



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

João Manuel Nunes Oliveira Rego

**INDUSTRIALIZAÇÃO DE MÁQUINA DE
INSPEÇÃO AUTOMÁTICA**
MELHORIA PARA TOLERÂNCIA REDUZIDA DE FOLGA
ENTRE PONTAS DE ANEL DE PISTÃO

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica na Especialidade de
Produção e Projeto orientada pelo Professor Doutor Luís Filipe Martins Menezes e
pelo Engenheiro Nuno Martinho apresentada à Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade de Coimbra

Outubro de 2020

1 2



9 0

FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Industrialização de Máquina de Inspeção Automática - Melhoria para Tolerância Reduzida de Folga entre Pontas de Anel de Pistão

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto

Industrialization of Automatic Inspection Machine - Improvement for Reduced Tolerance Measurement of Ring Gap Size

Autor

João Manuel Nunes Oliveira Rego

Orientadores

Professor Doutor Luís Filipe Martins Menezes

Engenheiro Nuno Martinho

Júri

Presidente Professora Doutora Ana Paula Bettencourt Martins
Amaro
Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor Luís Filipe Martins Menezes
Professor Catedrático da Universidade de Coimbra
Engenheiro Nuno Martinho
Engenheiro na MAHLE Componentes de Motores S.A.

Colaboração Institucional



MAHLE Componentes de Motores S.A.

Coimbra, Outubro, 2020

“Great things are done by a series of small things brought together”

Vincent Van Gogh em Haia, 1882

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Um agradecimento a toda a equipa da MAHLE Componentes de Motores S.A., nomeadamente ao Eng. Nuno Martinho por me dar as oportunidades de contribuir e aprender, ao Eng. João Abreu pelo acompanhamento neste tema. E a todos restantes colaboradores, que proporcionaram com a sua experiência e tornaram possível a realização deste trabalho. Este trabalho é de toda a equipa.

Um agradecimento a todos os meus colegas da FCTUC e de Barrelas por todos os momentos de festa e alegria, mas também de trabalho e estudo que juntos partilhámos.

Um enorme agradecimento aos meus pais e irmã, que todas a vida me ajudaram a tornar isto possível.

Resumo

Os anéis de pistão estão no topo da exigência na indústria automóvel, além da necessidade de 0% falhas, temos também tolerâncias reduzidas. A inspeção dimensional automática através de visão artificial vai ser estudada. Outros sistemas de medição para a folga entre pontas de anéis de pistão provam não ser capazes de atender as tolerâncias do produto a curto prazo, uma medida intrínseca à filosofia de melhoria contínua na MAHLE, antecipa este fenómeno.

O controlo dimensional da folga entre pontas é controlado a 100% pelas IPL (Máquina de Inspeção Linear), caracterizadas pela inspeção por contacto, o que pode provocar lascas nas pontas. Normalmente estas máquinas apresentam variação excessiva nas suas medições.

A máquina de inspeção automática utilizada neste estudo (MID) encontra-se em fase de aprovação, o que gerou a oportunidade de pesquisar e desenvolver as suas capacidades. A folga entre pontas é o ponto mais crítico a ser estudado: a necessidade de inspeção sem contacto, a dificuldade de obtenção de arestas para o cálculo pelas câmaras, aliados aos limites de especificação de até 0,050 mm, estão entre os problemas.

A inspeção com confiança e robustez para tolerância de 0,100 mm já é garantido pela MID. Variações de até 0,010 mm entre medições são limite para o funcionamento. Um caso de estudo de análise de causa efeito em busca de combater as fontes de variabilidade nas medições vai ser realizado, juntamente com a realização de ações de melhoria e os seus ganhos.

A análise de resultados revela efeitos de melhoria, conseguindo no final obter um máximo de 0,005 mm de variação entre medições, revelando a possibilidade de medição de cota com 0,050 mm de tolerância.

Com vista a aumentar a robustez dos resultados, vão também ser apresentadas propostas futuras de melhoria, essenciais para a inspeção de tolerâncias reduzidas no meio fabril.

Palavras-chave: [MSA], [Visão Artificial], [Segmentos de Pistão], [Folga entre Pontas], [Tolerância Reduzida].

Abstract

Piston rings are at the top of the precision in the automotive industry, in addition to the need for 0% failures, also reduced tolerances are needed. Some measurement systems prove not to attend the product's tolerances in the short term, the philosophy of continuous improvement at MAHLE anticipate this phenomenon.

The 100% dimensional control of piston ring's gap is done by the IPL machines, characterized by contact inspection, whose can cause causing splinters on gap. Also, these Machines have excessive variation on their measurements

A Dimensional Inspection Machine (MID) is in the approval stages, which opens the opportunity to research and develop the true machine capability. The ring gap is the most critical point to be investigated: the need to measure without contact; the difficulty of obtaining edges for the image processing and calculation the gap measurement, are among the problems.

The inspection with confidence and robustness to a tolerance of 0,100 mm is already guaranteed by MID. Variations of up to 0,010 mm between measurements are limits for operation work. A case study of cause-and-effect analysis to assess the sources of variability in measurements will be carried out, together with the performance of improvement actions and their gains.

The analysis of results reveals improvement effects, achieving, in the end, a maximum of 0,005 mm of variation between measurements, revealing the possibility of 100% dimension inspection with 0,050 mm of tolerance.

To increase the robustness of the results, future proposals for improvement will also be presented, essential for the inspection of reduced tolerances in the manufacturing environment.

Keywords [MSA], [Machine Vision], [Piston Rings], [Ring Gap Size], [Reduced Tolerance].

Índice

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas.....	1
Siglas	1
1. Introdução.....	1
2. Enquadramento da Empresa.....	3
3. Controlo Estatístico do Processo.....	5
3.1. Análise do Sistema de Medição (MSA)	7
3.1.1. Métodos de Análise Estatística	10
3.1.2. Estabilidade	13
3.2. Critérios de Aceitação	13
4. Anéis de Pistão	15
4.1. Tipos de Anéis de Pistão	16
4.1.1. Anel de Compressão.....	16
4.1.2. Anel Raspador.....	16
4.1.3. Anel de Óleo.....	16
4.2. Características.....	17
4.2.1. Espessura Radial	17
4.2.1. Altura.....	17
4.2.2. Folga entre Pontas	18
5. Medição de Folga entre Pontas	21
5.1. Inspeção por amostragem	21
5.1.1. Calibre e Lâmina	21
5.1.2. Medição Folga Reduzida – KEYENCE	22
5.2. Inspeção a 100%.....	24
5.2.1. Máquina de Inspeção Linear – IPL	24
5.2.2. <i>Single Piece Traceability</i> – SPT.....	25
6. Máquina de Inspeção Dimensional	27
6.1. Sistema de Visão Artificial.....	29
7. Aprovação de Máquina	33
7.1. <i>Factory Acceptance Tests</i> - FAT	33
7.2. <i>Site Acceptance Tests</i> – SAT	37
7.2.1. Lista de Defeitos.....	37
7.2.2. Layout.....	38
7.2.3. Método de Trabalho Padronizado	38
7.2.4. Centragem da Folga na Imagem.....	39
7.2.5. Resultados SAT.....	45

8.	Tolerância Reduzida	47
8.1.	Atualidade do Processo	47
8.2.	Folga real e folga medida por comparação	48
8.3.	Ciclo de Aquecimento	50
8.4.	Vibrações	53
8.5.	Limpeza	54
8.6.	Resultados Folga Tolerância Reduzida.....	56
8.7.	Futuras Melhorias	57
8.7.1.	Sopro de Ar Ionizado.....	57
8.7.2.	Ferramental em ERTALYTE®	58
8.7.3.	Fechamento em Calibre	58
9.	Conclusões.....	59
	Referências Bibliográficas.....	61
	Referências Webgráficas	63
	Anexos	65
	Diagrama causa-efeito	66
	Lista de defeitos.....	67
	Lista de defeitos.....	68
	Lista de defeitos.....	69
	Estudo – Método 1 – FAT 25/07/2019.....	70
	Estudo – Método 3 – FAT 18/07/2019.....	71
	Resultados Medição de Folga entre Pontas com Tolerância Reduzida – Estudo N°4.....	72
	Resultados Medição de Folga entre Pontas com Tolerância Reduzida – Estudo N°5.....	73
	Resultados Medição de Folga entre Pontas com Tolerância Reduzida – Estudo N°6.....	74
	Apêndices	75
	Layout Bloco Final Sublinha Aço	76
	MTP – Método de Trabalho Padronizado	77
	MTP – Método de Trabalho Padronizado	78
	Relatório SAT – MID	79
	Relatório SAT - MID.....	80
	Relatório SAT - MID.....	81
	Relatório SAT - MID.....	82
	Relatório SAT - MID.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Utilização das cartas de controlo.....	6
Figura 3.2 Zonas de especificação do produto	9
Figura 3.3 Variação de medição em zona de más decisões.....	9
Figura 3.4 Exemplos de dispersão para os índices Cg e Cgk	11
Figura 3.5 Variações nas medições - método 3	13
Figura 4.1 Anéis em pistão	15
Figura 4.2 Selagem da compressão	16
Figura 4.3 Controlo da película de óleo	16
Figura 4.4 Dissipação de calor	16
Figura 4.5 Folga entre pontas	18
Figura 4.6 Fuga de gases para o cárter (Blow-By).....	19
Figura 4.7 Pontas batem e anel deforma.....	19
Figura 5.1 Conjunto calibre e lâmina de folga	21
Figura 5.2 Medição de folga reduzida - KEYENCE.....	22
Figura 5.3 IPL - Máquina de Inspeção Linear - IPL	24
Figura 6.1 Computador, UPS e PCL da MID.....	27
Figura 6.2 Zonas Máquina de Inspeção Dimensional	28
Figura 6.3 Interior Máquina de Inspeção Dimensional	29
Figura 6.4 Fluxograma Inspeção Visão Artificial	30
Figura 6.5 Exemplo de processamento de cota por visão artificial - KEYENCE.....	31
Figura 7.1 Medições estudo RR – FAT Ø=75 mm	36
Figura 7.2 Variação nas medições da folga entre pontas – FAT Ø=75 mm.....	37
Figura 7.3 Exemplo medições folga entre pontas - SPT-01	39
Figura 7.4 Boa prática de setup para lâmina alinhadora	40
Figura 7.5 Anel posicionado ligeiramente avançado.....	41
Figura 7.6 Anel posicionado na posição de sapatas fechadas	41
Figura 7.7 Zona carga transferidor de ferramental	42
Figura 7.8 Zona final das guias	43

Figura 7.9 Padrão zona de alimentação - SMED	43
Figura 7.10 Padrões posição das guias - SMED	43
Figura 7.11 Pino extração perfil/chanfro a trocar anel com transferidor ferramental.....	44
Figura 7.12 Anel posicionado em zona inspeção perfil/chanfro.....	44
Figura 7.13 Posicionamento da folga centrado para todos os anéis.....	44
Figura 7.14 Variação nas medições da folga entre pontas – SAT Ø=75 mm	45
Figura 7.15 Estudo SAT Ø=75 mm - Após ações de melhoria de posicionamento.....	45
Figura 8.1 Imagem folga entre pontas anel nº 14 MID.....	49
Figura 8.2 Comparação sistemas de medição e diferentes anéis padrão para MID.....	50
Figura 8.3 Sistema de fechamento por sapatas	50
Figura 8.4 Conjunto Apoios das sapatas, sapatas e batentes.....	51
Figura 8.5 Resultados RR sem aquecimento – 34,39 % dispersão	52
Figura 8.6 Resultados RR com aquecimento – 24,90% dispersão.....	53
Figura 8.7 Vibrações no suporte da câmara RMS [<i>mms</i> ²]	54
Figura 8.8 Vibrações no tampo RMS [<i>mms</i> ²]	54
Figura 8.9 Resultados RR com variação nas medições devido a sujidade – 32,53% dispersão.....	55
Figura 8.10 Anel nº 21	55
Figura 8.11 Anel nº 22	55
Figura 8.12 Anel nº 23	55
Figura 8.13 Sujidade entre passagens de estudo RR MID	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Critérios de aceitação para sistemas de medição.....	14
Tabela 2 Resultados %RR - Conjunto calibre/lâmina.....	22
Tabela 3 Resultados índices de capacidades de medição de folga reduzida - KEYNECE .	23
Tabela 4 Resultados RR da medição de folga entre pontas - IPL	25
Tabela 5 Resultados %RR da medição de folga entre pontas - SPT	25
Tabela 6 Características do anel Ø=75mm da PSA do motor 1.6HDi.....	34
Tabela 7 Resultados índices de capacidade FAT Ø=75 mm.....	34
Tabela 8 Resultados repetibilidade e reprodutibilidade - RR - FAT Ø=75 mm	35
Tabela 9 Resultados índices de capacidade – SAT MID.....	46
Tabela 10 Resultados %RR - SAT MID	46
Tabela 11 Características do anel Ø=130 mm da SCANIA	47
Tabela 12 Resultados índices de capacidade para medição de folga entre pontas com tolerância reduzida	56
Tabela 13 Resultados %RR para medição de folga entre pontas com tolerância reduzida.	56
Tabela 14 Resultados %RR para medição de folga entre pontas com tolerância reduzida, com limpeza entre passagens	57

SIGLAS

ASTM – American Society for Testing and Materials

AIAG – Automotive Industry Action Group

CSR – Customer Specific Requirements

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

DL – Death Line

FAT – Factory Acceptance Tests

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

GRR – Gauge Repeatability and Reproducibility

HDD – Heavy Duty Diesel

IPL – Máquina de Inspeção Linear

LIE – Limite Superior de Especificação

LSE – Limite Inferior de Especificação

LV – Light Vehicles

MID – Máquina de Inspeção Dimensional

MSA – Measurement System Analysis

NDC – Number of Distinct Categories

SAT – Site Acceptance Tests

SC – Significant Characteristic

SPC – Statistical Process Control

SPT – Single Piece Traceability

UPS – Uninterruptible Power Supply

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório foi elaborado no âmbito da dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na especialidade de Produção e Projeto, pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Foi realizado no âmbito do estágio curricular na empresa MAHLE Componentes de Motores S.A. sediada em Murtede.

O trabalho centrase numa máquina de inspeção dimensional (MID) que verifica a conformidade de 100% dos anéis nas cotas: perfil da face de contacto (FC); chanfro da FC; espessura radial; altura e folga entre pontas. Numa primeira fase este trabalho irá focar-se na aprovação da máquina para a linha de produção. No final irá ser averiguada a possibilidade da MID inspecionar a folga entre pontas de anéis de pistão, mas com tolerância reduzida (0,050 mm).

No capítulo 3 irá ser feita uma nota introdutória ao controlo estatístico do processo. Irá ser demonstrado o procedimento de análise da conformidade dos sistemas de medição, juntamente com os métodos de cálculo, análises estatísticas, e requisitos de um sistema de medição.

A MAHLE Componentes de Motores S.A, é um fornecedor global da indústria automóvel de anéis de pistão, e no capítulo 4, os anéis de pistão vão ser abordados. Irão ser demonstrados os diferentes tipos de anéis, juntamente com algumas características necessárias para o enquadramento deste relatório.

No capítulo 5, irão ser apresentados os atuais equipamentos de medição da folga entre pontas. Seja para controlo em tempo real do processo (medição por amostragem), seja por aferição final de todos os anéis (Inspeção 100%).

No capítulo 6, irá ser apresentado o procedimento de aprovação da MID, também são apresentadas algumas ações de melhorias, juntamente com a documentação. Neste capítulo são demonstrados os resultados da capacidade do sistema de medição.

O último capítulo foca-se na busca da diminuição da variabilidade entre as medições da folga entre pontas. Serão apresentadas: as principais fontes de variabilidade, as

melhorias realizadas, juntamente com os resultados das capacidades da MID. Por fim irão também ser abordadas propostas para melhorias futuras.

2. ENQUADRAMENTO DA EMPRESA

O grupo MAHLE foi fundado pelos irmãos Hermann e Ernst MAHLE no ano de 1920, inicialmente como uma oficina modesta (nos dias de hoje poderíamos chamar de start-up). Os dois irmãos começaram a produzir pistões de alumínio. Para evitar a sujidade e poeira nos motores começaram a desenvolver também filtros de ar e óleo. Em poucos anos tornaram-se um dos maiores produtores de pistões da Alemanha. Desde o seu começo, o grupo MAHLE tem crescido e tornou-se um parceiro de desenvolvimento internacional e fornecedor da indústria automóvel. Tem atualmente as unidades de negócio seguintes:

- Sistemas e componentes de motores;
- Periféricos de motor e filtragem;
- Gestão térmica;
- Aftermarket.

Em 1997 o grupo MAHLE adquiriu a Cofap S.A., já fornecedora, com fábricas no Brasil (atualmente MAHLE Metal Leve SA.) e em Portugal (atualmente MAHLE Componentes de Motores S.A.). Foi nesta última unidade onde decorreu o estágio curricular aqui apresentado.

A MAHLE Componentes de Motores S.A. produz uma larga gama de anéis de pistão, na faixa de 60 a 150 mm, nomeadamente: anéis de compressão, anéis raspadores e anéis de óleo. Estes anéis podem ainda receber os mais variados revestimentos: crómio, crómio-cerâmico ou mais recente tecnologia de PVD. Desde a sua criação a empresa tem vindo a evoluir com as necessidades dos clientes de topo da indústria automóvel:

- 2000: Anéis de aço nitratado;
- 2001: Anéis com revestimento crómio;
- 2005: Anéis com revestimento por PVD;
- 2007: *Lead Plant* para a Europa na área de produção de anéis de pistão;
- 2010: Anéis para competição - Ampliação da fábrica (2.600 m²);
- 2011: Anéis de óleo *U-Flex*;
- 2012: Anéis de óleo nitratado de 3 peças;

- 2013: Desenvolvimento de novos revestimentos PVD, rastreabilidade de peças através de código *Data Matrix*;
- 2016: Introdução de uma máquina para inspeção automática de luz.

3. CONTROLO ESTATÍSTICO DO PROCESSO

Desde o início dos tempos, o Homem tenta moldar o mundo para o seu proveito, mas por maior que seja o esforço, há um axioma que prevalece: “Não há duas coisas iguais; elas vão sempre variar” [1]. Desde a 1ª revolução industrial que cientistas e engenheiros combatem esta variabilidade nos processos de fabrico. Hoje, com a ajuda das novas tecnologias de manufatura e software, estamos melhor que nunca na produção de peças com especificações cada vez mais rígidas e não vamos ficar por aqui.

Dr. Shewhart, durante o seu trabalho nos laboratórios da Bell, no início de 1920, olhou para a variabilidade tal como o axioma anterior, mas desta vez classificando-a como: variabilidade controlada representada como um padrão estável e controlável ao longo do tempo apenas variado devido a causas casuais que são inerentes ao processo; e variabilidade incontrolável tendo padrão de variações que muda ao longo do tempo. Esta última definiu como sendo resultado de causas atribuíveis (especiais), que não fazem parte do sistema global e devem ser consideradas anormalidades.

D. Edwards Deming, tendo trabalhado com Dr. Shewhart, considerava essencial combater tanto as causas casuais, como as causas especiais. ou seja, implementar o conceito de melhoria contínua quer o processo esteja em controlo ou não [2]. Depois da 2ª guerra mundial Deming foi convidado pelo Dr. Ishikawa para lecionar ao topo da indústria nipónica o conceito do controlo estatístico de processo.

Em 1962 no Japão começam a ser criados os círculos de controlo de qualidade, onde trabalhadores voluntários discutem em busca de melhorar a qualidade das suas organizações, com o aparecimento deste fenómeno entre os operários e gestores industriais, Dr. Ishikawa promove ainda mais estes círculos incentivando ao estudo de todos os membros dos círculos de qualidade, afirmando ainda que ler os seus livros é útil e apesar dos estudos não serem suficientes, é necessário as técnicas serem praticadas no trabalho [3].

Em 1984 e a indústria típica do ocidente continua a focar os seus esforços em produzir os seus produtos dentro das especificações, estudos mostram que metade dos processos da Ford não conseguem ir de encontro às especificações e 42% mostram evidências de estar fora de controlo estatístico. Por outro lado, a experiência dos Japoneses comprovou a eficácia da utilização da melhoria contínua dos processos.

O controlo estatístico do processo baseia-se em princípios básicos e sólidos de análise de dados. De entre as ferramentas mais usadas podem-se destacar:

- Histogramas;
- Folhas de verificação;
- Diagramas de Pareto;
- Diagramas de causa e efeito;
- Cartas de controlo;

Está presente o sentimento de fazer bem à primeira pois lotes reprovados e lotes de retrabalho são sempre de evitar. Estas ferramentas utilizadas pela generalidade da fábrica criam um ambiente de melhoria contínua, aperfeiçoando não só a produtividade como também a qualidade [4].

Na indústria automóvel é exigido que os produtos sejam produzidos com zero defeitos. Os anéis de pistão são críticos para o bom funcionamento dos automóveis e estão fortemente relacionados com a libertação de gases prejudiciais para a atmosfera. Os anéis de pistão requerem inspeção a 100% [2], realizada nos blocos finais do fluxo produtivo dos anéis.

Não basta evitar o envio de peças não conformes. O controlo em tempo real dos processos é realizado essencialmente pelas cartas de controlo. Os gráficos *XmR* (*Average and Range Charts*) nelas presentes, ajuda a fácil análise da evolução das cotas nas peças, ao longo do tempo. Desvios esporádicos devido a causas atribuíveis são detetados cedo reduzindo o refugo, máquinas com baixa capacidade conseguem ser afinadas a tempo, mantendo o processo em controlo [4].

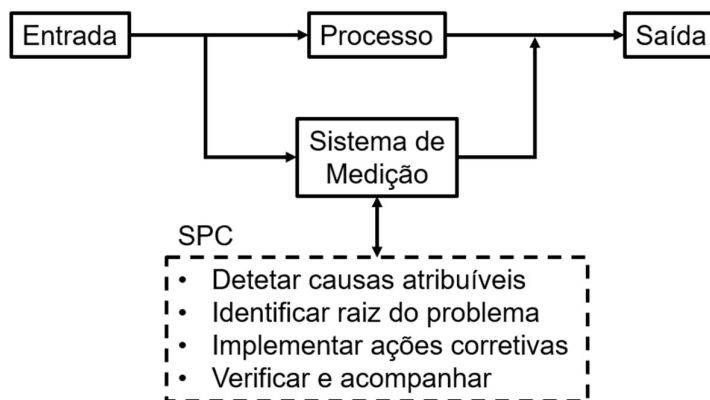


Figura 3.1 Utilização das cartas de controlo

Diz-se que o processo está em controlo quando a sua variação está dentro dos limites do expectável, e quando a sua variação é apenas devido a causas comuns intrínsecas ao processo.

O controlo estatístico do processo revela então possuir ferramentas úteis e imprescindíveis para monitorizar e detetar hipóteses de melhoria nos processos, sendo que todos os dados são adquiridos por sistemas de medição, conforme esquematizado na Figura 3.1. A qualidade do nosso processo produtivo e das peças manufaturadas está dependente da eficácia do nosso sistema de medição [5].

3.1. Análise do Sistema de Medição (MSA)

O sistema de medição é todo o conjunto de equipamentos, padrões, pessoas, métodos, software, utilizados para contabilizar a medição de uma característica.

