente: 175/65 R 14	Data: 13-04-2015
Número de Identificação: #9	Característica: Ângulo	Obs: Câmara
Resolução: 0,1	Unidades: Graus	
Tolerância (TW): 20 <small>(exemplo, se tolerância ± 5, TW = 10)</small>	Var.Processo (PV): <input type="text"/> (se conhecido) <small>(PV = 6 x process st. dev.)</small>	Repetições: 5 (2, 3, 4, ou 5) Amostras: 10 (25, 20, 15 ou 10)

(Total amostras x repetições TEM de ser ≥ 50)

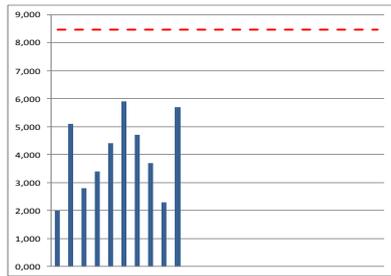
Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range
1	1,300	3,300	1,700	3,100	3,000	2,480	2,000
2	5,500	1,600	4,100	6,700	2,000	3,980	5,100
3	6,600	6,700	5,000	5,300	3,900	5,500	2,800
4	4,500	1,100	3,900	4,100	3,600	3,440	3,400
5	5,000	4,400	5,000	5,700	1,300	4,280	4,400
6	3,600	5,000	8,700	4,000	2,800	4,820	5,900
7	3,500	8,000	3,700	3,300	3,700	4,440	4,700
8	7,200	4,400	3,800	3,500	4,700	4,720	3,700
9	4,000	2,800	3,700	4,800	5,100	4,080	2,300
10	5,700	5,500	5,300	3,800	0,000	4,060	5,700
11							
12							
13							
14							
15							

Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							

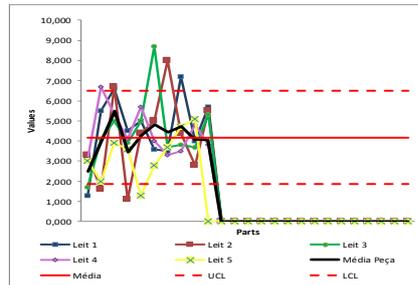
 R_{bar}: **4,0000**

 Média (Peças): **4,180**

 Range (Peças): **3,020**
Análise Gráfica

 MÉDIA UCL = R_{bar} × D₄ UCL = **8,4560**


Se alguns dos valores de range exceder UCL, investigar as causas e repetir medições

AMPLITUDE

 Plant: **Lousado**
Análise
REPETIBILIDADE = Variação Equipamento(EV)
 $EV = R_{bar} / d_2$ **1,6965**
d₂ baseado no nº de leituras, SPC constants
% Análise Tolerância
 $\%EV = (6EV / TW)100$ **50,89** %

% Análise Variação Processo
(Baseado na TV_s se não for conhecido PV acima)
 $\%EV = (6EV / PW)100$ **87,25** %

Variação entre peças (PV_s)
 $PV_s = Range_{partes} \times K_3$ **0,95**
K₃ = 0.3146 para 10 peças, 0.2814 para 15, etc.
 $\%PV_s = (6PV_s / TW)100$ **28,50** %

 $\%PV_s = (6PV_s / PW)100$ **48,86** %

Variação Total (TV_s)
 $TV_s = \text{SQRT}(GRR^2 + PV_s^2)$ **1,944**
 $\%TV_s = (6TV_s / TW)100$ **58,33** %

 $\%TV_s = (6TV_s / PW)100$ **100,00** %

Número Distinto de Categorias (ndc)
 $ndc = 1.41 \times (PV_s / GRR)$ or $1.41 \times (PW / GRR)$
1
NA
Resultados
% Gage R&R = % EV

< 10%	Aceitável
10 - 30%	Marginalmente Aceitável
> 30%	Inaceitável

ndc

> 5	Aceitável
2 - 4	Aplicação Limitada

Sistema de Medição Aceitável?
 SIM

 NÃO

Análise:

Metrologia:

Nome	Data	Assinatura

Aquisição de dados

Equipamento: **MU vs Manual** Componente: **195/55 R 15** Data: **02-04-2015**
 Número de Identificação: **#2** Característica: **Ângulo** Obs: **Spotting**
 Resolução: **0,1** Unidades: **Graus**
 Tolerância (TW): **20** (exemplo, se tolerância ± 5, TW = 10) Var. Processo (PV): **(se conhecido)** (PV = 6 x process st. dev.) Repetições: **5** (2, 3, 4, ou 5)
 Amostras: **10** (25, 20, 15 ou 10)
 (Total amostras x repetições **TEM** de ser **≥ 50**)

Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range
1	-2,700	1,700	-1,200	-1,400	-0,800	-0,880	4,400
2	-2,800	-2,200	-1,400	-6,500	-5,600	-3,700	5,100
3	-1,300	1,300	-1,600	-5,700	-1,400	-1,740	7,000
4	-4,200	-5,300	-1,600	-3,900	-4,900	-3,980	3,700
5	-1,500	-4,200	0,700	-6,400	-3,000	-2,880	7,100
6	-0,500	-4,600	-3,500	-0,100	-3,600	-2,460	4,500
7	-3,400	0,900	-2,300	-4,300	-5,400	-2,900	6,300
8	0,300	-0,600	-4,400	-1,100	-1,800	-1,520	4,700
9	-3,900	-4,200	-4,000	-4,000	-3,100	-3,840	1,100
10	-4,800	-3,700	-4,500	-4,200	-1,800	-3,800	3,000
11							
12							
13							
14							
15							

Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							

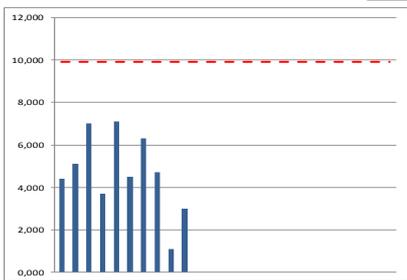
R_{bar}: **4,6900**

Média (Peças): **-2,770**

Range (Peças): **3,100**

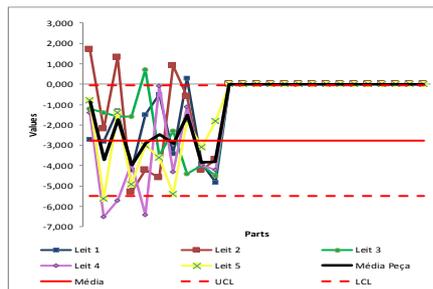
Análise Gráfica

MÉDIA UCL = R_{bar} x D₄ UCL = **9,9147**



Se alguns dos valores de range exceder UCL, investigar as causas e repetir medições

AMPLITUDE



Análise

REPETIBILIDADE = Variação Equipamento(EV) $EV = R_{bar} / d_2$ 1,9891 <small>d₂ baseado no n° de leituras, SPC constants</small>	% Análise Tolerância $%EV = (6EV / TW)100$ 59,67 %	% Análise Variação Processo <small>(Baseado na TV_s se não for conhecido PV acima)</small> $%EV = (6EV / PW)100$ 89,79 %
Variação entre peças (PV_s) $PV_s = Range_{Parts} \times K_3$ 0,9751 <small>K₃ = 0.3146 para 10 peças, 0.2814 para 15, etc.</small>	$%PV_s = (6PV_s / TW)100$ 29,25 %	$%PV_s = (6PV_s / PW)100$ 44,02 %
Variação Total (TV_s) $TV_s = \sqrt{GRR^2 + PV_s^2}$ 2,215	$%TV_s = (6TV_s / TW)100$ 66,46 %	$%TV_s = (6TV_s / PW)100$ 100,00 %
Número Distinto de Categorias (ndc) $ndc = 1.41 \times (PV_s / GRR)$ or $1.41 \times (PW / GRR)$	1	NA

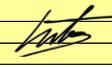
Resultados

% Gage R&R = % EV
 < 10% Aceitável
 10 - 30% Marginalmente Aceitável
 > 30% Inaceitável

ndc
 > 5 Aceitável
 2 - 4 Aplicação Limitada

Sistema de Medição Aceitável? SIM NÃO

Análise:

Metrologia: **J. Martins** 

Nome Data Assinatura

Plant: **Lousado**

Aquisição de dados

Equipamento: **MU vs Manual** Componente: **205/55 R 15** Data: **29-04-2015**
Número de Identificação: **#3** Característica: **Ângulo** Obs: **Spoting**
Resolução: **0,1** Unidades: **Graus**
Tolerância (TW): **20** (exemplo, se tolerância ± 5 , TW = 10) Var.Processo (PV): **(se conhecido)** (PV = 6 x process st. dev.) Repetições: **5** (2, 3, 4, ou 5)
Amostras: **10** (25, 20, 15 ou 10)
(Total amostras x repetições **TEM** de ser ≥ 50)

Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range
1	7,300	14,400	11,300	4,900	10,700	9,720	9,500
2	6,900	3,400	-7,300	24,800	38,300	13,220	45,600
3	6,800	3,200	-8,600	7,900	1,400	2,140	16,500
4	7,000	5,100	14,500	-9,600	8,100	5,020	24,100
5	8,200	2,400	3,200	11,100	10,900	7,160	8,700
6	8,100	8,300	5,800	8,700	-17,900	2,600	26,600
7	6,200	5,400	-6,200	-4,100	1,400	0,540	12,400
8	9,700	6,800	6,100	4,600	5,100	6,460	5,100
9	5,400	10,000	16,300	24,900	23,700	16,060	19,500
10	7,600	7,000	16,000	4,200	4,200	7,800	11,800
11							
12							
13							
14							
15							

Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							

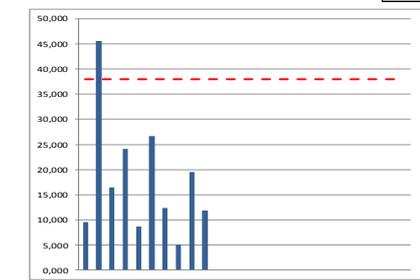
R_{bar}: **17,9800**

Média (Peças): **7,072**

Range (Peças): **15,520**

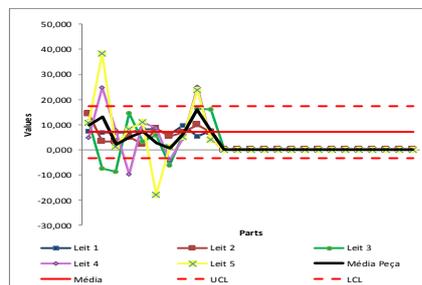
Análise Gráfica

MÉDIA UCL = R_{bar} x D₄ UCL = **38,0097**



Se alguns dos valores de range exceder UCL, investigar as causas e repetir medições

AMPLITUDE



Se alguns dos valores de range exceder UCL, investigar as causas e repetir medições

Plant: **Lousado**

Análise

REPETIBILIDADE = Variação Equipamento(EV)

EV = R_{bar} / d₂ **7,6257**
d₂ baseado no n° de leituras, SPC constants

Variação entre peças (PV_S)

PV_S = Range_{Parts} x K_S **4,882**
K_S = 0.3146 para 10 peças, 0.2814 para 15, etc.

Variação Total (TV_S)

TV_S = SQRT(GRR² + PV_S²) **9,055**

% Análise Tolerância

%EV = (6EV / TW)100 **228,77** %

%PV_S = (6PV_S / TW)100 **146,46** %

%TV_S = (6TV_S / TW)100 **271,64** %

% Análise Variação Processo

(Baseado na TV_S se não for conhecido PV acima)

%EV = (6EV / PW)100 **84,22** %

%PV_S = (6PV_S / PW)100 **53,92** %

%TV_S = (6TV_S / PW)100 **100,00** %

Número Distinto de Categorias (ndc)

ndc = 1.41 x (PV_S / GRR) or 1.41 x (PW / GRR) **1** **NA**

Resultados

% Gage R&R = % EV

< 10% Aceitável
10 - 30% Marginalmente Aceitável
> 30% Inaceitável

ndc

> 5 Aceitável
2 - 4 Aplicação Limitada

Sistema de Medição Aceitável?

