

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CÂMPUS CURITIBA / DIRGE-CT / DIRPPG**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE**  
**MATERIAIS**

**VITOR MEIRA BILHA**

**ANÁLISE DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO INTERNA APLICADO À**  
**FABRICAÇÃO DE BICOS INJETORES DIESEL**

**CURITIBA**

**2015**

**VITOR MEIRA BILHA**

**ANÁLISE DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO  
INTERNA APLICADO À FABRICAÇÃO DE BICOS  
INJETORES DIESEL**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Materiais, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Paulo André de Camargo Beltrão, Ph.D.

Coorientador: Prof. Dr. Giuseppe Pintaúde

**CURITIBA**

**2015**

---

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**

---

B595a Bilha, Vitor Meira  
2015 Análise do processo de retificação interna aplicado à fabricação de bicos injetores diesel / Vitor Meira Bilha.- 2015.  
155 f.: il.; 30 cm

Texto em português, com resumo em inglês.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2015.  
Bibliografia: f. 121-128.

1. Automóveis - Motores - Sistema de injeção eletrônica de combustível. 2. Motor diesel. 3. Retificação e polimento. 4. Superfícies (Tecnologia). 5. Sistemas de indicação visual tridimensional. 6. Métodos de simulação. 7. Engenharia mecânica - Dissertações. I. Beltrão, Paulo André de Camargo, orient. II. Pintaúde, Giuseppe, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. IV. Título.

CDD: Ed. 22 -- 620.1

---

**Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba**

## TERMO DE APROVAÇÃO

VITOR MEIRA BILHA

# ANÁLISE DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO INTERNA APLICADO À FABRICAÇÃO DE BICOS INJETORES DIESEL

Este Projeto de Dissertação foi julgado para a obtenção do título de mestre em engenharia, área de concentração em engenharia de manufatura, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais.

---

Prof. Paulo César Borges, Dr.  
Coordenador de Curso

### Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Paulo A. de C. Beltrão, Ph.D.  
(Orientador - UTFPR)

---

Prof. Dr. Eduardo Carlos Bianchi  
(UNESP)

---

Prof. Dr. Neri Volpato  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Walter Luís Mikos  
(UTFPR)

Curitiba, 14 de Dezembro de 2015

*À minha esposa Katia,  
por sua ajuda e compreensão,  
e  
aos meus pais,  
por tudo.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos Professores Dr. Paulo André de Camargo Beltrão e Dr. Giuseppe Pintaúde pela orientação e parceria neste estudo, além da dedicação, paciência e incentivo durante o desenvolvimento deste estudo.

À empresa parceira deste projeto, em especial para Fernando Borer, Juliana Delfino, Jairo Wolff, Heitor Pedron, Dagoberto Mockel, Daniel Schulze, Julião Siqueira, Augusto Silva, Mateus Pinto, Sergio Pejas, Claudinei Oliveira, Alba Turin, Marco Pontes, Rogério Pitella, Cintia Cordeiro, Rafael Gledyston, Vinicius Stocker, Carlos Silva, Edgardo Herrera, Ricardo Gasola, Luciano Arantes e demais colegas pela disponibilização dos recursos necessários e pelo apoio ao projeto.

A todos os Professores e técnicos administrativos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela contribuição durante o curso de mestrado.

Ao aluno de iniciação científica Victor Beltrão pelo bom trabalho, dedicação e comprometimento a este estudo.

Aos Professores Dr. Neri Volpato e Dr. Walter Luís Mikos, pelos comentários e orientações durante a avaliação do Projeto de Dissertação.

BILHA, Vitor Meira. **ANÁLISE DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO INTERNA APLICADO À FABRICAÇÃO DE BICOS INJETORES DIESEL**, Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

## **RESUMO**

A utilização mais eficiente dos recursos naturais tem levado a indústria a aumentar a eficiência dos produtos manufaturados. Veículos de transporte Diesel estão incluídos neste cenário. Nos motores Diesel, um componente importante do sistema de injeção é o bico injetor. Uma legislação recente no Brasil introduziu limites de emissões EURO5. Estes novos parâmetros tiveram impacto no projeto do bico injetor com tolerâncias sendo reduzidas, em especial na área da sede do corpo do bico injetor, alterando o parâmetro funcional de pressão de abertura do produto. Neste cenário, o impacto desta superfície cônica retificada sobre a pressão de abertura é grande, bem como, sobre o desempenho do motor Diesel. Este estudo tem como objetivo analisar o defeito de topografia superficial típico e recorrente no processo de retificação interna cônica da sede do corpo dos bicos injetores. Um experimento planejado foi realizado de acordo com método Taguchi e determinou-se a relação sinal-ruído para dois parâmetros de topografia 2D. A superfície da sede também foi analisada utilizando análise topográfica 3D. Os resultados deste estudo incluem a indicação de possíveis causas do defeito recorrente, caracterização dos principais elementos do processo de retificação, caracterização da superfície retificada e otimização dos parâmetros do processo de retificação.