As medições têm na sua contabilização a variação entre as peças produzidas e a variação do sistema de medição. Para detetar a variação no processo produtivo, de modo a agir eficazmente, temos de ter a confiança necessária no sistema de medição, sendo necessário realizar uma análise do sistema de medição nas seguintes situações [6]:

- Novo tipo de sistema de medição;
- Modificações ao sistema de medição;
- Nova característica a ser inspecionada;
- Nova aplicação com tolerância reduzida;
- Depois de ações de reparação

A qualidade de um sistema de medição é contabilizada pelas propriedades estatísticas dos dados que produz ao longo do tempo [7]. Estas propriedades estatísticas estão definidas para grande parte dos clientes da indústria automóvel no manual MSA, criado pela AIAG. Mas nem todos os fabricantes e académicos estão de acordo com estas regras [8], [9]. A MAHLE tem a sua própria norma para análises dos sistemas de medição, que utiliza fórmulas ainda mais restritas que o manual MSA, indo assim de encontro ao CSR (*Customer Specific Requirements*). No geral as propriedades fundamentais para um sistema de medição ser considerado são [7]:

- Discriminação e sensibilidade adequadas (resolução), os incrementos da medição devem ser pequenos relativamente à variação do processo ou em relação aos limites de especificação (pág. 12);
- O sistema de medição tem de estar em controlo estatístico, isto é, em iguais condições a variabilidade deve ser apenas contabilizada devido a causas comuns e não a causas especiais. Também identificado como estabilidade estatística e é melhor avaliado através da análise de gráficos [10];
- Para controlo de qualidade de um produto, a variabilidade do sistema de medição deve ser pequena em relação à tolerância, devemos então fazer a análise do sistema de medição contabilizando sempre os limites de especificação (pág. 10 e 11);
- Para controlo da qualidade de um processo, a variabilidade do sistema de medição deve ser pequena quando comparada com a variabilidade do processo produtivo (pág. 12).

Todos os sistemas de medição têm um erro que lhes é intrínseco. Para a aprovação de qualquer sistema de medição é preciso contabilizar qual vai ser esse erro e se a sua precisão e exatidão estão abaixo de valores limite para a aplicação que temos no nosso sistema de medição. Por exemplo, para medir a altura de uma pessoa para um estudo demográfico não vamos precisar de um sistema de medição que seja tão preciso e exato quanto o que se utiliza no controlo da produção de anéis de pistão para a indústria automóvel. A contabilização do erro num sistema de medição é dada da seguinte forma:

$$Y = X + \epsilon \quad \text{3-1}$$

Onde Y representa a leitura da medição, X é o valor real da cota que estamos a medir e ϵ representa o erro da medição [5]. Este erro de medição vai ser estudado através de estudos estatísticos de medições realizadas.

Tal como os processos produtivos, também os sistemas de medição estão sujeitos a causas de variação comuns e especiais que geram erros aleatórios e sistemáticos. A decisão entre bom e mau produto é também feita contabilizando o erro do sistema de medição. Para um determinado produto podem-se distinguir as seguintes zonas de decisão [5], [7]:

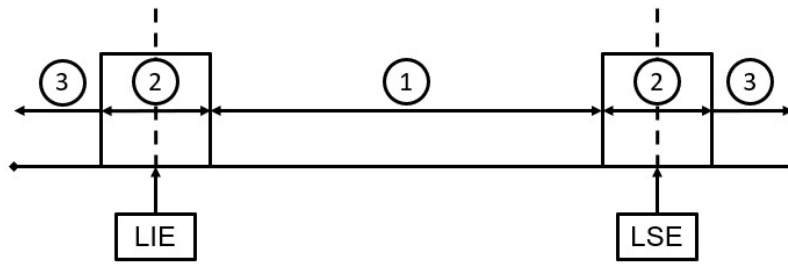


Figura 3.2 Zonas de especificação do produto

Analisando a Figura 3.2, se a característica de certa peça estiver na zona 1 a peça é e será sempre considerada conforme, se estivermos na zona 3 a peça é e será sempre considerada não conforme. Na zona 2 a zona de potencial erro de medição representada pelo quadrado envolvente intersesta os limites de especificação. Isto significa que podem ser efetuadas más decisões:

- Peças conformes serem consideradas não conformes;
- Peças não conformes serem consideradas conformes.

O objetivo é de minimizar a zona 2 que é a zona de potenciais más decisões. Está dependente da variação do sistema de medição: se diminuirmos a variação do sistema de medição iremos melhorar a produtividade. Considerando que o sistema de medição está em controlo estatístico, ou seja, a variação depende apenas de causas comuns e não de causas especiais, considerando também que não temos nenhum desvio (erro sistemático) nas medições, podemos representar a variação das medições na zona 2 segundo uma curva de gauss, Figura 3.3 [7].

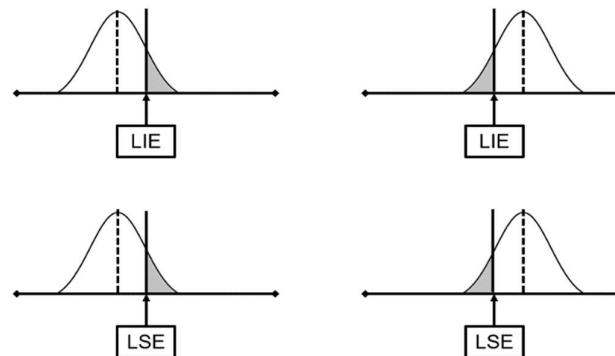


Figura 3.3 Variação de medição em zona de más decisões

Considerando a linha a tracejado como o valor real da cota a ser medida, os valores compreendidos dentro da curva de gauss são os valores obtidos pelo sistema de medição. A cinzento estão representadas as possíveis más decisões anteriormente referidas. Isto acontece apenas quando o valor obtido juntamente com o erro do sistema de medição intersesta o limite de especificação (LIE e LSE).

3.1.1. Métodos de Análise Estatística

3.1.1.1. Método 1: C_g e C_{gk}

Podemos então classificar o sistema de medição segundo a sua variação e comparando com a tolerância do produto. Quanto menor for a tolerância do produto maior será a exigência de pequenas variações no sistema de medição, colocando a tolerância do produto em numerador e a variação do sistema de medição em denominador conseguimos relacionar estas características [7]:

$$C_g = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad 3-2$$

O índice de capacidade é representado pelo C_g , é um valor que procura classificar a variação de um sistema de medição ou de um processo produtivo, valores maiores significam menor variação. O desvio padrão de medições da mesma peça, da mesma característica estão representados pelo σ .

A equação 3-2 é a mais utilizada pela generalidade dos fabricantes [11], mas não por todos. A MAHLE, sendo um fornecedor mundial da indústria automóvel, recorre a uma fórmula mais restrita que vai ao encontro das exigências de todos os seus clientes:

$$C_g = \frac{0,2 * (LSE - LIE)}{4\sigma} \quad 3-3$$

Na Figura 3.3 considerámos que o valor real da cota (linha tracejada) está no centro da curva de gauss (variação das medições), isto nem sempre se confirma na vida real e os valores de medição mais prováveis de serem obtidos (zona central da curva de gauss), podem sofrer um desvio do valor real da cota.

Para analisar este mesmo desvio temos o índice C_{gk} , que acrescenta à equação 3-3, a diferença entre a média das medições subtraído pelo valor nominal da cota. Valores altos de C_{gk} significam que a dispersão das medições está centrada. Os valores nunca são superiores ao C_g , para o mesmo estudo.

O índice C_{gk} classifica então o desvio das medições em relação ao valor nominal

$$C_{gk} = \frac{[0,1 * (LSE - LIE)] - |\bar{X} - X_n|}{2\sigma} \quad 3-4$$

(valor real) da cota X_n , com o valor médio das medições \bar{X} , que é o pico da curva de gauss.

Para uma melhor compreensão gráfica destes índices C_g e C_{gk} , analise-se a Figura 3.4: para valores mais altos de C_g , a variação entre medições é menor. Valores altos de C_{gk} (próximos do C_g), revelam desvio das medições em relação ao valor nominal.

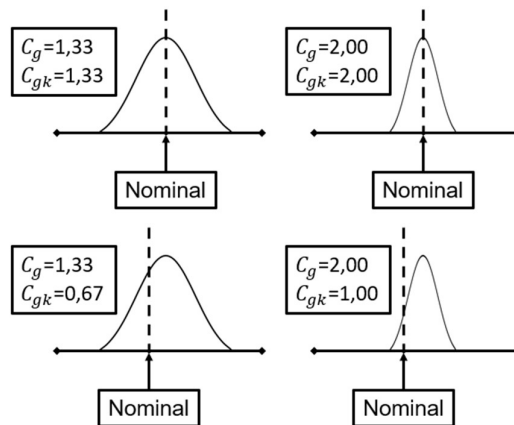


Figura 3.4 Exemplos de dispersão para os índices C_g e C_{gk}

Para a análise do sistema de medição o método 1 é utilizado. São realizadas 28 medições consecutivas da mesma característica, as 3 primeiras medições são descartadas, devido à possibilidade da standardização recente, poder influenciar os dados estatísticos. As restantes 25 medições são alvo das equações 3-3 e 3-4. Um relatório completo está presente no anexo da página 70.

3.1.1.2. Método 3: GRR - ANOVA

O manual MSA 4ª edição feito pela AIAG e o VDA 5º volume utilizam o método de cálculo ANOVA para estimar os valores de repetibilidade e reprodutibilidade, recorrendo

a diferentes abordagens deste mesmo método. Exemplos de abordagens podem ser consultadas na bibliografia [7], [8], [12], [13].

Repetibilidade e reprodutibilidade de um sistema de medição (Gauge Repeatability and Reproducibility – GRR), é a melhor análise de sistema de medição que simula as condições normais de trabalho para um instrumento de medição automático. O método de cálculo utilizado é o do software Q-DAS solara.MP versão 10 [8].

A Repetibilidade é contabilizada pela variação entre medições da mesma característica. Difere do método 1, pois desta vez são 25 peças diferentes que estão distribuídas pela tolerância do produto. São realizados 3 testes consecutivos às 25 peças, onde a variação de medições para a mesma peça é analisada.

A Reprodutibilidade é a variação entre estudos para diferentes utilizadores, é utilizado no método 2, apenas abordado no capítulo 5.1, uma vez que é o método de análise a sistemas de medição que são manuais ou semiautomáticos. Além de ser utilizado para procurar a variação entre pessoas, pode também ser utilizado para máquinas automáticas, mas para diferentes estudos onde, por exemplo, as condições ambientais são diferentes.

Existem duas variantes para o método GRR, uma delas compara a variação do sistema de medição com a do processo produtivo. A outra, compara o sistema de medição com a tolerância da característica do produto que vai medir. Esta última variante é a que vai ser utilizada. Sendo assim, os valores de medição não influenciam os valores de GRR, apenas a variação entre as medições é que são contabilizadas.

3.1.1.2.1.1. Resolução

A resolução de um sistema de medição, ou seja, a unidade mais pequena que ele consegue detetar, tem de ser menor que 5% da tolerância do produto [6], [11]. Este aspeto é fundamental para garantir que o sistema de medição consegue detetar as pequenas variações na característica a medir. Só assim é que conseguimos diferenciar as causas comuns de causas especiais de variação do processo produtivo e efetuar apenas as medidas corretivas necessárias.

3.1.1.2.1.2. Resolução Efetiva (*Number of Distinct Categories – ndc*)

Contabilizando a variação do sistema de medição (*GRR*) e a variação do processo produtivo de determinada característica, *Part Variation (PV)*, obtemos a

resolução efetiva. Também designada de número de categorias distintas. Devolve o número de intervalos de confiança de 97%, da variação do sistema de medição, distintos que podem ser inseridos dentro da espectável variação da característica do produto. Seja o *PV* como o GRR, são resultados em percentagem do método ANOVA para análise de sistemas de medição.

$$ndc = 1,41 * \left(\frac{PV}{GRR} \right) \quad 3-5$$

3.1.2. Estabilidade

O teste da estabilidade realiza-se através da análise gráfica dos resultados das variações do sistema de medição. O objetivo é verificar se o sistema de medição é estável ao longo do tempo. Um dos objetivos é também saber a frequência com a qual novas calibrações têm de ser feitas. Está normalizado que um sistema de medição tem de ser estável e não apresentar mais que 10% da tolerância da característica para as suas variações entre medições da mesma característica, da mesma peça. Um dos gráficos do relatório do método 3 apresenta estes mesmos limites de controlo e variação entre medições:

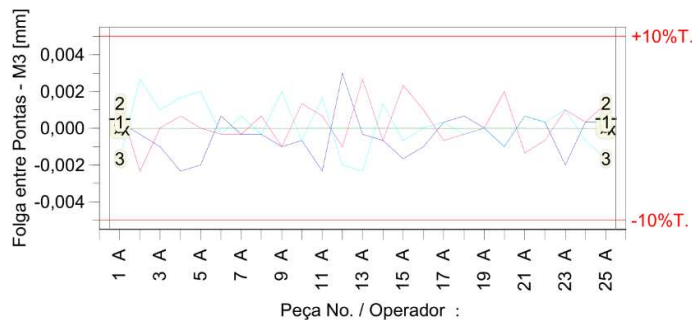


Figura 3.5 Variações nas medições - método 3

3.2. Critérios de Aceitação

Como foi evidenciado anteriormente a MAHLE utiliza os seus próprios métodos de análise de sistemas de medição de maneira a ir de encontro a todos os requisitos dos seus

clientes (CSR). É utilizado o software Q-DAS solara.MP versão 10. Os critérios de aceitação e um resumo do procedimento do método 1 e método 3, são apresentados a seguir na Tabela 1 [6]:

Tabela 1 Critérios de aceitação para sistemas de medição

Método de Análise ao Sistema de Medição		Aprovado	Aprovado com condições	Reprovado	
Resolução	Incrementos da medição	$\leq 5\%$		$> 5\%$	
Método 1	25 Medições do padrão	$C_{gk} e C_g$	$\geq 1,67$	$\geq 1,33 \ \& \ < 1,67$	$< 1,33$
Método 3	3 Testes, 25 peças	GRR	$\leq 20 \%$	$> 20 \ \% \ \& \ \leq 30 \%$	$> 30 \%$
		<i>ndc</i>	≥ 5		< 5
Estabilidade	Análise gráfica	Dentro dos limites de controle		Fora dos limites de controle	

Segundo a norma W-B-801, “BU1 Measurement System Analysis”, para o método 1, estamos em regime aprovado logo que tenhamos $C_{gk} e C_g \geq 1,33$. Mas para a continuação deste trabalho, iremos transpor as regras das capacidades do processo produtivo para a nossa análise do sistema de medição. Tendo em conta a norma W-B-802, “Handling CC/SC in production”, as características críticas e características significativas são alvo de maiores exigências para os estudos de capacidade. Iremos então adotar o regime de aprovado de $C_{gk} e C_g \geq 1,67$ [6], [14].

Aprovado com condições significa, que no caso específico de um sistema de medição, em busca de diminuir a variação nas medições temos as seguintes opções de melhoria:

- Diagrama causa-efeito;
- Análise de modo e efeito de falha;
- Aumento da frequência de verificação de estabilidade e/ou calibração antes de cada medição.

Um exemplo de relatório de análise de sistema de medição pode ser observado nos anexos das páginas 70 e 71, respetivamente.

4. ANÉIS DE PISTÃO

Os anéis de pistão são um dos componentes do sistema de combustão de um motor de combustão interna que estão contidos no pistão. O conjunto pistão/biela com a geração de pressão devido á combustão da mistura ar/combustível na câmara de combustão transforma a energia do combustível em energia mecânica [15], [16].

São os anéis de pistão que garantem a selagem da câmara de combustão aumentando o rendimento, controlam a fina película de óleo entre o pistão e a camisa, diminuem as perdas por fricção e dissipam energia térmica (produto da reação de combustão) para o cilindro.

Os anéis de pistão têm vindo a evoluir continuamente até aos dias de hoje. Novas tecnologias como os anéis de aço nitratado e revestimentos PVD têm evoluído indo de encontro às exigências dos clientes. Atualmente é exigido cada vez mais à indústria da produção de anéis a nível mundial. Maiores taxas de compressão; elevada resistência ao desgaste; tolerâncias geométricas reduzidas, redução de consumo de óleo, estão entre os desafios desta indústria do ramo automóvel [16].

Normalmente são utilizados 3 tipos diferentes de anéis de pistão: anel de compressão, anel raspador e anel de óleo todos eles contidos nas 1ª 2ª e 3ª canaleta.

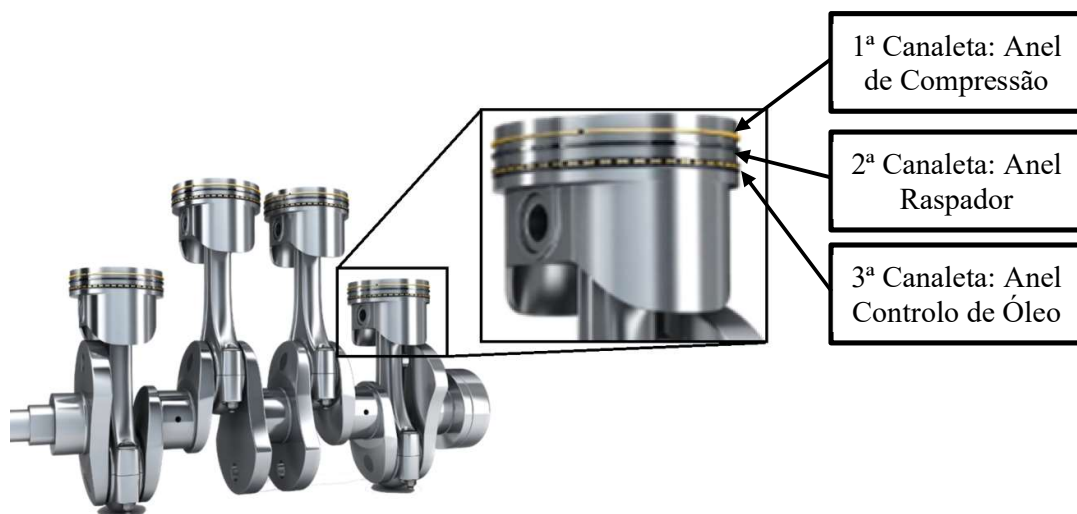


Figura 4.1 Anéis em pistão

4.1. Tipos de Anéis de Pistão

4.1.1. Anel de Compressão

O Anel de Compressão tem como objetivo principal fazer a selagem da compressão (para qualquer motor de combustão interna é essencial selar a compressão de maneira a aumentar o rendimento do ciclo térmico) e têm uma capacidade de vedação de 80% [17]. Estes anéis têm também como objetivo absolver o impacto térmico gerado pela câmara de combustão, transferindo 55% do calor para a camisa do cilindro, protegendo assim o anel raspador e o anel controlo de óleo [18].

4.1.2. Anel Raspador

O anel raspador vai raspar o óleo em excesso da camisa do motor, tendo também como função secundária na vedação da compressão e o auxílio à troca de calor com a parede do cilindro [17]. Devido ao efeito que cria na raspagem do óleo é criada uma fina película de óleo na camisa do motor, diminuindo o atrito e, conseqüentemente, as perdas por fricção.

4.1.3. Anel de Óleo

Este anel também tem a função de raspar o óleo em excesso da camisa do motor e também, devido à sua morfologia, garantir que a película de óleo é uniforme ao longo de todo o diâmetro da camisa.



Figura 4.2 Selagem da compressão



Figura 4.3 Controlo da película de óleo

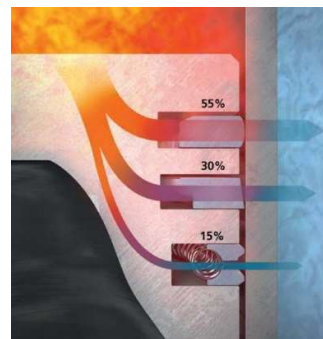


Figura 4.4 Dissipação de calor

4.2. Características

Descrevem-se de seguida as cotas dos anéis de pistão que vão ser estudadas, referindo-se a nomenclatura utilizada na fábrica. Este tipo de standardização é importante para uniformização da nomenclatura utilizada em todo o grupo MAHLE. Facilita-se assim a utilização no planeamento avançado da qualidade, na interpretação dos planos de controlo, na utilização das instruções de manufatura, permitindo uma melhor caracterização das não-conformidades do produto e, também, no presente estudo, facilita a análise dos sistemas de medição.

4.2.1. Espessura Radial

A espessura radial corresponde à diferença entre o diâmetro interno e o diâmetro externo do segmento. Apesar de ser uma cota importante, não é considerada característica significativa (SC) e a tolerância mais comum é de 0,300mm. Como o espaço onde trabalha o anel no pistão (canaleta) tem uma profundidade extra, espaço ocupado pelos próprios gases a alta pressão, esta cota tem uma maior tolerância em relação às restantes. Esta folga na canaleta segundo a radial do anel é necessária para se conseguir uma eficaz selagem dos gases, conforme a Figura 4.2 [16]. Com a ajuda da pressão dos gases no diâmetro interno do anel, todo o anel é empurrado contra a superfície do cilindro, selando a superfície de contacto do anel contra as paredes do cilindro.

4.2.1. Altura

A altura do anel corresponde á distância entre a parte inferior e superior do anel, para anéis com secção transversão trapezoidal e semi-trapezoidal é medida, esta cota é medida a 1,5 mm do diâmetro externo para anéis LV e a 2,5 mm do diâmetro externo para anéis HDD. É uma característica significativa (SC), e as menores tolerâncias desta cota, podem chegar ao 0,020 mm.

Esta característica é importante pois o anel tem de estar confinado na canaleta do pistão com uma certa folga específica, o anel tem de ser capaz de dobrar aquando da subida e descida do pistão. Folga entre o anel e a canaleta, acima da especificação, diminui

a capacidade de vedação da pressão dos gases na câmara de combustão, este fenómeno pode ser observado na Figura 4.6.

4.2.2. Folga entre Pontas

A folga entre pontas é a distância entre as pontas finais do anel, quando o anel está fechado segundo o seu diâmetro nominal. Para muitos dos clientes da MAHLE é considerada uma característica significativa (SC). Qualquer variação padrão desta cota pode afetar o bom comportamento do motor seja em questões de desempenho, durabilidade ou até mesmo de emissões prejudiciais para a atmosfera. Esta folga é importante para evitar que as pontas entrem em contacto durante o funcionamento normal, onde ocorre a expansão do anel devido às altas temperaturas.

A folga entre pontas é considerada uma característica significativa no design dos anéis de pistão. Aquando do aquecimento normal do motor, os anéis dilatam segundo o coeficiente de dilatação térmica em cada direção. Dependendo da diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura de funcionamento, vários coeficientes de dilatação térmica na direção axial podem ocorrer, entre outros fatores, pelo que diferentes valores de folga entre pontas são necessários para os mais variados anéis.



Figura 4.5 Folga entre pontas

Se a folga entre pontas estiver abaixo do LIE, durante o funcionamento normal do motor, devido à dilatação térmica dos anéis, o anel de pistão expande podendo as pontas

serem pressionadas uma contra a outra. Nesta situação, o anel teria de dobrar, podendo mesmo ocorrer a rutura total do motor, Figura 4.7.

Inevitavelmente não é possível obter a selagem dos gases a 100%, os gases de combustão atravessam o pistão e os anéis através da folga da altura entre o anel e a canaleta e da folga entre pontas, Figura 4.6. Também níveis altos para a folga entre pontas aumentam o consumo de óleo consequentemente aumentam as emissões de gases prejudiciais para a atmosfera.

As tolerâncias para esta cota vão de 0,050 mm até 0,300 mm, sendo 0,100 mm a atualmente a tolerância mais comum de folga entre pontas para anéis de compressão.



Figura 4.7 Pontas batem e anel deforma



Figura 4.6 Fuga de gases para o cárter (Blow-By)

Atualmente o desenvolvimento e investigação de um motor de combustão interna preza-se por obter baixo *blow-by* e consumo mínimo de óleo. Otimização das dimensões da folga entre pontas, revelam diminuir estes efeitos.

Para motor em fase de aquecimento, a elevada dimensão da folga entre pontas causa a fuga de gases para o cárter, havendo perda do rendimento do motor. Para motor quente, breves momentos de extrema pressão entre os anéis de 1ª e 2ª canaleta, causam que o anel raspador perca a uniformidade da sua função de raspagem do óleo, acontece o fenómeno de *reverse blow-by*, entrada de óleo excessiva na câmara de combustão. Dimensão excessiva da folga entre pontas aumenta este efeito [20], [21].

5. MEDIÇÃO DE FOLGA ENTRE PONTAS

5.1. Inspeção por amostragem

5.1.1. Calibre e Lâmina

A medição de altura, espessura radial e folga entre pontas é realizada ao longo do fluxo produtivo em amostragem e no bloco final controlo a 100%. Após qualquer processo que machine certa característica há controlo estatístico dos processos através do preenchimento das cartas de controlo.