SIM NÃO

Análise:

Metrologia

J. Martins		
Nome	Data	Assinatura

Plant: Lousado

Aquisição de dados

Equipamento: MU vs Manual Componente: 245/45 ZR 20 W G-MAX Data: 28-05-2015

Número de Identificação: #19 Característica: Ângulo Obs: Spotting

Resolução: 0,1 Unidades: Graus

Tolerância (TW): 20 Var.Processo (PV): (se conhecido) Repetições: 5 (2, 3, 4, ou 5)

(exemplo, se tolerância ± 5, TW = 10) (PV = 6 x process st. dev.) (25, 20, 15 ou 10)

Amostras: 10

(Total amostras x repetições **TEM** de ser ≥ 50)

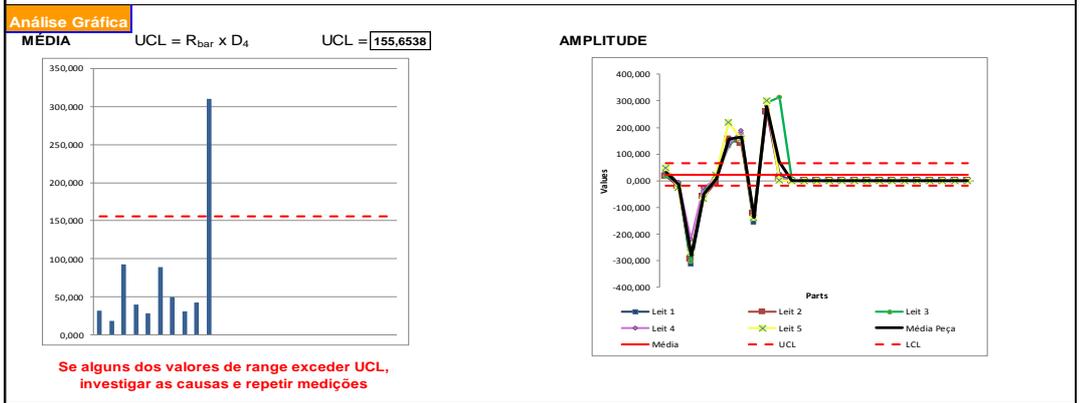
Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range
1	43,900	18,400	16,400	31,500	48,800	31,800	32,400
2	-10,900	-21,600	-6,600	-6,100	-24,800	-14,000	18,700
3	-312,600	-294,800	-301,900	-219,800	-269,600	-279,740	92,800
4	-64,400	-60,300	-39,600	-25,500	-65,600	-51,080	40,100
5	6,700	-5,800	11,100	6,500	22,500	8,200	28,300
6	143,400	154,200	130,700	135,700	220,300	156,860	89,600
7	159,200	138,800	179,300	188,300	159,000	164,920	49,500
8	-153,300	-121,800	-133,100	-141,800	-139,500	-137,900	31,500
9	263,000	258,800	292,900	280,100	301,900	279,340	43,100
10	23,400	10,400	313,600	12,500	3,300	72,640	310,300
11							
12							
13							
14							
15							

Peça	1	2	3	4	5	Méd.	Range
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							

R_{bar}: 73,6300

Média (Peças): 23,104

Range (Peças): 559,080



Plant: Lousado

Análise

REPETIBILIDADE = Variação Equipamento(EV)

EV = R_{bar} / d₂ 31,228

d₂ baseado no nº de leituras, SPC constants

Variação entre peças (PVs)

PV_s = Range_{Peças} x K₃ 175,86

K₃ = 0.3146 para 10 peças, 0.2814 para 15, etc.

Variação Total (TVs)

TV_s = SQRT(GRR² + PV_s²) #####

Número Distinto de Categorias (ndc)

ndc = 1.41 x (PV_s/GRR) or 1.41 x (PW/GRR) 8 NA

% Análise Tolerância

%EV = (6EV / TW)100 936,84 %

%PV_s = (6PV_s/TW)100 5275,92 %

%TV_s = (6TV_s/TW)100 5358,45 %

% Análise Variação Processo
(Baseado na TV_s se não for conhecido PV acima)

%EV = (6EV / PW)100 17,48 %

%PV_s = (6PV_s/PW)100 98,46 %

%TV_s = (6TV_s/PW)100 100,00 %

Resultados

% Gage R&R = % EV

< 10% Aceitável

10 - 30% Marginalmente Aceitável

> 30% Inaceitável

ndc

> 5 Aceitável

2 - 4 Aplicação Limitada

Sistema de Medição Aceitável? SIM X NÃO

Análise:

Metrologia:

Nome	Data	Assinatura
J. Martins		

ANEXO M

Fotografias das marcações dos pneus usados no estudo por atributos