**Palavras-chave:** bico injetor Diesel, retificação interna, topografia superficial.

BILHA, Vitor Meira. **INTERNAL SURFACE GRINDING PROCESS ANALYSIS IN DIESEL NOZZLES**, Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

## **ABSTRACT**

Industries of manufactured products have increased their efficiency optimizing the natural resources usage and Diesel commercial vehicles are included in this scenario. For Diesel engines, one of the most important components of the injection system is the nozzle injector. In Brazil, EURO5 legislation was recently introduced, bringing new emission limits for Diesel engines. Because of this, the nozzle injector design has changed and some manufacturing tolerances were reduced, in special the body seat geometry. This also changed the nozzle opening pressure. In this new process, the body seat grinded conical surface impacts on this functional parameter and consequently the Diesel engine performance. This study has as target to analyze a recurrent defect in the internal conic grinding process of the nozzle body seat. A trial was performed in this process according to Taguchi method and signal / noise ratio for 2D topographic parameters were defined. The body seat surface was also analyzed using 3D topographic analysis. The results of this study include the possible cause of the recurrent failure, characterization of the ground surface, process main elements integrity assessment and optimization of the grinding process parameters.

**Keywords:** Diesel nozzle injector, internal grinding process, surface topography.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região do bico injetor onde se encontra: 1- Furo de injeção, 2- Furo cego, 3- Sede, 4- Corpo do injetor, 5-Agulha do injetor e 6-Região de vedação, $d_s$ .....	20
Figura 2 - Diâmetros e pressão envolvidos no processo de abertura do bico injetor	21
Figura 3 - Processo de retificação interna da sede de bicos injetores .....	22
Figura 4 - Esquemática do processo de retificação interna da sede de bicos injetores.....	23
Figura 5 - Esquemática do processo de dressagem do rebolo do processo de retificação interna da sede de bicos injetores .....	23
Figura 6 - Perfil primário da sede de um bico injetor que apresenta o defeito recorrente e aleatório .....	24
Figura 7 – Tópicos abordados na revisão bibliográfica na ordem lógica definida para este estudo.....	28
Figura 8 - Zona de retificação: grãos abrasivos, ligante, material usinado (peça) e o ambiente .....	31
Figura 9 - Remoção de um único cavaco não deformado em retificação plana de acabamento .....	33
Figura 10 - Processos de retificação mais comuns: a) retificação plana, b) retificação interna cilíndrica e c) retificação externa cilíndrica.....	34
Figura 11 - Esquemática da abordagem de sistema para um processo de retificação.....	35
Figura 12 - Operações típicas de retificação interna: a) retificação interna de pequeno diâmetro b) retificação de forma complexa e c) retificação de uma pista interna de um rolamento .....	35
Figura 13 - Esquemática da relação entre manufatura, superfície e função.....	38
Figura 14 - Caracterização de uma superfície em termos de rugosidade, ondulação e erro de forma.....	40
Figura 15 - Exemplificação do parâmetro de rugosidade $S_{sk}$ ( <i>Skewness</i> ).....	42
Figura 16 - Exemplificação do parâmetro de rugosidade $S_{ku}$ ( <i>Curtose</i> ) .....	43

Figura 17 - Análise metalográfica de um corpo de bico injetor Diesel EURO5 numa região que não a sede com queima e retempera para ilustração (ampliação de 500x, ataque com Nital 2%) .....	51
Figura 18 - Modelo geral de um processo a ser avaliado via planejamento de ensaios .....	52
Figura 19 - Tópicos abordados na seção materiais e métodos na ordem lógica definida para este estudo .....	55
Figura 20 - Corpo (1) e bico injetor (2) Diesel geração EURO5 .....	56
Figura 21 - Região da sede (área vermelha) do corpo do bico injetor.....	56
Figura 22 - Posição das medições de dureza para caracterização do material das amostras (ponto 1 está 0,1 mm distante da sede, ponto 2 situa-se distante 0,35 mm e o ponto 3 está no centro da região da cúpula) .....	57
Figura 23 - Haste prolongadora flexionada devido a esforços na retificação interna	59
Figura 24 - Configuração dos agentes do processo de retificação interna cônica deste estudo: 1- placa de fixação da peça, 2- dressador e 3- rebolo de retificação.....	62
Figura 25 - Agentes do processo de retificação interna cônica em detalhe: 1- placa de fixação da peça, 2- dressador e 3- rebolo de retificação.....	62
Figura 26 - Região de análise metalográfica adjacente à terceira parte da sede.....	64
Figura 27 - Máquina retificadora utilizada na fabricação das amostras.....	65
Figura 28 - Rebolo do processo de retificação, responsável pelo corte de material e por levar óleo lubrificante até a região de retificação .....	66
Figura 29 - Dressador do processo de retificação e exemplificação do contato do dressador com o rebolo durante dressagem (medida em mm) .....	66
Figura 30 - Tempo de centelhamento: tempo de permanência do rebolo em contato com a sede sem oscilação, sendo a última etapa do processo de retificação (unidade: segundos).....	67
Figura 31 - Velocidade de oscilação do rebolo em relação à peça (setas), sendo um movimento interpolado (unidade: mm/min) .....	67
Figura 32 - Profundidade de material da sede a remover na retificação medida no sentido axial conforme ilustrado (unidade: mm).....	68
Figura 33 - Velocidade do dressador durante a dressagem do rebolo 5, sendo a resultante dos movimentos realizados (unidade: mm/min) .....	68