A folga entre pontas durante a sua maquinação nas retificadoras de topo é controlada através do gráfico XmR da carta de controlo e seguindo o esquema da Figura 3.1. O sistema de medição utilizado é o conjunto calibre e lâmina de folga.

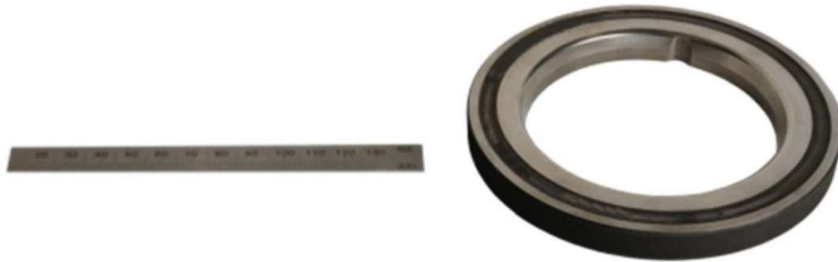


Figura 5.1 Conjunto calibre e lâmina de folga

A anel é colocado no calibre segundo o seu diâmetro nominal e com a ajuda de uma lâmina de folga o operador insere-a na ranhura da folga entre pontas e o valor desta característica é lido na lâmina. Este sistema de medição apresenta algumas desvantagens que dificultam a leitura correta desta característica:

- O desgaste do calibre que exige que sejam feitas correções excessivas às medidas, por vezes chegando aos 0,140 mm apenas de correção;
- A força vertical que é exercida na lâmina está normalizada para ser 100 g, mas não dá como garantir a reprodutibilidade das medições entre operadores;
- A resolução da lâmina é de apenas 0,010 mm e como a variação entre peças é menor, a diferença entre as peças vai deixar de ser visualizada no arredondamento às décimas deste sistema de medição.

- Fator da corrupção nas medições que sempre que possível, tem de ser anulado.

São estas razões que fazem com que este sistema de medição não seja capaz de medir com o rigor necessário a folga entre pontas para a tolerância reduzida, a seguinte Tabela 2 mostra os valores do estudo RR realizado [22]:

Tabela 2 Resultados %RR - Conjunto calibre/lâmina

Tolerância [mm]	% RR
0,300	22,34
0,200	33,52
0,150	44,69
0,100	67,03
0,050	134,06

5.1.2. Medição Folga Reduzida – KEYENCE

Há cada vez mais a necessidade, por parte dos clientes, da folga entre pontas ter um limite de especificação cada vez mais apertado. Atualmente grande parte dos anéis já tem tolerância de 0,100 mm, mas projetos futuros exigem tolerância de 0,050 mm, entre o LIE e o LSE. Sendo a folga entre pontas uma característica significativa, aumenta a exigência de capacidade das máquinas que maquinam esta característica e também aumenta consideravelmente o rigor exigido aos instrumentos de medição.



Figura 5.2 Medição de folga reduzida - KEYENCE

A máquina de inspeção de folga reduzida da KEYENCE é atualmente a melhor solução no mercado para inspeção desta característica com tolerância reduzida, Figura 5.2. Utiliza câmaras de visão artificial para a obtenção das arestas da cota, e posteriormente o software de processamento de medidas, que é customizável. Este tipo de ferramenta é também utilizado pela MID e vai ser abordado em maior detalhe na página 29, Sistema de Visão Artificial.

Tabela 3 Resultados índices de capacidades de medição de folga reduzida - KEYNECE

		C_g	C_{gk}
Método 1	1 peça; 25 repetições	2,91	2,55
		3,52	3,36
		% GRR	
Método 2	10 peças; 2 pessoas; 2 repetições	17,72	
	10 peças; 2 pessoas; 3 repetições	21,55	
	10 peças; 3 pessoas; 3 repetições	23,75	

Os testes foram realizados nas instalações do fornecedor. Ao aumentarmos as pessoas e/ou repetições nos testes RR, entramos em regime de aprovado com condições, (cf. Tabela 3). Isto é derivado às variações mínimas de temperatura decorridas ao longo do período de testes, juntamente com a variabilidade no posicionamento da folga entre pontas na foto capturada.

A limpeza é também um fator crucial, foi observado que, as mínimas partículas de poeira no ambiente, aderem ao anel em poucos segundos, criando variação nas medições. Para a obtenção dos índices de capacidade pretendidos durante o seu funcionamento é necessário a limpeza rigorosa de cada anel antes da medição, (cf. Figura 5.2).

5.2. Inspeção a 100%

5.2.1. Máquina de Inspeção Linear – IPL

A medição neste momento, em termos de controlo a 100% da folga entre pontas, é realizada através das máquinas IPL. Elas fecham o anel até ao limite, até as pontas baterem. Os valores de folga são obtidos por comparação do deslocamento das sapatas de fechamento, com o valor de folga de um anel conhecido, o anel padrão.

Estas máquinas têm alimentação e descarga automática, controlam a 100% os valores de altura, espessura radial e da folga entre pontas, características significativas na manufatura de anéis de pistão. As IPL mais recentes utilizam sensores *encoders* de alta precisão HEIDENHAIN, com resolução de 0,001 mm.

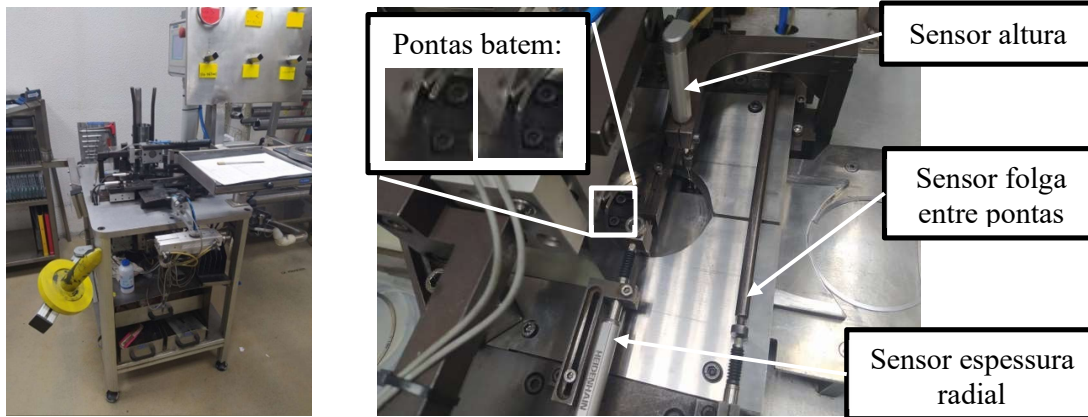


Figura 5.3 IPL - Máquina de Inspeção Linear - IPL

Têm a enorme desvantagem de ao bater as pontas de criar lascas. Devido aos revestimentos duros e frágeis atualmente nos anéis de pistão, a mínima não conformidade de *setup* da máquina ou morfologia da folga entre pontas que possibilite a criação de lascas pode ser prejudicial para um lote inteiro. A tecnologia atual dos anéis com revestimentos PVD é propícia a este fenómeno, os revestimentos são de pequena espessura (20 μm) e dureza elevada (1800 HV). O chanfro das pontas é também de pequenas dimensões, 0,100 mm no máximo, faz com que os valores estejam geralmente compreendidos entre 0,050 e 0,080 mm. Inspeção a 100% da folga entre pontas neste sistema de medição não é o mais aconselhado devido ao batimento das pontas. Além disso apresenta baixos índices de capacidade, e não é capaz de inspeção da folga de tolerância reduzida (0,050 mm):

Tabela 4 Resultados RR da medição de folga entre pontas - IPL

Tolerância [mm]	% RR
0,100	25,44
0,050	50,87

5.2.2. Single Piece Traceability – SPT

A SPT é uma máquina de inspeção automática a 100% que inspeciona: perfil da face de contacto; espessura radial e folga entre pontas através de câmaras de visão artificial. Inspecciona também o chanfro da FC e a altura.

Tem a particularidade de gravar peça a peça um código *datamatrix*, que confere a rastreabilidade anel a anel, com todas as cotas que lhe são inspecionadas.

Todo o funcionamento deste sistema de medição pode ser transposto para a máquina de inspeção dimensional (MID) do qual resulta este trabalho. As capacidades da SPT são as seguintes:

Tabela 5 Resultados %RR da medição de folga entre pontas - SPT

	Estudo:	1	2	3
Tolerância [mm]	0,100	14,52	20,98	10,56
	0,050	29,03	41,96	20,92

A máquina SPT, nasce fruto do grande conhecimento do fornecedor, na indústria de anéis de pistão. Os 3 testes RR da Tabela 5, foram transpostos para a tolerância 0,100 e 0,050 mm. Reparamos que para uma tolerância de metade do valor, a exigência de baixa dispersão praticamente que duplica, um resultado de 10,56% para tolerância 0,100 mm, significa 20,92% de dispersão para tolerância 0,050 mm.

Estas capacidades da SPT, revelam a possibilidade de trabalhar com tolerância reduzida, mas em regime de aprovado com condições. Durante a fase SAT da aprovação da MID, vai decorrer um período de pesquisa e desenvolvimento com objetivo de identificar e combater esta variabilidade nas medições.

6. MÁQUINA DE INSPEÇÃO DIMENSIONAL

A máquina de inspeção dimensional (MID) tem funcionamento automático, sendo apenas necessário a alimentação de varas de anéis de pistão e a consequente descarga, tem capacidade de realizar a inspeção de 20 anéis por minuto.

A MID está equipada com o mais recente PLC da Siemens que controla os acionamentos pneumáticos, servos motores, robot, câmaras e sensores. O computador HP tem um bom processador, que é essencial para o processamento rápido das imagens, bem como para a comunicação com o HMI, há também uma bateria UPS (1200 VA) que protege o computador e toda a máquina de falhas de energia, Figura 6.1.



Figura 6.1 Computador, UPS e PCL da MID

As câmaras são de sensor CMOS com 18 MP, captura 1 foto monocromática dos contornos do anel com resolução de 4912 x 3684. O tamanho do pixel no sensor é de 1,25 μm . Devido ao sistema de lentes incorporado e customizado para a aplicação, representado na Figura 6.4 a tracejado, a dimensão do pixel da imagem é aproximadamente 1,50 μm .

Podemos diferenciar 2 zonas distintas na MID:

1. Zona de Inspeção Perfil/Chanfro;
2. Zona de Inspeção de Folga/Radial/Altura.

Na 1ª zona temos uma câmara que inspeciona o perfil da face de contacto e um sensor laser que verifica a existência dos chanfros da FC. Caso o anel esteja invertido, as cotas do perfil da FC não estejam conforme a especificação e/ou não exista chanfro da FC, automaticamente a máquina reprova o anel singular e segue o seu ciclo automático continuando a verificação dos restantes anéis.

Na 2ª zona temos desta vez duas câmaras, uma delas para verificar a dimensão da folga entre pontas, a outra para verificar a dimensão da espessura radial; há também um sensor de contacto de alta precisão que verifica a altura do anel. Nesta zona, e devido à inspeção da folga entre pontas, o anel precisa de estar confinado ao seu diâmetro nominal. Isto é conseguido através de 2 sapatas que, em conjunto, colocam e fecham o anel segundo o seu diâmetro nominal, simulando assim o seu posicionamento na camisa do motor.

Após esta zona, o anel é transportado por um robot KUKA, caso o anel esteja conforme as especificações, para as varas de descarregamento, caso contrário existem 3 pinos de reprovação para a folga entre pontas, altura e espessura radial respetivamente.

A MID guarda num ficheiro .CSV todos os dados adquiridos dos anéis, podendo mais tarde serem facilmente consultados, seja para controlo dos processos de produção seja devido a reclamações dos clientes.

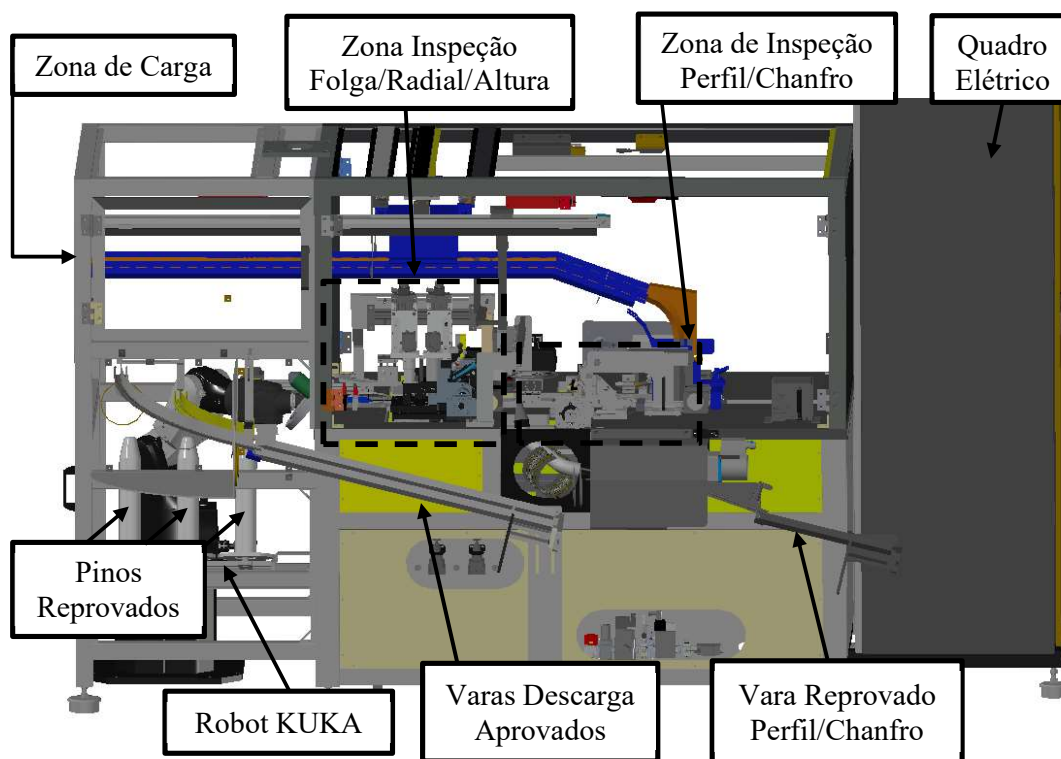


Figura 6.2 Zonas Máquina de Inspeção Dimensional

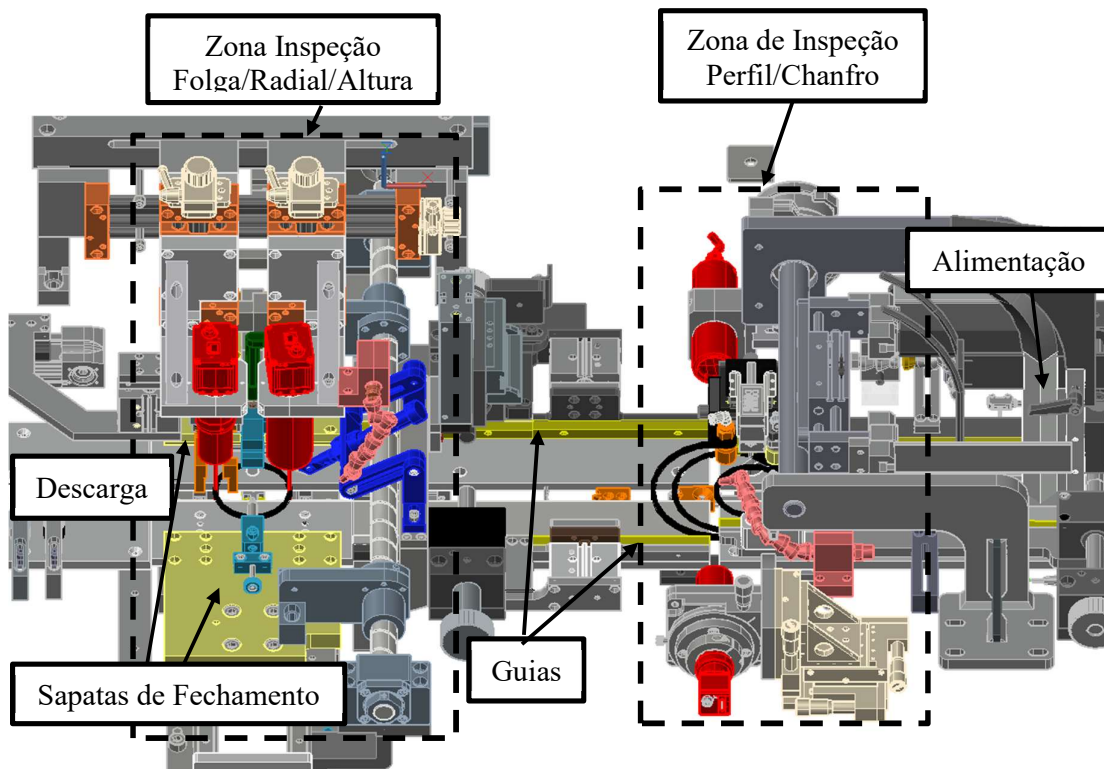


Figura 6.3 Interior Máquina de Inspeção Dimensional

6.1. Sistema de Visão Artificial

Como foi dito anteriormente a MID possui 3 câmaras de alta resolução. É através da identificação dos pixels que contém o anel e os que não contêm, que a MID deteta as arestas do anel, conseguindo assim medir as cotas necessárias. O sistema de visão na Figura 6.3 está representado a vermelho e é composto pela lâmpada, lente e câmara.

A lâmpada na zona de inspeção perfil/chanfro possui uma lente que direciona os feixes de luz na direção na câmara. A lâmpada na zona de inspeção de folga/radial/altura possui um difusor de luz em acrílico. Ambos os sistemas da lâmpada têm o objetivo de criar a zona branca da foto, ou seja, a zona da foto que não contém o anel.

As lentes do sistema ótico, são lentes telecêntricas. Essenciais para sistemas de medição por visão artificial, uma vez que anulam o erro de paralaxe, de que objetos próximos pareçam maiores que objetos mais distantes da lente.

Um sistema de sopro, representado a rosa na Figura 6.3, retira a sujidade das arestas do anel em ambas as zonas de inspeção. Este aspeto, é crítico pois á escala de 1 μm quaisquer eventuais partículas de pó ou humidade podem causar desvios nas medições até 0,020 mm [23].

O sistema de medição contém software de pré-processamento, que reduz o ruído da foto monocromática. Este ruído é contabilizado pela média aritmética dos níveis de cinzentos.

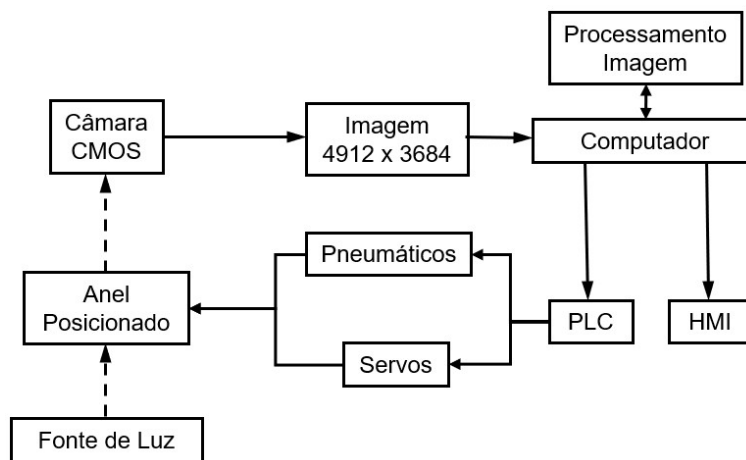


Figura 6.4 Fluxograma Inspeção Visão Artificial

Diferentes empresas e diferentes aplicações utilizam diferentes softwares de processamento de imagem. Um exemplo é a empresa KEYENCE, que utiliza as próprias escalas de cinzentos para adquirir a posição das arestas [24] e medem a posição da aresta em unidades de 0,001 pixel.

Na generalidade dos sistemas de medição por visão artificial, são adquiridas posições virtuais da aresta e são desenhados os contornos com a melhor precisão possível. Contabiliza-se digitalmente cada um dos pixels atribuindo-lhe um número entre 255 (pixel branco), e 0 (pixel preto, que contém o anel), todos os pixels que têm um número entre os anteriores são os pixels cinzentos que, estão contidos nas arestas do anel seja qual for a cota que estamos a medir. Existem quando não há a distinção entre pixel preto e branco que contém ou não, respetivamente, o anel. Pixels cinzentos são de evitar pois são uma fonte de erros para o software de pré-processamento e para a consequente medição.

Depois de todos os pixels serem transformados digitalmente, temos o software de pós-processamento. Este vai traçar os pontos das arestas dos anéis conforme os dados

retirados da foto, e atribuir um valor à cota pretendida, na Figura 6.5 está um exemplo do processamento das cotas.

Na verdade, as câmaras não medem, elas comparam um anel padrão, com o anel que está a medir no preciso momento. Este anel padrão tem as cotas conhecidas e é calibrado na máquina a cada 2000 medições, o software guarda o número de pixels deste anel padrão e atribui-lhes determinado valor em mm, vai ser analisada a conformidade deste sistema de calibragem na página 48, [25], [26].

Este tipo de sistema de medição é necessário ser construído desde raiz a pensar na aplicação futura. No caso presente, o sistema vai medir as cotas referidas anteriormente em 4.2. A máquina MID é uma máquina protótipo, tendo sido necessário realizar um vasto conjunto de testes intensivos de maneira a aproveitar ao máximo a capacidade de medição destas câmaras.



Figura 6.5 Exemplo de processamento de cota por visão artificial - KEYENCE

7. APROVAÇÃO DE MÁQUINA

O período de estágio foi inserido na fase de aprovação da máquina, mais propriamente no SAT (*Site Acceptance Test*), período de testes na fábrica. Esta fase é caracterizada pela chegada à fábrica da máquina MID, máquina de inspeção dimensional, e a consequente fase de testes. O objetivo é procurar qualquer falha de segurança ou de funcionamento, sendo também verificado se a máquina atende as características de funcionamento segundo o contrato de especificações [27].

Durante todas as fases na aprovação de uma máquina industrial, há dois documentos que constantemente são atualizados e reforçam a documentação. Um deles é a lista de defeitos, página 67, onde todos os defeitos e/ou opções de melhoria são identificados, juntamente com a pessoa responsável em os resolver e a sua DL. O outro é a lista de verificação de documentos, que mantém atualizada a eventual necessidade de documentação da máquina, seja de desenhos, diagramas, esquemas, certificações, juntamente com a verificação de todos os backups necessários de software.

7.1. *Factory Acceptance Tests - FAT*

O fornecedor da MID teve de executar a fase do FAT, que consiste em todo o período de testes ainda nas instalações do fornecedor. Esta etapa foi acompanhada por um responsável técnico da MAHLE e onde foi necessário:

- Verificar os requisitos de segurança;
- Receber formação por parte dos construtores/projetistas da máquina;
- Realizar testes de desempenho, resultados e aptidão da máquina segundo o contrato técnico de especificações e a norma interna PO-PE-008;
- Elaborar relatório preliminar de aceitação, realizado pelo responsável técnico da MAHLE.

Se a máquina falha na aprovação durante esta fase de testes, é necessário efetuar ações corretivas até a máquina estar apta a realizar o seu trabalho com robustez, segundo as características que foram acordadas inicialmente entre ambas as partes.

A MID realizou o FAT em julho de 2019 onde foram realizados os testes de análise ao sistema de medição. Foi utilizado o anel $\varnothing=75\text{mm}$ da Tabela 6, estudos C_g , C_{gk} e RR foram realizados para analisar o sistema de medição, e classificar o desempenho da MID nesta fase.