Figura 34 - Endoscópio industrial utilizado no exame visual das amostras.....	70
Figura 35 - Rugosímetro Mahr Perthometer Concept <i>Version 7.1_9</i> .....	71
Figura 36 - Esquema das posições das medições de topografia superficial realizadas na sede .....	72
Figura 37 - Interferômetro óptico Taylor Hobson CCI com o <i>software</i> Talymap.....	73
Figura 38 - Área avaliada utilizando o Interferômetro óptico Taylor Hobson CCI (medidas em mm) .....	74
Figura 39 - Amostra preparada para medição no interferômetro: 1- Restante da amostra após corte, 2- Corte em detalhe para deixar sede exposta e 3- Superfície oposta retificada para apoio .....	75
Figura 40 – Vista lateral em corte da amostra preparada conforme ilustrado nas posições 2 e 3 da Figura 39 para medição de topografia 3D.....	75
Figura 41 – Imagem de topografia 3D de uma amostra com ampliação ótica de 20 vezes na qual não se obteve um resultado satisfatório.....	76
Figura 42 - Imagem da topografia 3D de uma amostra com ampliação ótica de 20 vezes e ampliação digital adicional na qual se obteve resultado satisfatório .....	76
Figura 43 - Imagem da topografia 3D de uma área de medição de 1,8 x 0,2 mm que não apresentou bom resultado de medição .....	77
Figura 44 - Imagem de topografia 3D de uma área de medição de 1,0 x 0,2 mm que apresentou bom resultado de medição .....	78
Figura 45 - Imagem da topografia 3D de uma amostra sem a limpeza adequada necessária.....	78
Figura 46 - Imagem de topografia 3D de uma amostra após a limpeza adequada necessária.....	79
Figura 47 - Bancada utilizada na medição da pressão de abertura das amostras ....	81
Figura 48 – Equipamento do fabricante <i>Prüftechnik</i> , modelo <i>VIBXpert II</i> utilizado no ensaio adicional de vibrações .....	82
Figura 49 – Configuração na máquina de retificação durante o ensaio adicional de vibrações.....	83
Figura 50 - Imagens de rebolos do processo de retificação obtidas através do MEV .....	85
Figura 51 - Imagens de dressadores do processo de retificação obtidas através do MEV .....	86

Figura 52 - Imagens de um dressador no meio da sua vida útil do processo de retificação obtidas através do MEV .....	86
Figura 53 - Imagens de cavacos do processo de retificação obtidas através do MEV .....	87
Figura 54 - Imagens da sede de um corpo com o defeito recorrente obtidas através do MEV .....	88
Figura 55 - Análise metalográfica na terceira parte da sede (ampliação de 500x, ataque com Nital 2%) de um corpo retificado sem o defeito recorrente.....	89
Figura 56 - Análise metalográfica na terceira parte da sede (ampliação de 500x, ataque com Nital 2%) de um corpo retificado com o defeito recorrente.....	89
Figura 57 - Imagem da sede da amostra MV.R5.a5 obtida utilizando-se um endoscópio industrial.....	90
Figura 58 - Perfil topográfico primário da amostra MV.R5.a13.APt.....	93
Figura 59 - Perfil de ondulação (perfil W) amostra MV.R5.a13.APt .....	93
Figura 60 - Valores do parâmetro primário Pt das amostras do ensaio 1 com motor do dressador “velho” (média das três medições realizadas para cada amostra)	94
Figura 61 - Valores do parâmetro de ondulação Wt das amostras do ensaio 1 com motor do dressador “velho” (média das três medições realizadas para cada amostra).....	95
Figura 62 - Valores de S/N da relação dos parâmetros do processo com parâmetro primário 2D Pt .....	97
Figura 63 - Valores de análise de variância para a média dos valores do parâmetro primário 2D Pt .....	97
Figura 64 - Valores de S/N da relação dos parâmetros do processo com parâmetro de ondulação 2D Wt.....	98
Figura 65 - Valores de análise de variância para a média dos valores do parâmetro de ondulação 2D Wt.....	98
Figura 66 - Curva de análise de material e gráfico de Abbott-Firestone da amostra MN.R8.a19.bPt (gráfico de parâmetros Sk) .....	102
Figura 67 - Imagem 3D de topografia da amostra MN.R8.a19.bPt .....	103
Figura 68 – Imagem 3D de topografia da amostra com o defeito recorrente MV.R5.a13.APt .....	104