Tabela 6 Características do anel $\varnothing=75\text{mm}$ da PSA do motor 1.6HDI

Código MCM	CDSLHLJ – 75,00 – 1,75 – 2,80		
Referência n°	09894657 - AN76558		
Diâmetro do Anel	$\varnothing= 75 \text{ mm}$		
	Min [mm]	Máx [mm]	Tolerância [mm]
Altura Semi-Trapezoidal	1,642	1,666	0,024
Espessura Radial	2,500	2,800	0,300
Folga entre Pontas	0,150	0,250	0,100

Tabela 7 Resultados índices de capacidade FAT $\varnothing=75 \text{ mm}$

		24/07/2019	25/07/2019	29/07/2019
Altura Semi-Trapezoidal	C_g	1,53	5,00	5,00
	C_{gk}	1,16	2,60	2,60
Espessura Radial	C_g	40,00	16,80	16,00
	C_{gk}	37,60	15,04	15,40
Folga entre Pontas	C_g	3,57	1,58	4,90
	C_{gk}	3,23	1,47	4,43

Tabela 8 Resultados repetibilidade e reprodutibilidade - RR - FAT $\varnothing=75$ mm

	%RR
	18/07/2019
Altura Semi-Trapezoidal	12,96
Espessura Radial	2,49
Folga entre Pontas	40,39

O estudo C_g e C_{gk} revelaram variações nas medições de altura e de folga entre pontas. Medidas corretivas foram realizadas até a máquina atender as características para o qual foi projetada. A MID reprova na inspeção de folga do estudo RR, que é medida através das câmaras de visão artificial. Obteve-se variação entre medições, podem ser analisadas na página 71.

A dispersão obtida na cota de altura não é de todo significativa e a dispersão na medição da folga entre pontas considera-se que foi influenciada pela limpeza dos anéis. Opções de melhoria vão transitar para a fase do SAT, desta vez já nas instalações da MAHLE.

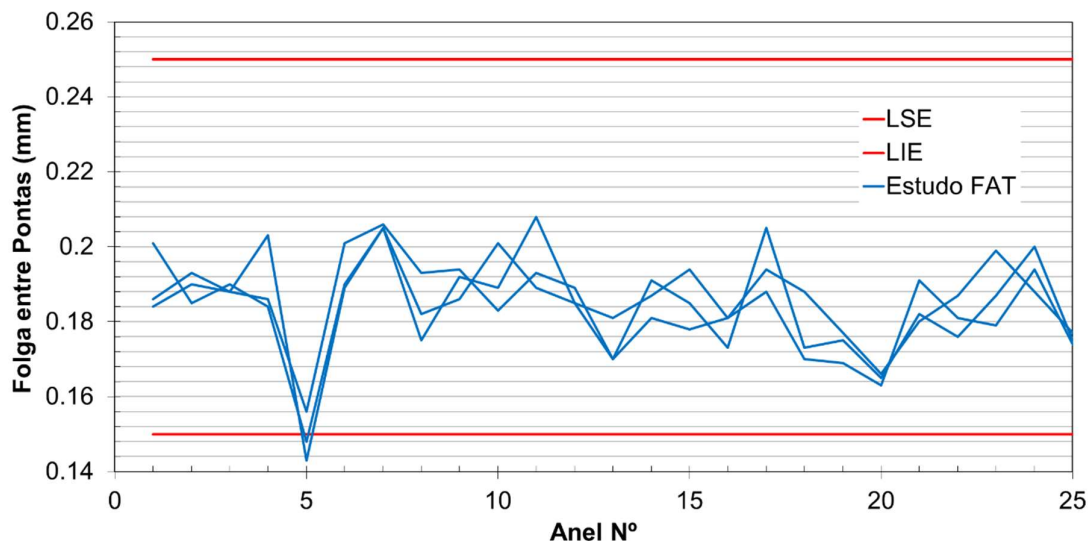


Figura 7.1 Medições estudo RR – FAT Ø=75 mm

Com a análise do estudo RR verificamos que entre cada uma das 3 medições ao mesmo anel temos grande variação nas medições obtidas. As 3 passagens representadas a azul na Figura 7.1, correspondem á evolução das medições dos 25 anéis do estudo RR que obteve 40,69% de dispersão.

Estamos presentes uma situação onde as linhas de cada teste não são paralelas entre si, apresentam diferentes ângulos. Isto revela que há interação entre os testes, efeito de duas ou mais fontes da variabilidade nas medições [7].

Segundo [7] um sistema de medição é capaz de avaliar com confiança as cotas de produtos quando a variação entre medições não é superior a 10% da tolerância do produto. Na Figura 7.2 verificamos que a variação entre medições está fora de controlo. No diagrama de extremos e quartis, o valor máximo e mínimo de variação entre medições foi de 0,019

mm e 0,001 mm respetivamente, com uma média de 0,012 mm, 50% da variação é entre 0,008 e 0,017 mm.

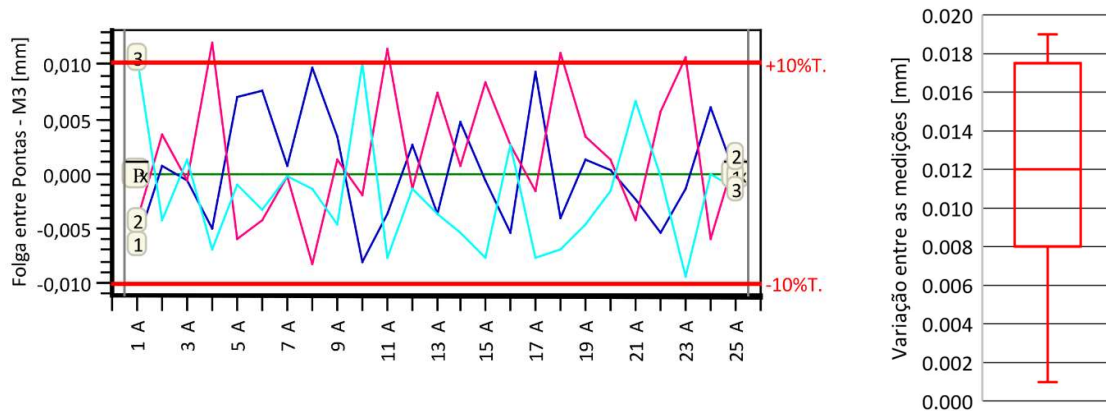


Figura 7.2 Variação nas medições da folga entre pontas – FAT $\varnothing=75$ mm

O equipamento considerou-se então aprovado com condições pelo teste C_g e C_{gk} e reprovado no teste de repetibilidade e reprodutibilidade (RR). Focando na medição da folga entre pontas, que em alguns testes chegou mesmo a ser aprovada pelo C_g e C_{gk} , mas reprovada pelo RR, revelou-se que o sistema automático da máquina estava a influenciar negativamente as medições. Seria assim dada prioridade na próxima fase de aprovação da MID em resolver as causas das variações e revelar a verdadeira capacidade deste equipamento de medição. A próxima fase designa-se por SAT (*Site Acceptance Tests*), e é caracterizada pela chegada da máquina à fábrica onde irá futuramente trabalhar, continuação dos testes e resolução das causas comuns e especiais, caso não esteja conforme.

7.2. Site Acceptance Tests – SAT

7.2.1. Lista de Defeitos

A primeira medida realizada foi a atualização da Lista de defeitos, objetivo da depuração de toda a máquina dividido em:

- Problemas PLC/HMI: Todo o tipo de problemas na ótica do utilizador que surgiram, foi testada a máquina intensivamente de maneira a descobrir eventuais falhas de segurança que pudessem pôr em perigo a máquina ou o utilizador.

- Problemas de Ciclo Automático: Eventuais falhas durante o ciclo normal automático da máquina, a mínima falha no transporte dos anéis ou não conformidade de alguma operação automática, a máquina tem de ser capaz, através dos seus sensores, de detetar o problema e parar.
- Problemas Mecânicos: Todo o tipo de não conformidades ou de eventuais melhorias á estrutura e ferramental da máquina

Todos os problemas de PLC, HMI e de ciclo automático foram resolvidos, remotamente por técnico especializado do fornecedor. Os problemas mecânicos foram resolvidos em conjunto com o responsável de projeto mecânico da máquina e com a alteração de algum ferramental, página 43.

7.2.2. Layout

Foi decidido que a MID, irá trabalhar no futuro com os anéis LV de revestimentos PVD. Irá ser colocada no atual bloco final de produção da sublinha do aço. Esta sublinha no futuro vai processar um maior número de anéis que o atual, e todo o layout do seu bloco final teve de ser redesenhado.

Para a realização de layouts têm de ser tomados em conta diversos aspetos:

- As máquinas e/ou células produtivas têm de estar dispostas segundo a ordem do processo produtivo dos anéis.
- Os corredores têm de ter no mínimo 0,90 m de largura. Portas de máquinas que precisam de abrir esporadicamente, a sua área de abertura pode conter os corredores.
- Os postos de trabalho têm de ser pensados na ergonomia dos trabalhadores e na produtividade.

Foi utilizado o software AutoCAD, e os desenhos podem ser consultados no apêndice Layout Bloco Final Sublinha Aço da página 76.

7.2.3. Método de Trabalho Padronizado

O método de trabalho padronizado é um documento presente no posto de trabalho, que se destina apresentar todas as funções de trabalho de sequência repetível e periódica. É um documento de apoio ao operador e de fácil visualização por todos os profissionais da MAHLE.

Na capa contém os aspetos ambientais e as boas práticas de segurança que são específicas da máquina. No apêndice “MTP – Método de Trabalho Padronizado” as instruções detalhadas dos procedimentos operacionais de trabalho e procedimentos de *setup*, acompanhados com as figuras onde as setas vermelhas indicam o local específico da ação e setas amarelas indicam chamadas de atenção.

7.2.4. Centragem da Folga na Imagem

Sabemos que para obter os melhores resultados, ou seja, menor erro associado ao sistema de medição conforme a fórmula 3-1, temos de diminuir a variabilidade das medições, a Figura 7.2 mostra que temos variação até 0,019 mm.

Uma das fontes de variabilidade, é a posição da folga na imagem. O sistema de pós processamento: de tracejamento de pontos, obtenção de coordenadas e medição da imagem está dependente do posicionamento da folga entre pontas na imagem.

De maneira a obter a menor variabilidade possível, as medições têm de ser feitas existindo robustez no processo e manutenção das mesmas condições. Na seguinte Figura 7.3, podemos verificar a diferença no posicionamento da folga dentro da imagem, é um exemplo da máquina SPT, conceito e funcionalidades parecidas com a MID, mas com a opção extra da rastreabilidade peça a peça, página 25.

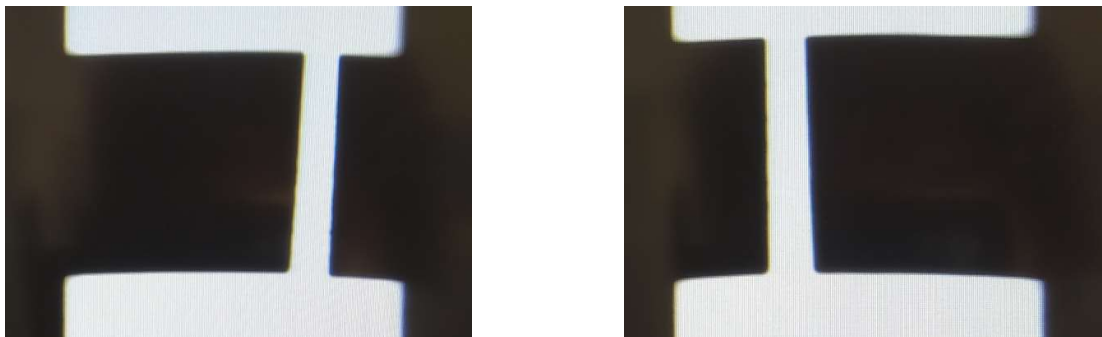


Figura 7.3 Exemplo medições folga entre pontas - SPT-01

O estudo RR da fase do FAT da MID, Figura 7.1, reparamos que as linhas correspondentes às 3 passagens, não são paralelas entre si. Revela variabilidade aleatória nas medições, detetada pela análise gráfica. Medidas apropriadas devem ser tomadas para acabar com esta fonte de variabilidade.

7.2.4.1. Lâmina Alinhadora

Para acabar com este problema foi necessário rever os procedimentos de setup. A folga do anel é mantida no centro com a ajuda de uma lâmina de aço temperado de 0,200 mm de espessura. Esta lâmina por ser extremamente fina, dobra facilmente aquando do fechamento das sapatas, o que provoca gap desalinhado conforme a Figura 7.3 e consequente variação nas medições.

Passou a estar padronizado a maneira mais eficaz de posicionar a lâmina. Se a folga entre pontas contactar a lâmina na parte superior (junto ao seu suporte), mesmo que a lâmina dobre, como a folga contacta uma parte da lâmina que sofre menos deslocamento, então vamos conseguir uma melhor centragem da folga na imagem.

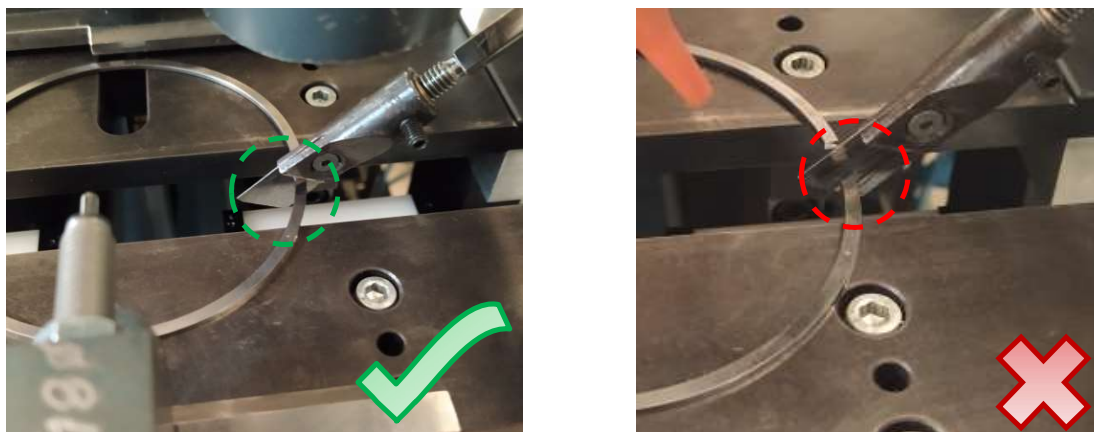


Figura 7.4 Boa prática de setup para lâmina alinhadora

7.2.4.2. Posição Inicial

Outro aspeto igualmente importante é a posição inicial do anel antes do fechamento das sapatas. As sapatas fecham através de um fuso ligado a um servo motor, as sapatas (a amarelo na Figura 6.3) fecham até haver colisão de um batente em aço (a azul na Figura 6.3). Este acionamento acontece em pouco tempo, cerca de 200 ms. O anel ao ser fechado, vai se acomodar ao seu diâmetro nominal, e a folga vai ser alinhada conforme a lâmina.

Depois de testes, foi concluído que os pontos das sapatas que contactam com o anel primeiro, se forem longe da lâmina, obtemos melhor centragem da folga entre pontas

na imagem. Isto porque, caso contrário, com diferentes pontos das sapatas a contactarem inicialmente os anéis cria-se variabilidade no posicionamento.

A solução foi encontrada com o anel ser transportado para uma zona ligeiramente avançada, ou seja, o anel ser transportado cerca de +/- 5 mm avançado (Figura 7.5) em relação á posição onde ele se vai encontrar após o fechamento das sapatas (Figura 7.6)

Na Figura 7.5, é entre as garras de extração de ferramental, a vermelho, que a imagem para medição de espessura radial é capturada. O anel ao ser posicionado ligeiramente avançado os primeiros pontos onde as sapatas contactam vai ser próximo desta zona.

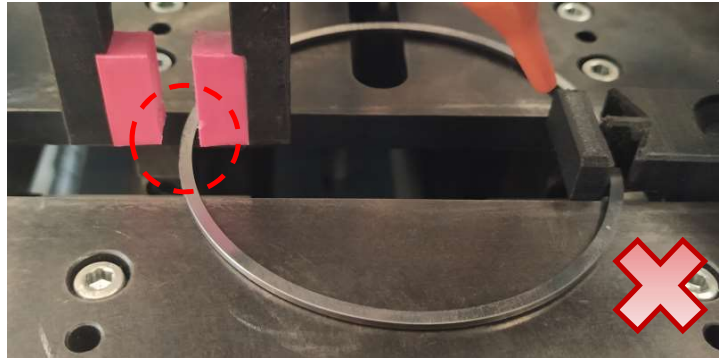


Figura 7.6 Anel posicionado na posição de sapatas fechadas

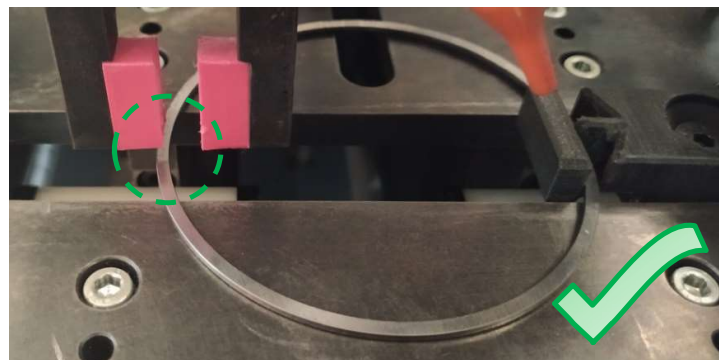


Figura 7.5 Anel posicionado ligeiramente avançado

Após este primeiro contacto, uma das pontas do anel contacta com a lâmina, (conforme a Figura 7.4, mas durante o fechamento das sapatas). Como este primeiro contacto das sapatas é longe da lâmina, há melhor facilidade em acomodar todo o diâmetro do anel á posição o mais centrada possível.

7.2.4.3. Guias

As guias são de ERTALYTE®, plástico de engenharia com elevada resistência ao desgasta e baixo coeficiente de atrito. Alinham o anel ao longo de todas as zonas da MID (a amarelo na Figura 6.3). São posicionadas para cada diâmetro de anel, através de acionamentos manuais de fuso e também com parafusos LNP (manuais).

Em outras máquinas é usual o posicionamento das guias ser realizado ao mesmo tempo para ambas, ou seja, rodar um fuso e ambas as guias abrem ou fecham, devidamente centradas. O mesmo não acontece na MID, por ser uma máquina extremamente compacta comparativamente com outras máquinas das mesmas funções. A regulação das guias também é manual, mas singular para cada uma. Ao deslocar, por exemplo, a guia esquerda, temos de certificar-nos de deslocar a guia direita de maneira ao conjunto estar centrado. Isto torna o *setup* demorado e propício a maus posicionamentos.



Figura 7.7 Zona carga transferidor de ferramental

Tanto a centragem das guias como a largura das mesmas ao longo do trajeto (desde a alimentação até à zona inspeção folga/radial/altura, Figura 6.3), são cruciais para a robustez no posicionamento dos anéis e consequentemente para a reprodutibilidade nas medições.

Além de termos de garantir que o anel é devidamente transferido entre cada ferramental de transporte, exemplificado na Figura 7.7, também temos de garantir uma transição suave na saída do anel das guias conforme a Figura 7.8. O anel junto à saída das guias, se estiver demasiado preso, ao sair vai haver libertação repentina da energia potencial elástica. Podendo levar novamente ao mau posicionamento do na futura inspeção.



Figura 7.8 Zona final das guias

Como solução foram criados ferramentais SMED, *Single Minute Exchange of Die*, sendo uma máquina versátil, podendo trabalhar com anéis na gama dos $\varnothing=70$ mm até $\varnothing=150$ mm, no futuro vai ser necessário a troca rápida e eficaz do seu *setup*. Trata-se de padrões para a regulação das guias, diminuindo imenso o tempo de afinação, e anulam a necessidade de ter de voltar a etapas anteriores durante os procedimentos de *setup*.



Figura 7.10 Padrões posição das guias - SMED



Figura 7.9 Padrão zona de alimentação - SMED

7.2.4.4. Ferramental de Transporte

O ferramental de transporte de anel tem as dimensões precisas para a MID funcionar com este procedimento. Foram corrigidas algumas cotas, nomeadamente no transferidor ferramental para LV. Criaram-se então 2 conjuntos de transferidores de ferramental, um para LV e outro para HDD. A precisão de todo o conjunto guias/ferramentais de transporte/folga do anel pode ser observado a seguir:



Figura 7.12 Anel posicionado em zona inspeção perfil/chanfro



Figura 7.11 Pino extração perfil/chanfro a trocar anel com transferidor ferramental

De notar na Figura 7.12 que a régua transporta o anel com as pontas no limite de contactarem as 2 faces do bico da régua. Nunca se deve deixar que as 2 pontas contactem os bicos do ferramental, pois iria ser exercida pressão nas pontas do anel. No entanto as guias têm de exercer a força suficiente nas laterais de maneira a que o anel pare na zona de inspeção de perfil/chanfro. No final do percurso do pino extração perfil/chanfro o anel já está ligeiramente mais aberto, mas novamente tem de estar suficientemente preso pelas guias para trocar com o transferidor de ferramental, este último transporta o anel até á zona de inspeção folga/radial/altura.

Com estes últimos procedimentos conseguimos anular o fator fonte de variabilidade devido ao posicionamento da folga. Verificamos nas imagens capturadas durante os estudos, que a posição da folga se mantém centrada Figura 7.13.

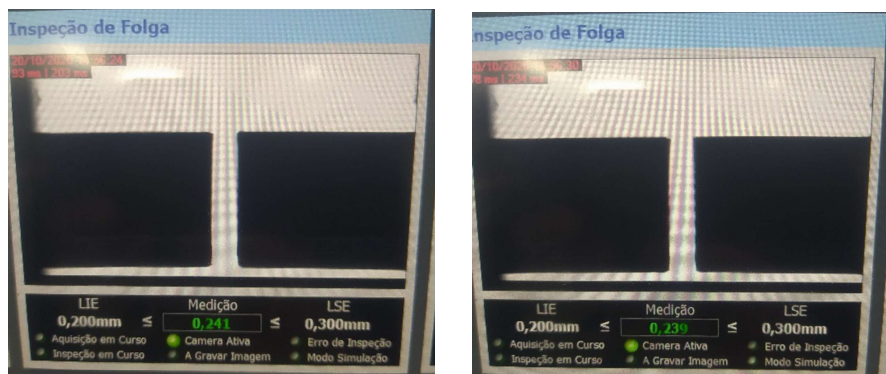


Figura 7.13 Posicionamento da folga centrado para todos os anéis

7.2.5. Resultados SAT

Antes destas últimas ações de melhoria de ferramental e de procedimentos de *setup*, tínhamos presente variabilidade aleatória significativa nas medições da MID que até agora não eram explicadas, Figura 7.1. Continua a existir variações entre medições após estas ações de melhoria, mas reparamos que as linhas de cada passagem do estudo RR,

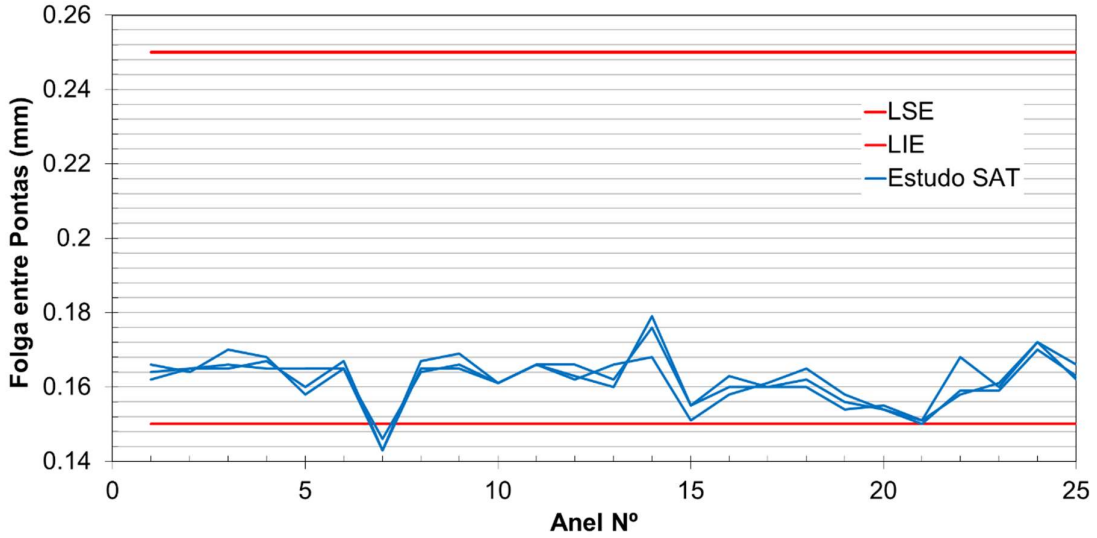


Figura 7.15 Estudo SAT $\varnothing=75$ mm - Após ações de melhoria de posicionamento

Figura 7.15, estão cada vez mais paralelas entre si comparativamente com o estudo RR realizado no FAT. Também a variação entre medições desceu significativamente.

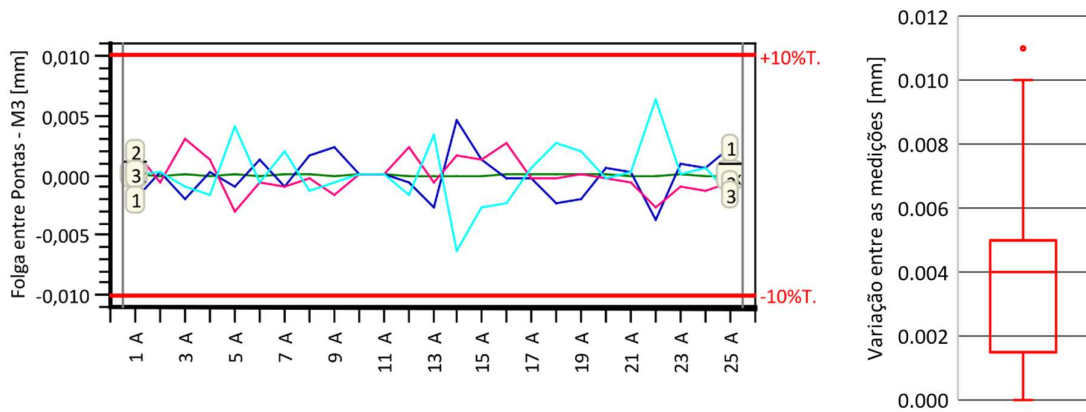


Figura 7.14 Variação nas medições da folga entre pontas – SAT $\varnothing=75$ mm

Relembrando que antes tínhamos variação média de 12 μm e máxima de 18 μm , obtendo desta vez apenas 11 μm de variação máxima e 4 μm de variação média.

Tabela 9 Resultados índices de capacidade – SAT MID

Estudo:		1	2	3
PSA $\varnothing=75,00$ mm	C_g	6,25	6,32	5,88
	C_{gk}	5,72	6,14	5,78
BMW $\varnothing=84,00$ mm	C_g	5,11	7,65	8,18
	C_{gk}	4,62	6,52	7,33

Tabela 10 Resultados %RR - SAT MID

Estudo:	1	2	3
PSA $\varnothing=75,00$ mm	12,35	13,34	15,18
BMW $\varnothing=8,00$ mm	11,80	10,93	9,30

Os resultados dos índices de C_g , C_{gk} e %RR são favoráveis para a tolerância normal (0,100 mm), (cf. Tabela 9 e Tabela 10). A máquina continuou em testes para aprovação dos anéis PVD LV, que são caracterizados por alturas baixas e revestimentos de alta dureza.

Uma melhor descrição detalhada dos resultados das capacidades na fase do SAT, pode ser analisada nos anexos Relatório SAT – MID das páginas 79 até 83.

8. TOLERÂNCIA REDUZIDA

Projetos futuros revelam a necessidade de produzir anéis com tolerância de folga de 0,050 mm. Este tipo de exigência requer um estudo completo sobre as capacidades do processo e posteriormente das capacidades do sistema de medição seja de amostragem, seja da inspeção a 100%.

A MID foi projetada para inspecionar a folga entre pontas tendo uma variação admissível para tolerância de 0,100. As fontes de variação nas medições vão ser analisadas, em busca de melhorias e passos futuros a ter em conta. Para uma tolerância de metade do valor atual, necessitamos de metade da variação nas medições obtidas.

O Anexo “Diagrama causa-efeito” da página 66, é a ponte de partida para a abordagens dos temas deste capítulo.

As capacidades da máquina para tolerância reduzida vão ser estudados com o anel HDD da SCANIA:

Tabela 11 Características do anel $\varnothing=130$ mm da SCANIA

Código MCM	GBSLK4NS 130,00 - 3,00 - 4,65		
Referência nº	09593548 - AN80129		
Diâmetro do Anel	$\varnothing= 130$ mm		
	Min [mm]	Máx [mm]	Tolerância [mm]
Altura Trapezoidal	2,296	2,33	0,034
Espessura Radial	4,350	4,650	0,300
Folga entre Pontas	0,250	0,300	0,050

8.1. Atualidade do Processo

A folga entre pontas é maquinada nas TOP (Retificadoras de Topo), ao longo do fluxo produtivo temos 2 passagens nestas máquinas, inicialmente uma operação de retificação bruta da folga entre pontas, e por fim uma retificação acabada que confere a folga final do anel.

Também as retificadoras de topo foram projetadas para atender tolerâncias de folga de 0,100 mm. No entanto a experiência dos operadores e o controle em tempo real do processo através das ferramentas do SPC, revela a possibilidade de serem produzidos anéis com tolerância reduzida de folga entre pontas.

Foi realizado um teste á capacidade do processo destas retificações da folga, o teste consiste em medir as cotas de 50 peças consecutivas da retificação, foi utilizado o projetor de perfil para as medições. O cálculo dos índices de capacidade é conforme a equação 3-2, utiliza 6σ e os índices desta vez chamam-se C_m e C_{mk} .

		C_m	C_{mk}
Retificação de topo bruta	22/09/2020	0,97	0,73
Retificação de topo acabada	21/09/2020	1,04	0,50

Pela análise dos índices de capacidade, notamos que o C_{mk} apresenta valores baixos, o que é devido ao processo não estar centrado com a média da especificação do processo, Figura 3.4, o controle estatístico neste caso foi efetuado pelo calibre e lâmina de folga que não tem resolução suficiente. No futuro, para controle em tempo real do processo, irá ser utilizada a máquina de medição de folga reduzida da KEYENCE, medições a cada 3 anéis e espera-se que seja capaz de centrar o processo o melhor possível.

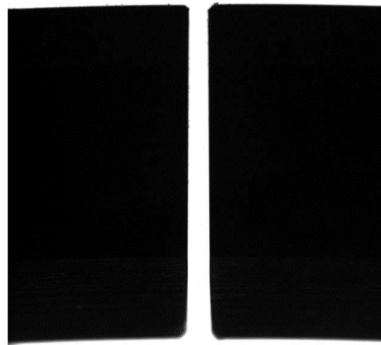
Apesar dos índices de capacidade da máquina estarem em regime de reprovação, há a possibilidade de produzir um elevado número de anéis dentro da especificação da folga reduzida.

Para a distinção dos anéis conformes, vai ser necessário uma máquina de inspeção a 100% que seja capaz de distinguir os anéis conformes. Irá ser realizado um estudo sobre as fontes de variabilidade nas medições da MID. O Diagrama causa-efeito da página 66, vai ser o ponto de partida.

8.2. Folga real e folga medida por comparação

Uma das fontes de variabilidade é o próprio sistema de pós-processamento de imagem. Os pixels são contados entre as pontas do anel e o anel está fechado próximo do seu diâmetro nominal. No entanto, não é possível fechar o anel no diâmetro nominal,

segundo o design da MID. Pela Figura 8.1, sabemos que a espessura radial é aproximadamente 4,645 mm, então a folga que a câmara captura e utiliza para o cálculo da medição é cerca de 0,320 mm. A MID para essa folga devolve o valor entre 0,250 e 0,253 mm devido ao seu método de comparação com o anel padrão. Um valor que coincide com o LIE, como podemos verificar na Figura 8.2 (anel nº 14, estudo representado a azul). O valor de folga entre pontas para o anel padrão, utilizado para o cálculo do anel anterior, foi um anel com folga de 0,290mm, exibido a tracejado.



**Figura 8.1 Imagem folga entre pontas
anel nº 14 MID**

Ao utilizar outros métodos de medição, nomeadamente o projetor de perfil e o conjunto calibre/lâmina de folga medimos 0,222 e 0,220 respetivamente. Utilizou-se então em outro estudo (Figura 8.2 a verde), um novo anel padrão desta vez com um valor de folga de 0,220 (anel nº14 dos estudos), uma vez que para o projetor de perfil e para a lâmina de folga obterem-se valores coincidentes.

Ao utilizarmos um anel padrão com um valor de folga entre pontas diferente, reparamos que há um desvio significativo nas medições. Este fenómeno já era de conhecimento geral nas máquinas SPT, apesar de nunca ter sido comprovado em estudos. O procedimento atual, dita que uma máquina de inspeção automática por visão artificial, se reprovar anéis por folga, tem de se utilizar outro anel padrão com a folga próxima dos anéis que irá medir, anulando este desvio e classificando devidamente os anéis.

Utilizando neste estudo o anel padrão com 0,220 mm de folga entre pontas conseguimos aproximar os valores obtidos pela MID, com os valores das medições do

projedor de perfil e lâmina de folga. Aproximando assim as medições aos seus valores reais, Figura 8.2.

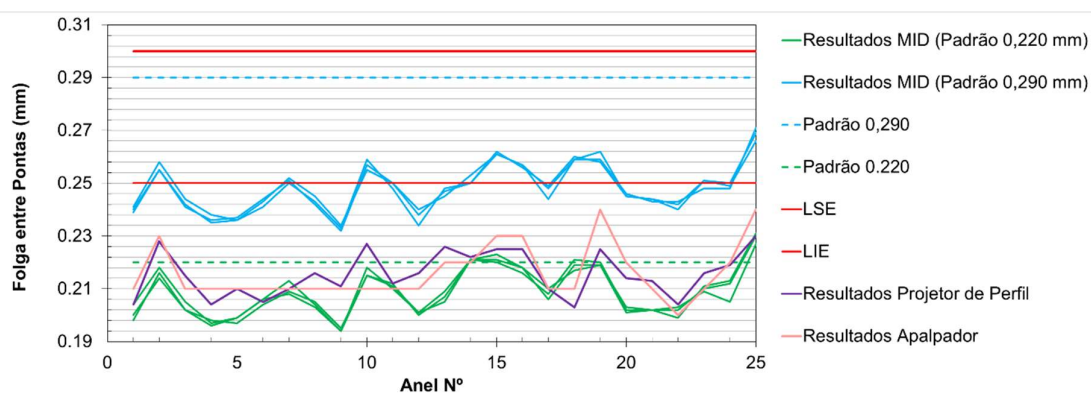


Figura 8.2 Comparação sistemas de medição e diferentes anéis padrão para MID

8.3. Ciclo de Aquecimento

A MID utiliza um sistema de sapatas que fecha o anel próximo do seu diâmetro nominal. É necessário antes de cada calibração realizar o ciclo de aquecimento do sistema de sapatas. Consiste na sucessiva abertura e fechamento do conjunto de sapatas da Figura 8.3. Isto porque é necessário simular, aquando da calibração, a situação quando a máquina estiver a trabalhar em ciclo automático.

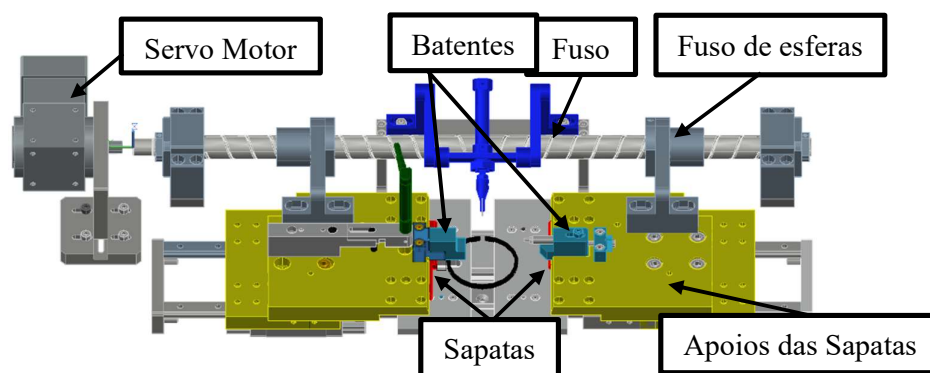


Figura 8.3 Sistema de fechamento por sapatas

Uma das razões é o aquecimento e dispersão da massa lubrificante no fuso. A massa lubrificante está contida nos fusos de esferas, representados na Figura 8.3. O fuso é alimentado por um servo motor, que posteriormente faz abrir e fechar as sapatas. É sensível

a quaisquer tipos de atritos fora das condições normais. Pouco antes de chegar á posição onde os batentes vão colidir, o servo motor entra em modo torque. Deteta quando é que as sapatas batem e aplica um determinado momento torsor para garantir o fechamento das sapatas.

Todo o sistema de sapatas representado na Figura 8.3, encontra-se na situação aberta. Cerca de 200 ms é o tempo que demora até os batentes colidirem e as sapatas se encontrarem próximas do diâmetro nominal do anel. A colisão é brusca e a conexão entre os fusos de esferas e os apoios das sapatas, a amarelo, foram trocados por um conjunto de sinoblocos para proteger o fuso das sollicitações bruscas.

Foi também descoberto que o ciclo de aquecimento é fundamental para o acondicionamento de todas as peças, aquando do fechamento. Quando estamos a trabalhar á escala do micrómetro, todas deformações elásticas das diferentes peças têm de ser contabilizadas. Todo o conjunto: apoios das sapatas; batentes e sapatas são conectados através de juntas aparafusadas. À escala a que estamos a trabalhar, a mínima deformação

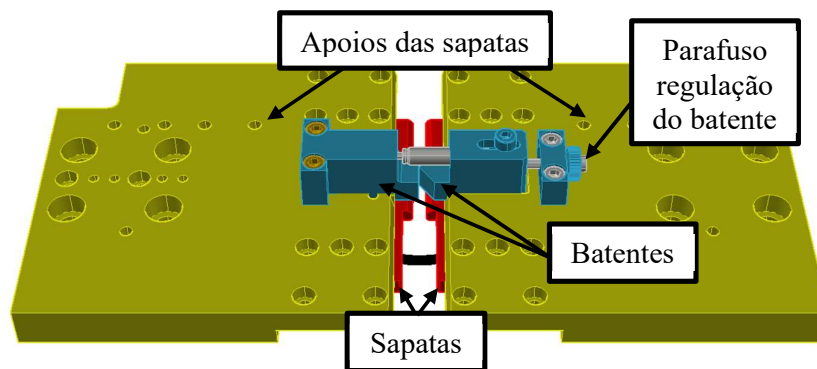


Figura 8.4 Conjunto Apoios das sapatas, sapatas e batentes

elástica provoca desvios das medições. Reconhecendo este fator fonte de variabilidade, o ciclo de aquecimento faz com que todas as peças e juntas aparafusadas se deformem elasticamente, deslocando-se á escala do micrómetro, para as zonas onde a MID trabalha no seu ciclo automático.

O parafuso regulação de batente, durante o *setup* é essencial para a regulação do fechamento das sapatas. Esse parafuso foi trocado. A todos os parafusos foi feito o pré-esforço e deliberadamente foi realizado um estudo RR sem ciclo de aquecimento. Os resultados estão na próxima Figura 8.5:

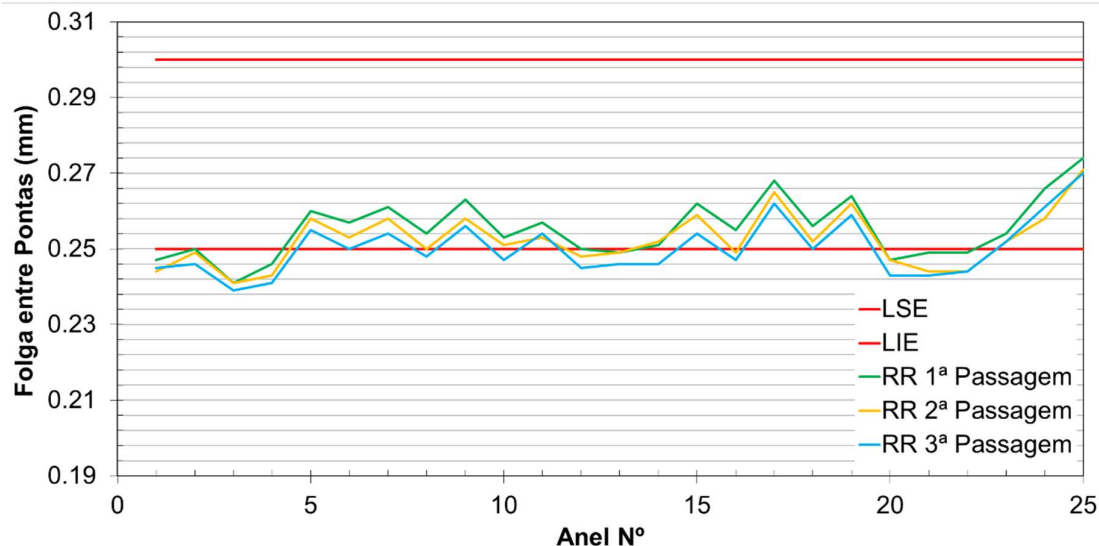


Figura 8.5 Resultados RR sem aquecimento – 34,39 % dispersão

Verificou-se que com o decorrer das 3 passagens, as medições gradualmente devolvem valores cada vez menores. Isto pode ser devido á deformação elástica das juntas aparafusadas. O estudo anterior apresenta uma diferença média nas medições de 5 μ m entre a 1ª e a 3ª passagem.

O procedimento anterior ditava que sempre que fosse preciso realizar o aquecimento, seria de 100 ciclos seguido de capturar a medida do anel padrão.

A melhor condição encontrada para diminuir este efeito foi de 200 ciclos de aquecimento, após o aquecimento esperar cerca de 20s e só depois fazer padrão da folga entre pontas. Os resultados obtidos são os seguintes da Figura 8.6:

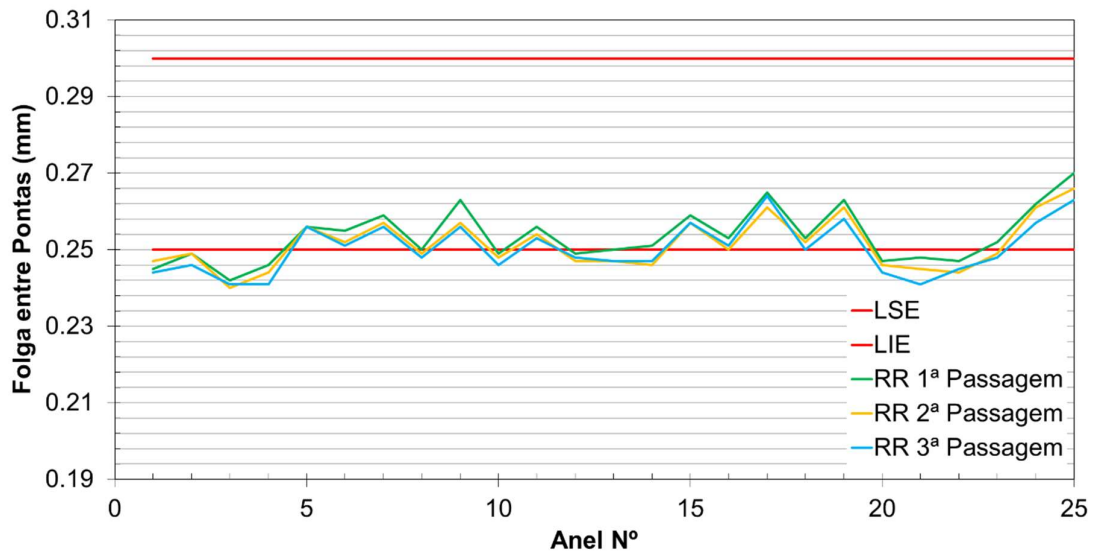


Figura 8.6 Resultados RR com aquecimento – 24,90% dispersão

Existe também um certo desvio nas medições ao longo do tempo, mas desta vez não tão evidente quanto os resultados sem aquecimento. Conseguimos em média 3 μm de variação de medidas entre as 3 passagens. Entramos assim na possibilidade da MID realizar inspeção a anéis, com tolerância reduzida para a folga entre pontas (0,050 mm).

8.4. Vibrações

As vibrações de todo o sistema de medição podem também ser fonte de variação nas medições [7]. A MID com o seu sistema de acionamentos pneumáticos e elétricos e principalmente do fechamento das sapatas provoca vibrações em toda a estrutura.

Para análise deste fenómeno foram realizados testes às vibrações com a capacidade do acelerómetro de um *smartphone*. Uma das experiências no tampo geral da máquina, a outra no suporte junto às câmaras. Isto para detetar se o sistema de batimento das sapatas provoca vibrações significativas.

Os resultados são expressos em mm/s^2 segundo os eixos X , Y e Z . Para simplificação e melhor análise dos resultados serão apresentados os valores em RMS.

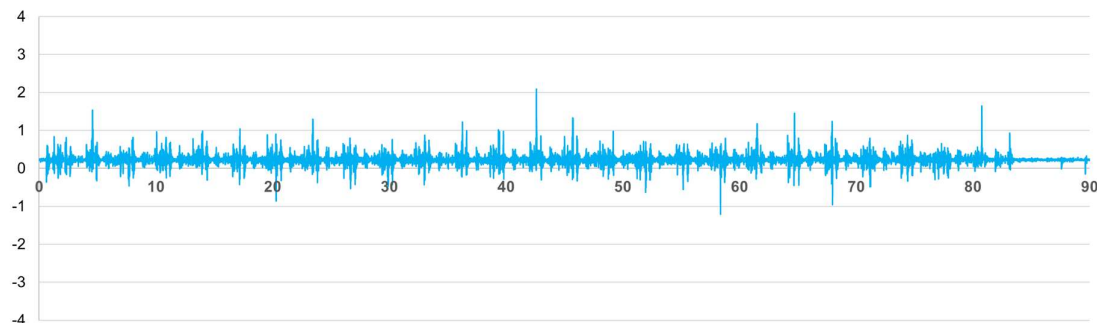


Figura 8.8 Vibrações no tempo RMS [mm/s^2]

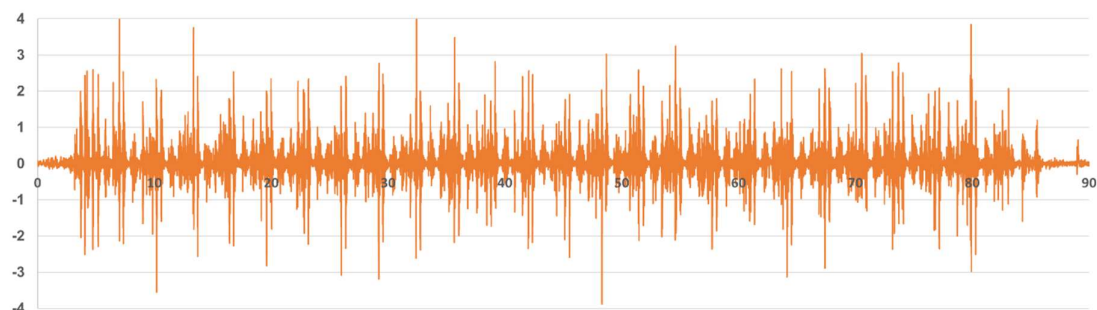


Figura 8.7 Vibrações no suporte da câmara RMS [mm/s^2]

É evidente a discrepância dos valores, as vibrações no tempo, no qual o sensor está mais próximo do sistema de fechamento de sapatas, apresenta menores vibrações que os suportes das câmaras. O suporte atual das câmaras revela ter pouca elasticidade. Apesar de não calcularmos os valores de deslocamento, resultantes destas vibrações forçadas, as vibrações podem ser um fator fonte de variabilidade nas medições

8.5. Limpeza

A limpeza é sem dúvida, o fator fonte de variabilidade nas medições mais significativo, pequenas partículas de poeira ou sujidade podem provocar desvios de até 0,020 mm nas medições. É de reparar que, mesmo para a máquina de medição de folga reduzida da KEYENCE, foi preciso limpar sempre a folga dos anéis antes das medições, Figura 5.2.

Para melhor compreensão da magnitude deste efeito, analisando o estudo RR da Figura 8.9, obteve-se 32,53% de dispersão, ou seja, regime de reprovação. Os anéis que obtiveram maior variabilidade entre as 3 medições foram os anéis nº 21, 22 e 23.

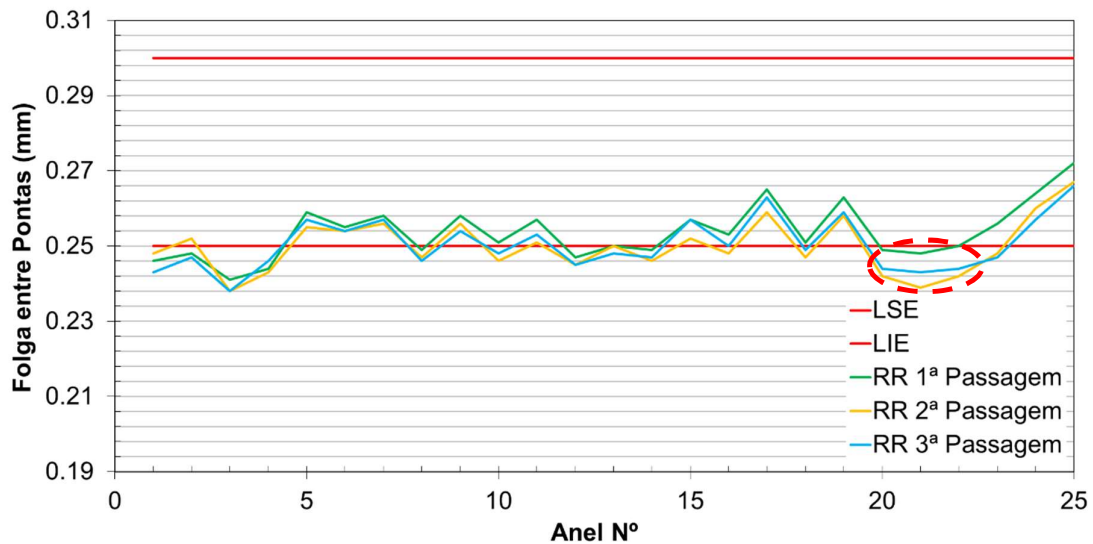


Figura 8.9 Resultados RR com variação nas medições devido a sujidade – 32,53% dispersão

Antes do estudo RR, estes anéis foram lavados em uma lavadora ultrassônica, que é o processo anterior à inspeção a 100% de folga na MID, isto para simular o seu ciclo produtivo aquando da manufatura destes anéis.

É na 2ª passagem que os anéis nº 21, 22 e 23 apresentam medidas com desvios de 9, 8 e 9 μm respetivamente, resultando na reprovação deste teste RR e consequente não conformidade do sistema de medição.

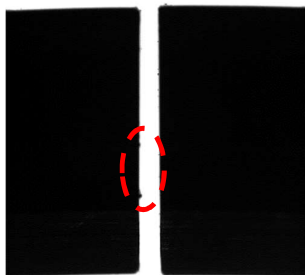


Figura 8.10 Anel nº 21

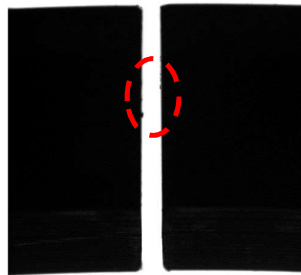


Figura 8.11 Anel nº 22

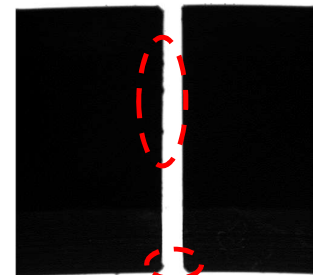


Figura 8.12 Anel nº 23

As imperfeições detetadas nas arestas das figuras acima, são fonte de variabilidade nas medições, os mínimos desvios no tracejamento dos pontos no processamento, Figura 6.5, devolvem desvios de até 20 μm . Este fenómeno apenas acontece

na 2ª ou 3ª passagem do estudo RR se os anéis não forem devidamente limpos entre passagens. Isto revela que é o próprio sistema de transporte do anel, que suja os anéis.

8.6. Resultados Folga Tolerância Reduzida

Agora com as principais fontes de variabilidade analisadas, vamos averiguar se a MID, pode no futuro realizar a inspeção a 100% de folga com tolerância reduzida (0,050 mm).

Tabela 12 Resultados índices de capacidade para medição de folga entre pontas com tolerância reduzida

Estudo:		1	2	3
SCANIA Ø=130,00 mm	C_g	2,89	3,12	2,61
	C_{gk}	2,77	2,60	2,40

Pelo teste C_g e C_{gk} , (cf. Tabela 12), a MID revela ser capaz da medição de folga com tolerância reduzida, estes resultados são fruto de 25 medições do mesmo anel, onde houve uma variação máxima de 3 µm.

Tabela 13 Resultados %RR para medição de folga entre pontas com tolerância reduzida

Estudo:	4	5	6
SCANIA Ø=130,00 mm	26,47	32,53	24,90

Os resultados estão na zona de aprovado com condições a amarelo e zona de reprovação a vermelho, (cf. Tabela 13). Estes testes foram realizados segundo o fluxo de processo deste anel. Onde, antes da inspeção a 100%, os anéis passam por uma lavadora ultrassónica, e posteriormente os anéis são estabilizados á temperatura de 20°C nas instalações do laboratório de metrologia.

A grande maioria da variação nas medições, é novamente devido a partículas de sujidade, fornecidas pelo próprio sistema de medição.

Passou então a haver a necessidade de lavagem e desmagnetização entre passagens, isto para, garantirmos que os anéis se encontram nas mesmas condições entre as 3 passagens do estudo RR.

Tabela 14 Resultados %RR para medição de folga entre pontas com tolerância reduzida, com limpeza entre passagens

Estudo:	7	8	9
SCANIA Ø=130,00 mm	18,38	19,69	18,80

Os estudos nº 7, 8 e 9 da Tabela 14, são os que melhor simulam as condições de trabalho no futuro. Se garantirmos que os anéis desde a sua lavagem e desmagnetização até a inspeção na MID, não recebem quaisquer partículas (cf. Figura 8.10, Figura 8.11 e Figura 8.12), a MID será capaz da inspeção de folga entre pontas com tolerância reduzida.

8.7. Futuras Melhorias

Os resultados dos índices de capacidade C_g e C_{gk} , mostram que a MID é aprovada com distinção para inspeção de folga com tolerância reduzida, no entanto, os estudos RR revelam que estamos no limiar da aceitação. Propostas de melhoria irão ser apresentadas, com vista a melhorar a robustez deste sistema de medição.

8.7.1. Sopro de Ar Ionizado

As pequenas partículas de sujidade e poeira, além de estarem sujeitas à força da gravidade, estão também sujeitas às forças de Coulomb devido às diferentes cargas de eletricidade estática dos objetos. Por exemplo, partículas de poeira de 5 μm são atraídas para um objeto com polaridade oposta se estiverem a menos de 0,100 mm [28].

Com as soluções atualmente presentes no mercado, é possível remover a poeira através do bombardeamento de ar ionizado nas peças. Detetam a carga estática específica do componente e corrigem através do sopro deste ar ionizado. Conseguem uma correção de $\pm 10V$, eliminando a eletricidade estática em apenas 2,5 s.

8.7.2. Ferramental em ERTALYTE®

Outra proposta de melhoria é o ferramental de transporte de anéis, Figura 7.12 e Figura 7.11, ser fabricado em ERTALYTE®. É um plástico de engenharia com excelente resistência ao desgaste. A solução atual de Nylon, apresenta ligeiro desgaste, as partículas resultantes deste desgaste são transferidas para a folga do anel, conforme a Figura 8.13 criando variabilidade nas medições, como são exemplo os estudos das páginas 72 a 74 [29].



Figura 8.13 Sujidade entre passagens de estudo RR MID

8.7.3. Fechamento em Calibre

Com a análise das fontes de variabilidade, especialmente nos subcapítulos: 8.2 Folga real e folga medida por comparação; 8.3 Ciclo de Aquecimento e 8.4 Vibrações. O sistema de fechamento por sapatas prova, ele próprio, ser fonte de variabilidade nas medições.

É proposto então, caso seja desenvolvida uma nova máquina, a utilização de um sistema de calibre que feche o anel ao seu diâmetro nominal, aquando da medição da folga entre pontas. Tal como já é feito na máquina de inspeção de folga reduzida da KEYENCE Figura 5.2, onde o anel é colocado no calibre pelo operador. Para uma máquina de inspeção automática a 100%, teria de ser projetado todo o sistema de inserção e desinserção do anel no calibre.

9. CONCLUSÕES

Os resultados do trabalho realizada na MID, ao longo do estágio efetuado na MAHLE – Componentes de Motores, S.A., revelam a possibilidade da inspeção a 100% da folga entre pontas de anéis de pistão, com tolerância reduzida (0,050 mm).

Para a obtenção destas capacidades e com a ajuda da análise causa-efeito da variabilidade das medições, foram contabilizadas as prioridades de ação corretiva e de melhoria.

Inicialmente, e com vista à aprovação da MID para a tolerância normal da folga entre pontas (0,100 mm), com as ações corretivas do capítulo 7.2, a dispersão inicial (%RR) de 40,39% passou para valores entre 9,30% a 11,80%.

Com estes resultados positivos, a motivação passou a ser a averiguação da possibilidade da MID realizar inspeção a 100% a anéis com folga entre pontas de tolerância reduzida. As análises às fontes de variabilidade das medições revelaram que a limpeza é o fator dominante, podendo gerar variabilidade nas medições de até 20 μm .

Com a simulação do fluxo do processo dos anéis, ou seja, com desmagnetização e limpeza ultrassónica antes das inspeções, a MID revela ser capaz da inspeção da folga entre pontas com tolerância reduzida, obtendo-se valores de dispersão entre 18,38% e 19,69%.

Em termos de melhoria contínua e aumento da robustez deste equipamento de medição, as futuras melhorias propostas ostentam para o futuro melhorias promissoras para a inspeção de cotas com tolerâncias reduzidas, a falta de limpeza como fonte de variabilidade pode vir a ser melhorada significativamente com o sopro de ar ionizado, o fator das mudanças de temperatura contínua a estar presente, onde facilmente pode haver desvios de 10 μm .

Considera-se que, com o desenvolvimento e projeto nos motores de combustão interna, graças às capacidades computacionais de simulação, os componentes adquirem cada vez mais complexidade. As exigências chegam ao limiar das possibilidades dos processos de fabrico, e inspeção atuais. A maquinação e inspeção com tolerâncias reduzidas vai ter de ser repensada a curto prazo onde, possivelmente, condições padrões de temperatura, pressão e ausência de impurezas terão de ser transpostas dos laboratórios metrológicos para a zona fabril.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Donald J. Wheeler, "*Understanding Statistical Process Control*". 1986.
- [2] W. E. Deming, "On Some Statistical Aids Toward Economic Production", vol. 5, pp. 1–15, 1975.
- [3] K. Ishikawa, "*Guide to Quality Control*". 1986.
- [4] D. C. Montgomery, "*Introduction To Statistical Quality Control*", vol. 10. 2008.
- [5] O. Senvar and S. U. Oktay Firat, "An overview of capability evaluation of Measurement Systems and Gauge Repeatability and Reproducibility Studies," *Int. J. Metrol. Qual. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 121–127, 2010, doi: 10.1051/ijmqe/2010022.
- [6] M. Mišúl, "BU1 Measurement System Analysis," 1996.
- [7] AIAG, "*Measurement Systems Analysis (MSA)*", 4th ed. AIAG.
- [8] Q-DAS, "VDA 5 vs. MSA 4," 2011. .
- [9] Donald J. Wheeler - "EMP III (Evaluating the Measurement Process)_ Using Imperfect Data". 2006 .
- [10] W. E. Deming, "On Some Statistical Aids Toward Economic Production," *Interfaces (Providence).*, vol. 5, no. 4, pp. 1–15, Aug. 1975, doi: 10.1287/inte.5.4.1.
- [11] MAHLE GmbH "W-B-803-en_CSR_to_MSA_and_SPC.". 2020.
- [12] V. der Automobilindustrie, "VDA 5- Capability of Measurement Processes," 2011.
- [13] D. C. Burdick, Richard K., Borrer, Connie M., Montgomery, "*Design and Analysis of Gauge R&R Studies (Making Decisions with Confidence Intervals in Random and Mixed ANOVA Models)*".1987.
- [14] M. Mišúl, "Handling CC/SC in production Work." MAHLE GmbH., p. 27, 2018.
- [15] *Viccino, Decio F. 1995. "O anel de pistão. Brasil : Cofap", 1995.*
- [16] MS Motorservice, "PISTON RINGS FOR COMBUSTION ENGINES".2015.
- [17] C. Mahle and M. Leve, "Manual técnico.".2005.
- [18] K. Page, M. Page, M. Page, and V. Page, "Table of Contents For technical service call :," pp. 1–608, 2014.
- [20] K. Nakashima, S. Ishihara, and K. Urano, "Influence of piston ring gaps on lubricating oil flow into the combustion chamber," *SAE Tech. Pap.*, no. 412, 1995, doi: 10.4271/952546.

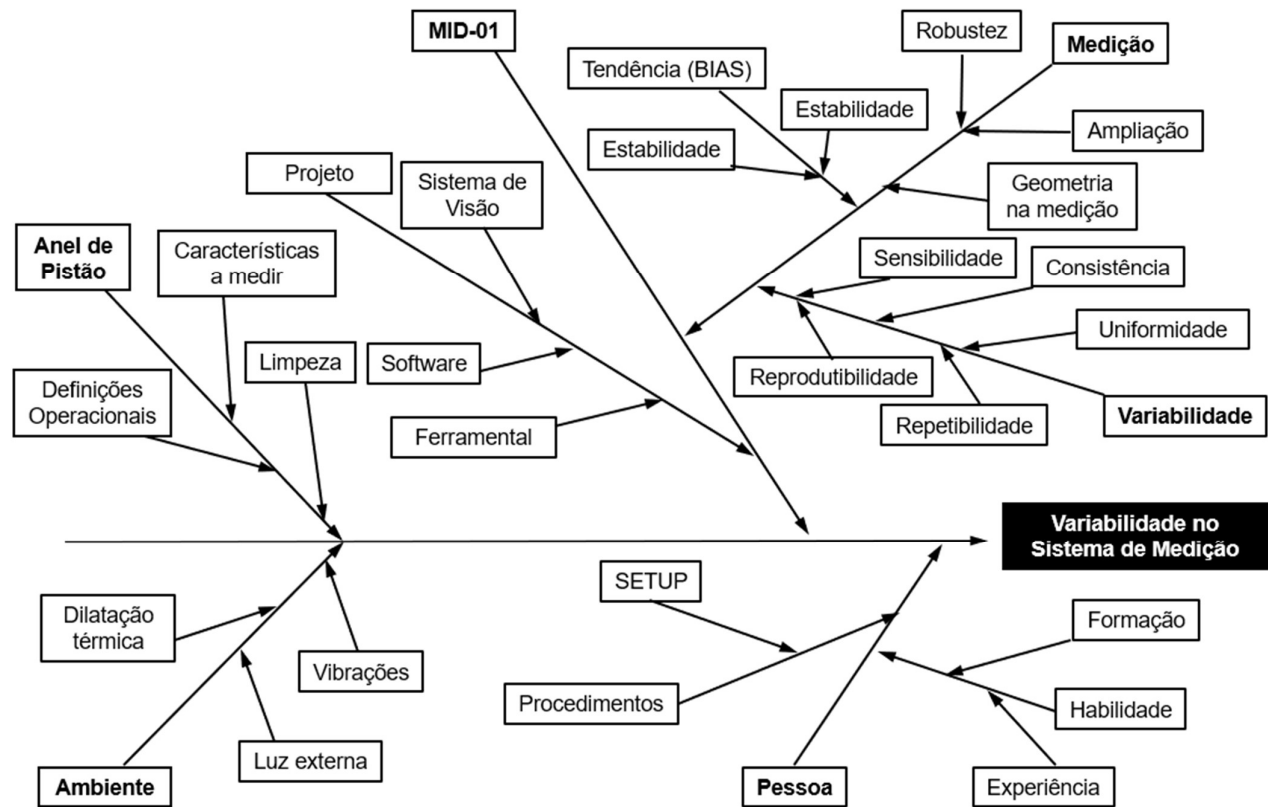
- [21] MAHLE GmbH, "*Piston and engine testing*".2010.
- [22] T. D. Nilberto Fernandes, "Non Contact Closed Gap Device Quality Report ETR - Process Technology Engineering Piston Rings." 2018.
- [23] A. Saenko, G. Polte, V. Musalimov, and G. Linss, "Analysis and correction of errors of optical measuring systems based on CCD-sensors," *14th Jt. Int. IMEKO TC1, TC7, TC13 Symp. Intell. Qual. Meas. - Theory, Educ. Train. 2011, Held Conj. with 56th IWK Ilmenau Univ. Technol.*, pp. 263–266, 2011.
- [25] L. Vacho, J. Baláži, S. Paulovič, and F. Adamovský, "Selected method of image analysis used in quality control of manufactured components," *TEM J.*, vol. 7, no. 2, pp. 281–285, 2018, doi: 10.18421/TEM72-06.
- [26] Y. Sun, Z. Wang, Q. Liu, and L. Li, "Research on detection method of end gap of piston rings based on area array CCD and image processing," *2012 Int. Work. Image Process. Opt. Eng.*, vol. 8335, no. 2009, p. 83350Z, 2012, doi: 10.1117/12.917542.
- [27] J. A. Richard Alves, Nuno Martinho, "GENERAL INSTRUCTIONS FOR THE SUPPLY AND APPROVAL OF MACHINERY, INSTALLATIONS AND PRODUCTION EQUIPMENT ENGINEERING," no. December. pp. 1–19, 2019.

REFERÊNCIAS WEBGRÁFICAS

- [24] “Dimension Measurement | Machine Vision Applications | Machine Vision Basics | KEYENCE America.”
<https://www.keyence.com/ss/products/vision/visionbasics/use/inspection03/>
(consultado em Oct. 11, 2020).
- [28] KEYENCE, “The Mechanism of Particle adhesion | KEYENCE America.”
<https://www.keyence.com/ss/products/static/resource/solution/> (consultado em Oct. 30, 2020).
- [29] “Ertalyte® | Poly Lanema.” <https://www.polylanema.pt/pt/plasticos-de-engenharia/ertalytereg-1/> (consultado em Oct. 30, 2020).

ANEXOS

DIAGRAMA CAUSA-EFEITO



LISTA DE DEFEITOS

Dimensional Inspection Machine



List of Defects

Engineering Reports

Date: 2020-07-02

Document-No. LOD-007-19

Version 01

Page 1/3

Preliminary Acc. from 01 until 11
 Handed over from until
 Final Acceptance from until

MAHLE Componentes de Motores S.A.

Manufacturer:	<input type="text"/>	MAHLE Project No.:	P11030200103917035
Description:	Máquina de inspeção dimensional		
Purchase Order No.:	4502887297/U01		

Item	Description of Defect	Responsible person	Deadline	done
01	Documentar inspeções. Discriminar como são efectuadas as inspeções por câmara.	<input type="text"/>	12/07/2019	X
02	Incluir inspeção de conicidade na folga. MAHLE – Informar dos limites máximos e mínimos da conicidade. MAHLE – Identificar cotas onde a conicidade deve ser inspeccionada.		12/07/2019	X
03	Fixar cabos KUKA.		12/07/2019	X
04	Alteração inspeção de altura. Preparar máquina para medir altura a 1,5mm e 2,5mm da radial.		tdb	X
05	Reforço protecção acrílico robot Porta zona de carregamento		12/07/2019	X
06	Calibração da máquina com anel padrão		12/07/2019	X
07	Colocar comando bimanual		12/07/2019	X
08	Pistola 3D para leitura datamatrix		09/07/2019	X
09	Desenvolver sistema de fechamento zona de carga (semelhante ponto 05)		12/07/2019	X
10	Reforço gaveta anéis reprovados		12/07/2019	X
11	Iluminação ambiente máquina		12/07/2019	X
12	Alterar condição da zona de carga, de modo a permitir carregamento em modo automático.		25/07/2019	X
13	Melhorar estanquidade da máquina. Zonas pouco robustas.		25/07/2019	X
14	Problema: Medição de folga (variação em excesso).		25/07/2019	X
15	Algumas peças sem oxidação negra.		25/07/2019	X
16	Substituir parafusos por LNP no magazine.		25/07/2019	X
Problemas PLC/HMI Março 2020				
17	Cilindro manipulador reprovados ao descer embate no transferidor de feramental se este estiver na posição mais atrasada, isto apenas acontece no modo manual.	15/07/2020	X	

02 - List of Defects PS-08.07.2020.doc-en

LISTA DE DEFEITOS



Dimensional Inspection Machine

List of Defects

Engineering Reports	Date: 2020-07-02
Document-No. LOD-007-19	Version 01 Page 2/3

18	Transferidor de ferramental recua em manual com cilindro reprovados em baixo.		15/07/2020	X
19	Cilindro reprova perfil/chanfro, em manual, ao não ser possível baixar por estar em zona descarga, ao voltar à zona de carga, guarda comando anterior e desce automático.		15/07/2020	X
20	Administrador por vezes obrigado a usar bi-manual.		15/07/2020	X / n.a
21	Aquecimento pára antes de chegar aos 100 ciclos.		08/07/2020	X
22	Sapatas, em manual, ao não fecharem devido ao transferidor de ferramental estar em cima, ao baixar o mesmo elas guardam o comando anterior e fecham.		15/07/2020	X
23	Leitor Biométrico não reconhece ninguém se passar muito tempo (1 dia por exemplo)		31/07/2020	n.a
24	Opção t2 do Robot Kuka tem de ser desabilitada.		15/07/2020	X
25	Robot em manual não obedece.		08/07/2020	X
26	Alimentador de anéis pára antes do final e mesmo em manual, não consegue avançar mais, antes de todos os anéis serem transferidos para garra de magazine.		08/07/2020	n.a
Problemas PLC/HMI Julho 2020 (não aconteciam antes)				
27	É possível a de troca de varas em manual não estando o empurrador de anéis na posição inicial.		15/07/2020	X
28	Falha na driver do alimentador de anéis, necessita reset		08/07/2020	X
29	Alimentador de anéis avança, mas automaticamente recua e treme.		08/07/2020	X
30	Alimentador de anéis, se após não nos deixar avançar, carregarmos em "home" ele já avança		08/07/2020	X
31	Sapatas ferramental não fecham		08/07/2020	X
32	Alinhador de ferramental não baixa		08/07/2020	X
33	Sapatas de ferramental após não deixar fechar, carregamos em "home" e já funciona o servo das sapatas e o alinhador ferramental.		08/07/2020	X
34	Sapatas de ferramental não é possível começar a ordem de ciclo de aquecimento.		08/07/2020	X
Problemas de Ciclo Automático				
36	"Falha time out" em automático e estudo RR		08/07/2020	n.a
37	"Falha time out do robot" em automático.		08/07/2020	n.a
38	"Falha time out do ciclo de descarga final" em automático.		08/07/2020	n.a
39	"Falha de passagem de anéis para ferramental", no entanto, máquina sem anéis. Devia neste caso ter aparecido o aviso de "Maquina sem anéis"		08/07/2020	n.a
40	Muitas vezes aparece este aviso mesmo em modo manual "Falha do robot"		08/07/2020	X
41	"Ciclo do robot falhou no referenciamento" em modo automático		08/07/2020	X
42	Início do ciclo automático e empurrador de anéis não inicia, mesmo estando em posição inicial.		08/07/2020	X

02 - List of Defects PS-08.07.2020.doc-en

LISTA DE DEFEITOS

MAHLE

Dimensional Inspection Machine

List of Defects

Engineering Reports

Date: 2020-07-02

Document-No. LOD-007-19

Version 01

Page 3/3

43	"Máquina sem anéis", carregamos na opção "terminar últimos anéis" não termina os últimos anéis. Consequentemente "time out ciclo de descarga".	08/07/2020	n.a
44	"Máquina sem anéis", no entanto, tem anéis, seja na vara, seja em outras zonas.	08/07/2020	n.a
45	Dimensões calibradas com anel padrão no entanto ao ir para modo automático, não dá para habilitar nem clicar em opção " calibração das inspeções".	15/07/2020	X
Problemas Mecânicos			
46	Troca de varas de carregamento gera trepidação.	15/07/2020	X
47	Cilindro manipulador reprovados com inclinação anormal.	15/07/2020	X
48	Empurrador de anéis colide com fios e tubos de ar do cilindro manipulador reprovados caso esteja em zona descarga.	31/07/2020	X
49	Transferidor ferramental precisa de cunhas á frente e atrás para melhor precisão em automático, conforme SPT - 2.	15/07/2020	X
50	Borracha superior da porta do lado do HMI não está conforme. Não está bem colada/montada necessita de uma nova.	15/07/2020	X
51	Extracção de ferramental final, garras não conformes.	31/07/2020	X
52	Cilindro reprova perfil/chanfro ao baixar, fios ficam tencionados e raspam.	31/07/2020	X
53	Alinhador de ferramental move-se (~1 mm) devido ao anel ser fechado pelas sapatas. Alinhador de ferramental com suporte pouco rígido.	31/07/2020	X
54	Iluminação ambiente da máquina pisca e mais tarde deixou de funcionar.	15/07/2020	X
55	Zona de carga do robot com elevação acentuada em relação á zona de medição da folga/radial/altura faz com que alguns anéis saltem.	15/07/2020	X
56	Protecções das câmaras.	15/07/2020	X
57	Robot em Setup deixa apanhar aneis com garra fechada	15/07/2020	X
58	Portas não trancam quando não há operador	15/07/2020	X


n.a - Não aconteceu

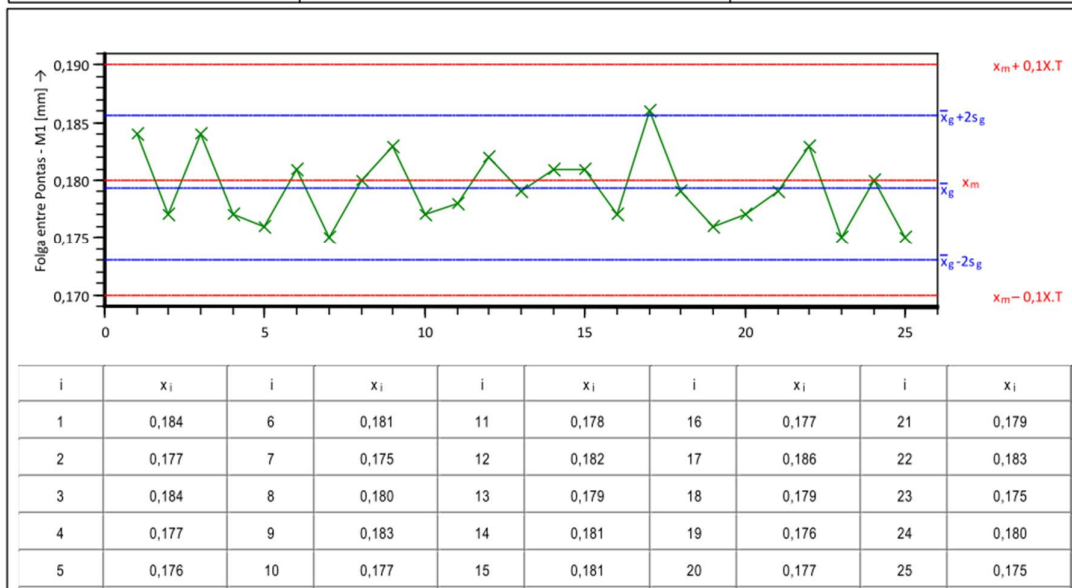
X- Resolvido ou esclarecido


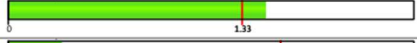

X- Vamos analisar e resolver na próxima visita á Mahle aquando da disponibilidade dos tecnicos

ESTUDO – MÉTODO 1 – FAT 25/07/2019

MAHLE	Análise Sistemas de Medição - EIME'S Study(F,7,2916,0,0)	20-097
--------------	---	--------

Estudo	Meio de Medição.	Característica
Material 09853212 Descrição ENS 82,00-1,20-3,00 Posto Insp. MCR236 1 peça / 25 repetições	Máquina MID-01 EIME. P-AN-U-AP-0274 MAQ. INSP. 100% MID-01 Unid. Med.: mm Resolução. 0,001	Cód. Caract. 33.0 Folga entre Pontas - M1  Máx: 0,230 $\Delta = 0,050$ Padrão Valor 0,18 Min: 0,130 $\Delta = -0,050$ T. 0,100




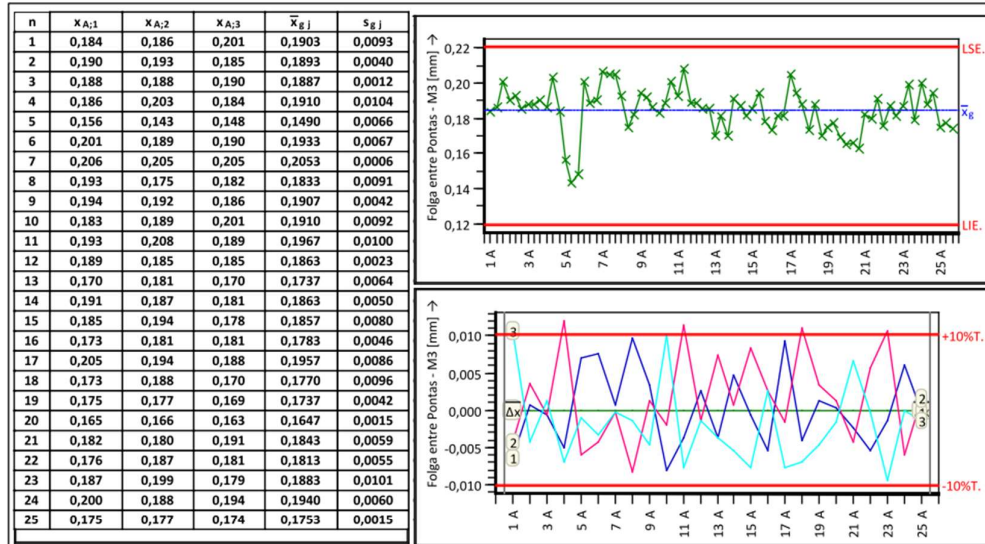
Material Cód. Caract.	09853212 33.0	Descrição Caract.	ENS 82,00-1,20-3,00 Folga entre Pontas - M1
Valores de Desenho.		Valores Medidos.	
LSE.	= 0,230	\bar{x}_g	= 0,17928
x_m	= 0,18000	s_g	= 0,00316
U.E.	= 0,130	$ \bar{B} = \bar{x}_g - x_m $	= 0,00072000
T.	= 0,100	R_g	= 0,011
		N. Tot.	= 25
		N. Eff.	= 25
$C_g = \frac{0,2X.T}{4X.s_g}$	= 1,58		
$C_{pk} = \frac{0,1X.T - \bar{x}_g - x_m }{2X.s_g}$	= 1,47		
%RE.	= 1,00%		
Sist. de Med. Aprovado. (NRE, Min, Cg, Cpk)			
MAHLE BU1 V3.1 (2019_01): Verfahren 1			
Observação.			

Data. 02/09/2020 Nome do Analista. Paulo Dinis Seção. METROLOGIA
 Norma W-B-801 MAHLE Componentes de Motores S.A. 3 / 3

ESTUDO – MÉTODO 3 – FAT 18/07/2019

MAHLE	Análise Sistemas de Medição - EIME'S	20-097
	Estudo R&R - Método 3	

Estudo	Meio de Medição.	Característica
Material 09853212 Descrição ENS 82,00-1,20-3,00 Posto Insp. MCR236 25 parts / 3 trials(F.7.2919.0.0)	Máquina MID-01 EIME. P-AN-U-AP-0274 MAQ. INSP. 100% MID-01 Unid. Med.: mm Resolução. 0,001	Cód. Caract. 33.0 Folga entre Pontas - M3  Máx: 0,220 Δ = 0,050 Média (V. 0,170 Min: 0,120 Δ = -0,050 T. 0,100



Repetitividade.	0.000045307	0.0067310	VE = 0.0056319 ≤ 0.0067310 ≤	%VE = 40.39%	
Repetitividade & Rep	0.000045307	0.0067310	GRR = 0.0056319 ≤ 0.0067310 ≤	%GRR = 40.39%	
Tolerância.	T.	= 0.100	Nível de Confiança.	1-α = 95.000%	
Resolução.	%RE.	= 1.00%			
Repetitividade & Reprodutibilidade.	%GRR.	= 40.39%			
Varição das Peças.	%PV.	= 64.93%			
Número de categorias distintas.	Ncd.	= 2			
Os requisitos não foram atendidos (%RE.,Min.,%GRR.)					
MAHLE BU1 V3.1 (2019_01): Verfahren 3					
			T. Min. (%GRR.) = 0.202	T. Min. (%GRR.) = 0.135	

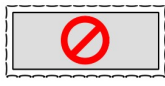
Observação.

Data. 02/09/2020 Nome do Analista. Paulo Dinis Seção. METROLOGIA

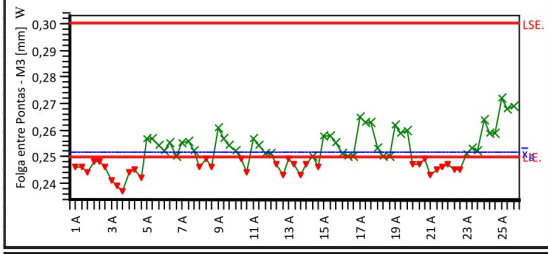
Norma W-B-801 MAHLE Componentes de Motores S.A. 3 / 3

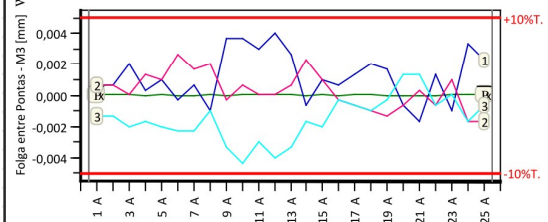
RESULTADOS MEDIÇÃO DE FOLGA ENTRE PONTAS COM TOLERÂNCIA REDUZIDA – ESTUDO Nº4

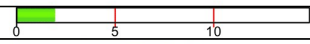
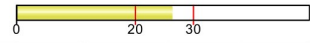
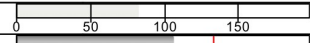


MAHLE	Análise Sistemas de Medição - EIME'S Estudo R&R - Método 3	
--------------	---	--

Estudo	Meio de Medição.	Característica
Material: 09593548 Descrição: GBSLK4NS 130,00-3,00-4,65 Posto Insp.: 25 parts / 3 trials(F.7.2919.0.0)	Máquina: EIME. P-AN-U-AP-0274 MAQ. INSP. 100% MID-01 Unid. Med.: mm Resolução.: 0,001	Cód. Caract.: 33.0 Folga entre Pontas - M3  Máx.: 0,300 $\Delta = 0,025$ Média (V.): 0,275 Min.: 0,250 $\Delta = -0,025$ T.: 0,050

n	x _{A:1}	x _{A:2}	x _{A:3}	$\bar{x}_{g j}$	s _{g j}
1	0,246	0,246	0,244	0,2453	0,0012
2	0,248	0,248	0,246	0,2473	0,0012
3	0,241	0,239	0,237	0,2390	0,0020
4	0,244	0,245	0,242	0,2437	0,0015
5	0,257	0,257	0,254	0,2560	0,0017
6	0,252	0,255	0,250	0,2523	0,0025
7	0,255	0,256	0,252	0,2543	0,0021
8	0,246	0,249	0,246	0,2470	0,0017
9	0,261	0,257	0,254	0,2573	0,0035
10	0,252	0,249	0,244	0,2483	0,0040
11	0,257	0,254	0,251	0,2540	0,0030
12	0,251	0,247	0,243	0,2470	0,0040
13	0,249	0,247	0,243	0,2463	0,0031
14	0,247	0,250	0,246	0,2477	0,0021
15	0,258	0,258	0,255	0,2570	0,0017
16	0,251	0,250	0,250	0,2503	0,0006
17	0,265	0,263	0,263	0,2637	0,0012
18	0,253	0,250	0,250	0,2510	0,0017
19	0,262	0,259	0,260	0,2603	0,0015
20	0,247	0,247	0,249	0,2477	0,0012
21	0,243	0,245	0,246	0,2447	0,0015
22	0,247	0,245	0,245	0,2457	0,0012
23	0,251	0,253	0,252	0,2520	0,0010
24	0,264	0,259	0,259	0,2607	0,0029
25	0,272	0,268	0,269	0,2697	0,0021




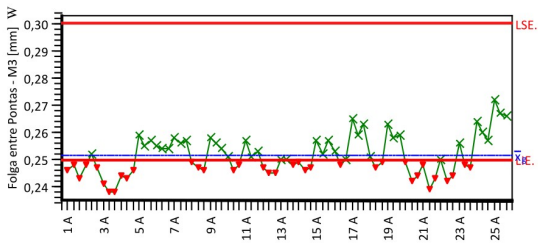
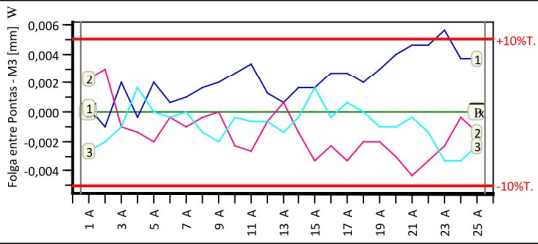
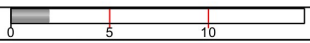

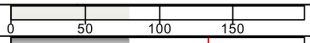
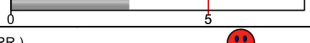



	Variância.	Desvio-padrão.		
Repetitividade.	0.0000048667	0.0022061	VE. = 0.0018458	0.0022061 %VE. = 26.47%
Repetitividade & Rep.	0.0000048667	0.0022061	GRR. = 0.0018458	0.0022061 %GRR. = 26.47%
Tolerância.	T. = 0.050	Nível de Confiança.	1- = 95.000%	
Resolução.	%RE. = 2.00%			
Repetitividade & Reprodutibilidade.	%GRR. = 26.47%			
Varição das Peças.	%PV. = 83.53%			
Número de categorias distintas.	Ncd. = 4			
Sist. de Med. com Aprovação Cond. (%RE, Min., %GRR.) 				
MAHLE BU1 V3.1 (2019_01): Verfahren 3				
T. Min. (%GRR) = 0.0662 T. Min. (%GRR) = 0.0441				

Observação.

Data: 21/10/2020 Nome do Analista: NN Seção: NN
 Norma: MAHLE Componentes de Motores S.A. 1 / 1

RESULTADOS MEDIÇÃO DE FOLGA ENTRE PONTAS COM TOLERÂNCIA REDUZIDA – ESTUDO Nº5

MAHLE		Análise Sistemas de Medição - EIME'S																																																																																																																																																												
		Estudo R&R - Método 3																																																																																																																																																												
Estudo		Meio de Medição.		Característica																																																																																																																																																										
Material 09593548		Máquina		Cód. Caract. 33.0 Folga entre Pontas - M3																																																																																																																																																										
Descrição GBSLK4NS 130,00-3,00-4,65		EIME. P-AN-U-AP-0274 MAQ. INSP. 100% MID-01																																																																																																																																																												
Posto Insp.		Unid. Med.: mm																																																																																																																																																												
25 parts / 3 trials(F.7.2919,0.0)		Resolução. 0,001		Máx: 0,300 $\Delta = 0,025$ Média (V. 0,275																																																																																																																																																										
				Min: 0,250 $\Delta = -0,025$ T. 0,050																																																																																																																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>n</th> <th>X_{A,1}</th> <th>X_{A,2}</th> <th>X_{A,3}</th> <th>$\bar{X}_{g,j}$</th> <th>S_{g,j}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,246</td><td>0,248</td><td>0,243</td><td>0,2457</td><td>0,0025</td></tr> <tr><td>2</td><td>0,248</td><td>0,252</td><td>0,247</td><td>0,2490</td><td>0,0026</td></tr> <tr><td>3</td><td>0,241</td><td>0,238</td><td>0,238</td><td>0,2390</td><td>0,0017</td></tr> <tr><td>4</td><td>0,244</td><td>0,243</td><td>0,246</td><td>0,2443</td><td>0,0015</td></tr> <tr><td>5</td><td>0,259</td><td>0,255</td><td>0,257</td><td>0,2570</td><td>0,0020</td></tr> <tr><td>6</td><td>0,255</td><td>0,254</td><td>0,254</td><td>0,2543</td><td>0,0006</td></tr> <tr><td>7</td><td>0,258</td><td>0,256</td><td>0,257</td><td>0,2570</td><td>0,0010</td></tr> <tr><td>8</td><td>0,249</td><td>0,247</td><td>0,246</td><td>0,2473</td><td>0,0015</td></tr> <tr><td>9</td><td>0,258</td><td>0,256</td><td>0,254</td><td>0,2560</td><td>0,0020</td></tr> <tr><td>10</td><td>0,251</td><td>0,246</td><td>0,248</td><td>0,2483</td><td>0,0025</td></tr> <tr><td>11</td><td>0,257</td><td>0,251</td><td>0,253</td><td>0,2537</td><td>0,0031</td></tr> <tr><td>12</td><td>0,247</td><td>0,245</td><td>0,245</td><td>0,2457</td><td>0,0012</td></tr> <tr><td>13</td><td>0,250</td><td>0,250</td><td>0,248</td><td>0,2493</td><td>0,0012</td></tr> <tr><td>14</td><td>0,249</td><td>0,246</td><td>0,247</td><td>0,2473</td><td>0,0015</td></tr> <tr><td>15</td><td>0,257</td><td>0,252</td><td>0,257</td><td>0,2553</td><td>0,0029</td></tr> <tr><td>16</td><td>0,253</td><td>0,248</td><td>0,250</td><td>0,2503</td><td>0,0025</td></tr> <tr><td>17</td><td>0,265</td><td>0,259</td><td>0,263</td><td>0,2623</td><td>0,0031</td></tr> <tr><td>18</td><td>0,251</td><td>0,247</td><td>0,249</td><td>0,2490</td><td>0,0020</td></tr> <tr><td>19</td><td>0,263</td><td>0,258</td><td>0,259</td><td>0,2600</td><td>0,0026</td></tr> <tr><td>20</td><td>0,249</td><td>0,242</td><td>0,244</td><td>0,2450</td><td>0,0036</td></tr> <tr><td>21</td><td>0,248</td><td>0,239</td><td>0,243</td><td>0,2433</td><td>0,0045</td></tr> <tr><td>22</td><td>0,250</td><td>0,242</td><td>0,244</td><td>0,2453</td><td>0,0042</td></tr> <tr><td>23</td><td>0,256</td><td>0,248</td><td>0,247</td><td>0,2503</td><td>0,0049</td></tr> <tr><td>24</td><td>0,264</td><td>0,260</td><td>0,257</td><td>0,2603</td><td>0,0035</td></tr> <tr><td>25</td><td>0,272</td><td>0,267</td><td>0,266</td><td>0,2683</td><td>0,0032</td></tr> </tbody> </table>	n	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	$\bar{X}_{g,j}$	S _{g,j}	1	0,246	0,248	0,243	0,2457	0,0025	2	0,248	0,252	0,247	0,2490	0,0026	3	0,241	0,238	0,238	0,2390	0,0017	4	0,244	0,243	0,246	0,2443	0,0015	5	0,259	0,255	0,257	0,2570	0,0020	6	0,255	0,254	0,254	0,2543	0,0006	7	0,258	0,256	0,257	0,2570	0,0010	8	0,249	0,247	0,246	0,2473	0,0015	9	0,258	0,256	0,254	0,2560	0,0020	10	0,251	0,246	0,248	0,2483	0,0025	11	0,257	0,251	0,253	0,2537	0,0031	12	0,247	0,245	0,245	0,2457	0,0012	13	0,250	0,250	0,248	0,2493	0,0012	14	0,249	0,246	0,247	0,2473	0,0015	15	0,257	0,252	0,257	0,2553	0,0029	16	0,253	0,248	0,250	0,2503	0,0025	17	0,265	0,259	0,263	0,2623	0,0031	18	0,251	0,247	0,249	0,2490	0,0020	19	0,263	0,258	0,259	0,2600	0,0026	20	0,249	0,242	0,244	0,2450	0,0036	21	0,248	0,239	0,243	0,2433	0,0045	22	0,250	0,242	0,244	0,2453	0,0042	23	0,256	0,248	0,247	0,2503	0,0049	24	0,264	0,260	0,257	0,2603	0,0035	25	0,272	0,267	0,266	0,2683	0,0032		
n	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	$\bar{X}_{g,j}$	S _{g,j}																																																																																																																																																									
1	0,246	0,248	0,243	0,2457	0,0025																																																																																																																																																									
2	0,248	0,252	0,247	0,2490	0,0026																																																																																																																																																									
3	0,241	0,238	0,238	0,2390	0,0017																																																																																																																																																									
4	0,244	0,243	0,246	0,2443	0,0015																																																																																																																																																									
5	0,259	0,255	0,257	0,2570	0,0020																																																																																																																																																									
6	0,255	0,254	0,254	0,2543	0,0006																																																																																																																																																									
7	0,258	0,256	0,257	0,2570	0,0010																																																																																																																																																									
8	0,249	0,247	0,246	0,2473	0,0015																																																																																																																																																									
9	0,258	0,256	0,254	0,2560	0,0020																																																																																																																																																									
10	0,251	0,246	0,248	0,2483	0,0025																																																																																																																																																									
11	0,257	0,251	0,253	0,2537	0,0031																																																																																																																																																									
12	0,247	0,245	0,245	0,2457	0,0012																																																																																																																																																									
13	0,250	0,250	0,248	0,2493	0,0012																																																																																																																																																									
14	0,249	0,246	0,247	0,2473	0,0015																																																																																																																																																									
15	0,257	0,252	0,257	0,2553	0,0029																																																																																																																																																									
16	0,253	0,248	0,250	0,2503	0,0025																																																																																																																																																									
17	0,265	0,259	0,263	0,2623	0,0031																																																																																																																																																									
18	0,251	0,247	0,249	0,2490	0,0020																																																																																																																																																									
19	0,263	0,258	0,259	0,2600	0,0026																																																																																																																																																									
20	0,249	0,242	0,244	0,2450	0,0036																																																																																																																																																									
21	0,248	0,239	0,243	0,2433	0,0045																																																																																																																																																									
22	0,250	0,242	0,244	0,2453	0,0042																																																																																																																																																									
23	0,256	0,248	0,247	0,2503	0,0049																																																																																																																																																									
24	0,264	0,260	0,257	0,2603	0,0035																																																																																																																																																									
25	0,272	0,267	0,266	0,2683	0,0032																																																																																																																																																									
																																																																																																																																																														
		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Variação.</th> <th>Desvio-padrão.</th> <th>VE.</th> <th>%VE.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Repetitividade.</td> <td>0.0000073467</td> <td>0.0027105</td> <td>=0.0022679</td> <td>0.0027105</td> <td>= 32.53%</td> </tr> <tr> <td>Repetitividade & Rep</td> <td>0.0000073467</td> <td>0.0027105</td> <td>GRR. =0.0022679</td> <td>0.0027105</td> <td>%GRR. = 32.53%</td> </tr> </tbody> </table>			Variação.	Desvio-padrão.	VE.	%VE.	Repetitividade.	0.0000073467	0.0027105	=0.0022679	0.0027105	= 32.53%	Repetitividade & Rep	0.0000073467	0.0027105	GRR. =0.0022679	0.0027105	%GRR. = 32.53%																																																																																																																																										
	Variação.	Desvio-padrão.	VE.	%VE.																																																																																																																																																										
Repetitividade.	0.0000073467	0.0027105	=0.0022679	0.0027105	= 32.53%																																																																																																																																																									
Repetitividade & Rep	0.0000073467	0.0027105	GRR. =0.0022679	0.0027105	%GRR. = 32.53%																																																																																																																																																									
Tolerância.		T.	= 0.050	Nível de Confiança.	1-.	= 95.000%																																																																																																																																																								
Resolução.		%RE.	= 2.00%																																																																																																																																																											
Repetitividade & Reprodutibilidade.		%GRR.	= 32.53%																																																																																																																																																											
Variação das Peças.		%PV.	= 80.76%																																																																																																																																																											
Número de categorias distintas.		Ncd.	= 3																																																																																																																																																											
Os requisitos não foram atendidos (%RE.,Min.,%GRR.)																																																																																																																																																														
MAHLE BU1 V3.1 (2019_01): Verfahren 3																																																																																																																																																														
		T. Min. (%GRR.) = 0.0813		T. Min. (%GRR.) = 0.0542																																																																																																																																																										
Observação.																																																																																																																																																														

Data. 21/10/2020

Nome do Analista. NN

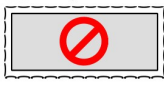
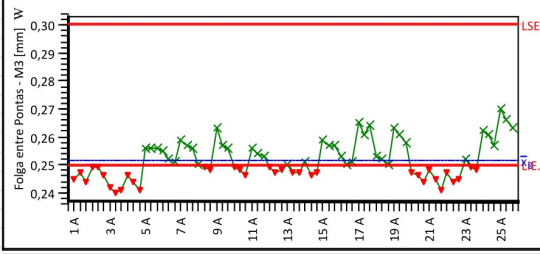
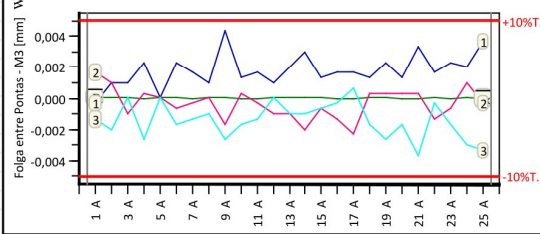
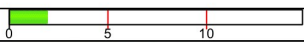

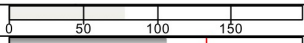


Seção. NN

Norma

MAHLE Componentes de Motores S.A.

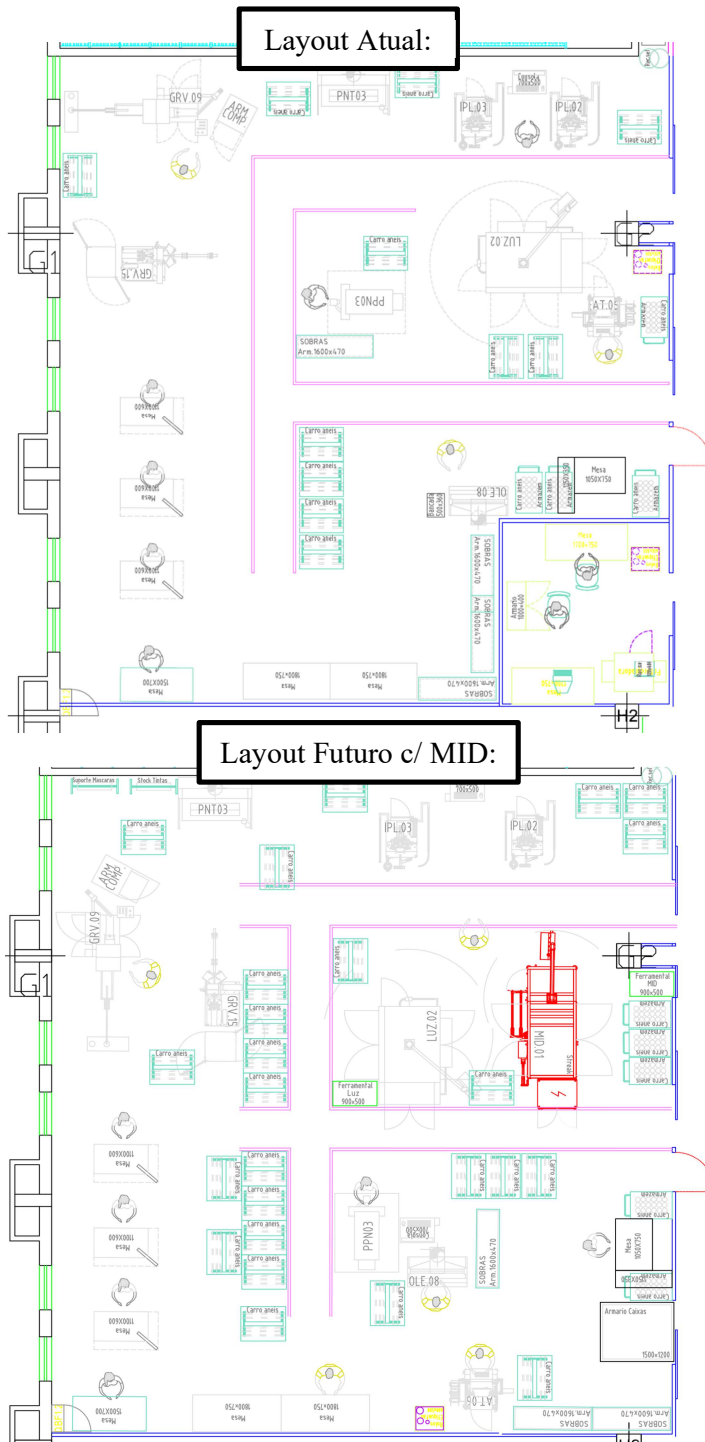
1 / 1

RESULTADOS MEDIÇÃO DE FOLGA ENTRE PONTAS COM TOLERÂNCIA REDUZIDA – ESTUDO Nº6

MAHLE		Análise Sistemas de Medição - EIME'S				
		Estudo R&R - Método 3				
Estudo		Meio de Medição.		Característica		
Material	09593548	Máquina		Cód. Caract. 33.0 Folga entre Pontas - M3		
Descrição	GBSLK4NS 130,00-3,00-4,65	EIME.	P-AN-U-AP-0274 MAQ. INSP. 100% MID-01			
Posto Insp.		Unid. Med.:	mm			
		Resolução:	0,001			
25 parts / 3 trials(F.7.2919.0.0)				Máx: 0,300 = 0,025 Média (V. 0,275		
				Min: 0,250 = -0,025 T. 0,050		
n	X _{A,1}	X _{A,2}	X _{A,3}	$\bar{X}_{E,j}$	S _{E,j}	
1	0,245	0,247	0,244	0,2453	0,0015	
2	0,249	0,249	0,246	0,2480	0,0017	
3	0,242	0,240	0,241	0,2410	0,0010	
4	0,246	0,244	0,241	0,2437	0,0025	
5	0,256	0,256	0,256	0,2560	0,0000	
6	0,255	0,252	0,251	0,2527	0,0021	
7	0,259	0,257	0,256	0,2573	0,0015	
8	0,250	0,249	0,248	0,2490	0,0010	
9	0,263	0,257	0,256	0,2587	0,0038	
10	0,249	0,248	0,246	0,2477	0,0015	
11	0,256	0,254	0,253	0,2543	0,0015	
12	0,249	0,247	0,248	0,2480	0,0010	
13	0,250	0,247	0,247	0,2480	0,0017	
14	0,251	0,246	0,247	0,2480	0,0026	
15	0,259	0,257	0,257	0,2577	0,0012	
16	0,253	0,250	0,251	0,2513	0,0015	
17	0,265	0,261	0,264	0,2633	0,0021	
18	0,253	0,252	0,250	0,2517	0,0015	
19	0,263	0,261	0,258	0,2607	0,0025	
20	0,247	0,246	0,244	0,2457	0,0015	
21	0,248	0,245	0,241	0,2447	0,0035	
22	0,247	0,244	0,245	0,2453	0,0015	
23	0,252	0,249	0,248	0,2497	0,0021	
24	0,262	0,261	0,257	0,2600	0,0026	
25	0,270	0,266	0,263	0,2663	0,0035	
		Variância		Desvio-padrão		
Repetitividade		0,0000043067		0,0020753		
Repetitividade & Rep		0,0000043067		0,0020753		
				VE. = 0,0017364 0,0020753 %VE. = 24,90%		
				GRR. = 0,0017364 0,0020753 %GRR. = 24,90%		
Tolerância		T. = 0,050		Nível de Confiança		
				1- = 95,000%		
Resolução		%RE. = 2,00%				
Repetitividade & Reprodutibilidade		%GRR. = 24,90%				
Variação das Peças		%PV. = 78,80%				
Número de categorias distintas		Ncd. = 4				
Sist. de Med. com Aprovação Cond. (%RE.,Min.,%GRR.) 						
MAHLE BU1 V3.1 (2019_01): Verfahren 3						
		T. Min. (%GRR.) = 0,0623		T. Min. (%GRR.) = 0,0415		
Observação.						
Data		21/10/2020		Nome do Analista		
				NN		
Norma		MAHLE Componentes de Motores S.A.		Seção		
				NN		

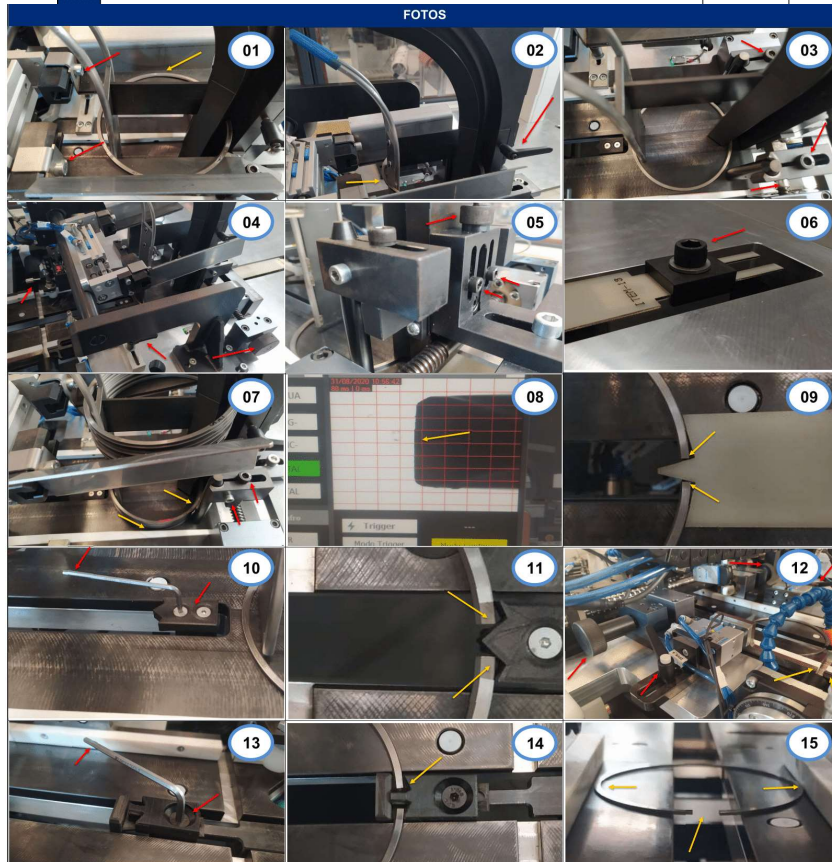
APÊNDICES

LAYOUT BLOCO FINAL SUBLINHA AÇO



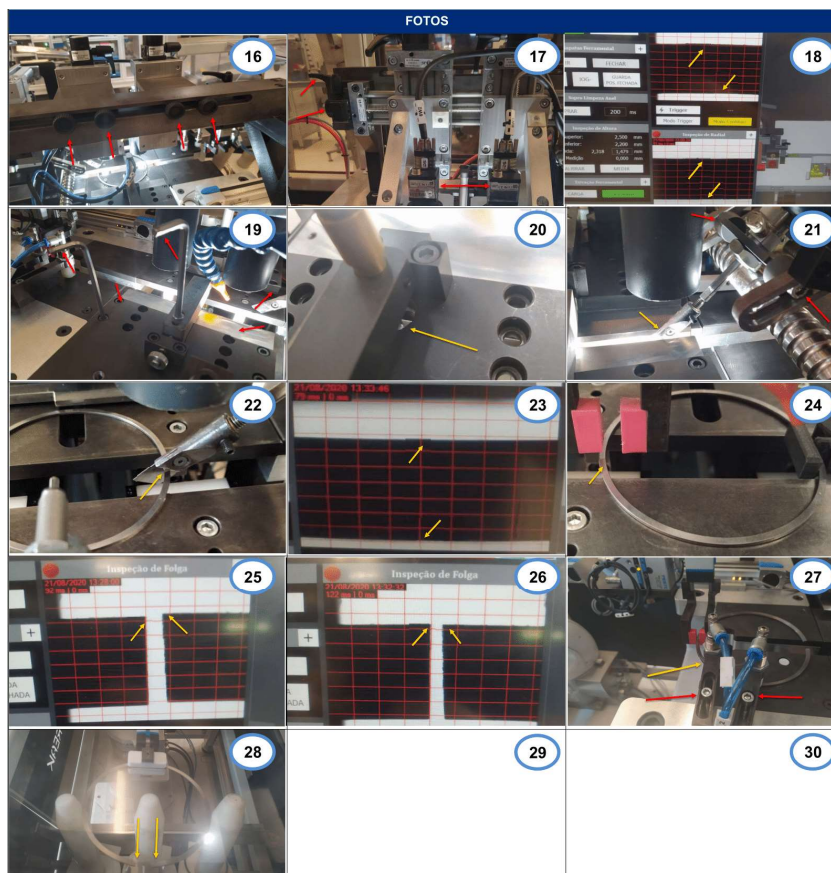
MTP – MÉTODO DE TRABALHO PADRONIZADO

OP	ELEMENTOS DO TRABALHO	Chave
1	Ajustar garra magazine ao diâmetro do anel, deixar folga de +/- 3mm com a FC	6
2	Ajustar guias verticais, deixar folga desde o topo até ao fundo de +/- 5mm com o diâmetro interno do anel	Manual
3	Desapertar alinhadores verticais	5 e 6
4	Ajuste inicial das guias 1.1. e 1.2. Atenção à inspeção de chanfro que preciso de ser regulada em conjunto	Manual
5	Ajustar a altura do magazine à altura do anel Atenção à perpendicularidade do magazine com a mesa, apenas apertado está perpendicular	5
6	Trocar a régua conforme IP , ajustar em modo JOG / INC e SET da posição inicial	10
7	Ajustar alinhadores verticais, testando com anéis a cair no magazine	5 e 6
8	Avançar a régua com anel em modo JOG / INC, câmara de inspeção de perfil em modo contínuo, fazer SET à posição final estando a FC no centro da imagem	N/A
9	Ajuste final das guias 1 e 2, conforme a imagem Atenção que não podemos ter as 2 pontas em contacto com o bico da régua	Manual
10	Trocar ferramental extração perfil / chanfro conforme IP	2.5
11	Verificar em modo JOG se na extração perfil / chanfro apenas 1 das pontas do anel contacta com o ferramental Caso contrário proceder aos ajustes necessários das guias 1.1 e 1.2.	N/A
12	Ajuste Inicial das guias 2.1. e 2.2. Atenção que é preciso garantir uma transição suave de entrada para estas guias	Manual
13	Trocar transferidor ferramental conforme IP	4
14	Avançar, baixar e recuar extração perfil / chanfro com anel, em modo JOG / INC fazer SET da posição inicial do transferidor ferramental. Verificar ao subir se está bem posicionado, ajustar as guias 2.1. e 2.2. sempre que necessário	N/A
15	Ajuste final das guias 2.1. e 2.2, conforme a imagem 14 na posição inicial e conforme a imagem 15 na posição final. Posição final das guias é segundo o diâmetro livre do anel	Manual



MTP – MÉTODO DE TRABALHO PADRONIZADO

OP	ELEMENTOS DO TRABALHO	Chave
16	Desapertar parafusos de posicionamento das câmaras	Manual
17	Ajustar comprimento entre câmara de inspeção de folga e câmara de inspeção radial. Com as câmaras em modo contínuo, ajustar até as arestas do anel estarem visíveis conforme imagem 18	Manual
18		
19	Trocar batente e sapatas. Atenção que sapata do lado de inspeção de altura é preciso ter cuidado com o apalpador do sensor, se não estiver a encaixar bem, não forçar. Apenas aperto ligeiro das sapatas conforme as chaves na imagem 19	5 e 3
20		
21	Ajustar a lâmina o mais centrado possível. Com o auxílio da câmara de folga em modo contínuo e/ou com a ajuda das sapatas fechadas para verificar a boa centragem. A posição da lâmina em relação ao anel deve de estar conforme a imagem 22	5
22		
23	Em modo JOG / INC posicionar as garras extração de ferramental de maneira a que com anel confinado nas sapatas estejam facilmente visíveis as arestas do anel na câmara de inspeção de radial. Fazer SET da posição de CARGA	Manual
24	Avançar transferidor ferramental em modo JOG / INC, e fazer SET da posição final do anel conforme a imagem 24, ligeiramente avançado (+/- 4 mm) da posição onde estão as garras. Fazer SET da posição final.	Manual
25	Ajustar paralelismo entre as sapatas com o auxílio da câmara de inspeção de folga em modo contínuo. Apertando os parafusos das sapatas quando tiver o resultado desejado, o objetivo é passar de uma eventual imagem 25 para a situação da imagem 26 com as 2 pontas alinhadas.	5
26		
27	Ajustar posição DESCARGA das garras extração de ferramental, fazer SET à posição conforme imagem 27. Ajustar os calçadores pneumáticos	5
28	Fazer SETUP das posições de descarga do robot, caso não esteja conforme a imagem 28, proceder à correção e guardar posição	Manual



RELATÓRIO SAT – MID

Project Title



Handing Over Report

Engineering Report Date: YYYY-MM-DD
 Document-No. **HOR-NNN-YY** Version **02** Page 1/6

Person in charge:
 MAHLE Componentes de Motores S.A.

Manufacturer:	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 15px;"></div>	MAHLE Project No.: P11030200103917035
Description:	Máquina de Inspeção Dimensional	Internal Order No.:
Machine No. of Manufacturer:		Inventory No.:
Purchase Order No.:	4502887297/U01	Delivery date:
Location of Delivery:		
Participants:	Fa. MAHLE, S.A.:	Supplier:
	João Abreu	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 15px;"></div>
	João Rego	

Result:	yes	no	with restrictions
Delivery carried out without complaints	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Scope of delivery fulfilled	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Comment: _____
Quality requirements fulfilled	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Performance data observed	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
All required functions fulfilled	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
External MAHLE check list filled in by manufacturer	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Safety inspection carried out by MAHLE safety expert	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
List of Pending completely solved submitted	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
List of Defects completely solved submitted	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Complete documentation of equipment submitted	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____

RELATÓRIO SAT - MID

Project Title



Handing Over Report

Engineering Report	Date: YYYY-MM-DD
Document-No. HOR-NNN-YY	Version 02 Page 3/6

SUPPLEMENT OF HANDING OVER REPORT

MAHLE Metal Leve S.A.

Manufacturer:	<input type="text"/>	MAHLE Project-No.:
Description:	Máquina de Inspeção Dimensional	
Purchase Order No.:		

Quality requirements:

Every defect and requirement needed for optimal results were resolved. Capabilities studies of RR and Cg/Cgk were conducted in October 2019 for the rings 75mm, 82mm, 89mm and 130mm of diameter, all secured good results.

In March and July 2020 list of defects was updated, intervention on those defects was conducted. This machine is very sensitive to ring positioning, the robot dropped some rings during the first batch of SAT, better transporter claw design granted good positing for all rings. In order to keep GAP on the middle of the camera measurement shot and with little or no variance, transporting tools were optimized for better robustness of the process.

RELATÓRIO SAT - MID

Project Title

Handing Over Report

Page: 2/4

Performance data:

October 2019:

Cg & Cgk Study										Cg & Cgk Conditions:		
Ring Diameter:	75 mm		82 mm		89 mm		130 mm				Approved: >1.67	
Study:	First	Second	First	Second	First	Second	First	Second	Tolerance:	Approved with Conditions: >1,33 \wedge <1,67		
Width	Cg	3,33	2,00	2,00	2,00	2,00	3,33	3,33	0,020 mm	Reproved: <1.33		
	Cgk	3,27	1,93	1,93	1,93	1,93	3,27	3,27				
Radial	Cg	25,00	25,00	2,50	1,81	25,00	17,32	25,00	0,150 mm			
	Cgk	24,93	24,93	2,43	1,71	24,93	17,32	24,93				
Gap Size	Cg	3,92	1,45	1,85	2,60	1,85	1,85	3,38	0,100 mm			
	Cgk	3,86	1,37	1,57	2,42	1,57	1,57	2,99				

RR Study										Dispersion Conditions:		
Ring Diameter:	75 mm		82 mm		89 mm		130 mm				Approved: <20%	
Study:	First	Second	First	Second	First	Second	First	Second	Tolerance:	Approved with Conditions: >20% \wedge <30%		
Width	10,39%	10,10%	5,87%	7,94%	8,66%	7,94%	8,66%	7,94%	0,020 mm	Reproved: >30%		
Radial	3,83%	3,96%	2,16%	1,85%	4,84%	3,15%	1,63%	2,11%	0,150 mm			
Gap Size	5,61%	5,81%	6,40%	6,48%	10,97%	6,76%	5,62%	4,33%	0,100 mm			

July & August 2020:

Cg & Cgk Study							Cg & Cgk Conditions:		
Ring Diameter:	75 mm								Approved: >1.67
Study:	First 20-086	Second 20-088	Third 20-090				Tolerance:	Approved with Conditions: >1,33 \wedge <1,67	
Width	Cg	6	6	6			0,024 mm	Reproved: <1.33	
	Cgk	5,9	5,9	5,9					
Radial	Cg	75	75	75			0,300 mm		
	Cgk	74,9	74,9	74,9					
Gap Size	Cg	6,25	6,32	5,88			0,100 mm		
	Cgk	5,72	6,14	5,78					
Date:	09/jul	14/jul	14/jul						

RELATÓRIO SAT - MID

Project Title

Handing Over Report

Page: 3/4

Cg & Cgk Study					Cg & Cgk Conditions:
Ring Diameter:		84 mm			Approved: >1.67
Study:	First 20-092	Second 20-094	Third 20-096	Tolerance:	Approved with Conditions: >1,33 \wedge <1,67
	Cg	5	5		
Width	Cgk	4,9	4,9	4,9	0,020 mm
	Cg	30	16,88	22,2	
Radial	Cgk	29,6	16,29	22,17	0,300 mm
	Cg	5,11	7,65	8,18	
Gap Size	Cgk	4,62	6,52	7,33	0,100 mm
	Cg	5,11	7,65	8,18	
Date:		04/ago	05/ago	05/ago	

RR Study					Dispersion Conditions:
Ring Diameter:		75 mm			Approved: <20%
Study:	First 20-087	Second 20-089	Third 20-091	Tolerance:	Approved with Conditions: >20% \wedge <30%
	Width	12,49	7,75		
Radial	9,04	3,87	2,37	0,160 mm	Reproved: >30%
Gap Size	12,35	13,34	15,18	0,100 mm	
Date:		13/jul	13/jul	14/jul	

RR Study					Dispersion Conditions:
Ring Diameter:		84 mm			Approved: <20%
Study:	First 20-093	Second 20-095	Third 20-097	Tolerance:	Approved with Conditions: >20% \wedge <30%
	Width	4,9	11,49		
Radial	1,96	1,22	1,63	0,300 mm	Reproved: >30%
Gap Size	11,8	10,93	9,3	0,100 mm	
Date:		04/ago	05/ago	05/ago	

RELATÓRIO SAT - MID

Project Title

Handing Over Report

Page: 4/4

Functions:

After resolving the latest July 2020 defects and setup optimization tools, capabilities studies of RR and Cg/Cgk were conducted in July for the rings 75mm, 84mm and 130mm of diameter, good results were obtained.

Visual assessment was conducted on rings before and after being measured on MID-01, no flaws were found.

The machine is considered approved, and ready for the try-out phase on their future workstation.