Figura 69 - Curva de análise de material e gráfico de Abbott-Firestone da amostra MV.R5.a13.APt (gráfico de parâmetros Sk) .....	108
Figura 70 - Imagens da sede, obtidas através do MEV, da amostra MV.R5.a13.APt. a) Visão geral da sede com aplicação de 80x, b) Imagem ampliada da região b com aplicação de 2500x e c) Imagem ampliada da região c com aplicação de 2500x .....	110
Figura 71 - Relação entre o parâmetro primário Pt ( $\mu\text{m}$ ) (curva inferior) e a pressão de abertura para as 150 amostras analisadas .....	112
Figura 72- Relação entre o parâmetro de ondulação Wt ( $\mu\text{m}$ ) (curva inferior) e a pressão de abertura para as 150 amostras analisadas.....	113
Figura 73 – Gráfico da amplitude (mm/s) pelo tempo (s) mostrando um período completo de dressagem e repouso .....	114
Figura 74 – Intensidade sonora (dB) por tempo registrado durante ensaio .....	115
Figura 75 - Teste de igualdade tipo F para variâncias entre as amostras com e sem o defeito característico para os parâmetros Ssk e Sku .....	154
Figura 76 – Teste de igualdade tipo F para variâncias entre as amostras com e sem o defeito característico para os parâmetros Sq e Str .....	154

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição nominal do aço DIN 18CrNi8 (% de massa).....	29
Tabela 2 - Valores e informações obtidas com os parâmetros Ssk e Sku.....	43
Tabela 3 - Composição obtida via EDS.....	58
Tabela 4 - Valores de dureza obtidos.....	58
Tabela 5 - Amostras para análise de integridade utilizando MEV .....	63
Tabela 6 – Amostra para análise da sede utilizando MEV .....	63
Tabela 7 - Planejamento do experimento conforme arranjo ortogonal L9.....	69
Tabela 8 - Parâmetros topográficos gerados a partir da medição com o interferômetro.....	80
Tabela 9 - Parâmetros utilizados no equipamento de medição de vibrações durante o ensaio.....	82
Tabela 10 - Definição da nomenclatura das amostras .....	84
Tabela 11 - Valores dos parâmetros de topografia 2D Rmax, Rz, Pt e Wt ( $\mu\text{m}$ ) da sede do corpo para o motor “velho”, ensaio 1 (DesvPad = Desvio padrão dos valores obtidos).....	92
Tabela 12 - Comparação da média e desvio padrão de todas as amostras fabricadas com e sem o fator de ruído para os valores dos parâmetros Pt e Wt .....	94
Tabela 13 - Parâmetros e seus níveis de variação avaliados conforme método de Taguchi .....	96
Tabela 14 - Níveis ótimos para os parâmetros de processo avaliados no experimento .....	99
Tabela 15 – Valores médios para os parâmetros Sq, Ssk, Sku e Str das amostras com e sem o defeito recorrente.....	101
Tabela 16 - Parâmetros Str para as duas sub-regiões analisada.....	105
Tabela 17 - Amostras avaliadas no interferômetro óptico .....	106
Tabela 18 - Parâmetros de planeza obtidos.....	107
Tabela 19 - Parâmetros de planeza para as duas amostras significativas com o sem o defeito recorrente .....	108

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASME	<i>American Society for Metals</i>
Dr.	Doutor
Eng.	Engenheiro
<i>et al.</i>	<i>and others</i>
DIN	<i>Deutsches Industrie Normen</i>
Ibama	Instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis
ISO	<i>International Standard Organization</i>
MEV	Microscópio eletrônico de varredura
PhD	<i>Doctor of Philosophy</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
PPGEM	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais
Proconve	Programa de controle de poluição do ar por veículos automotores
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## LISTA DE SÍMBOLOS

Ø	Diâmetro [mm]
C	Carbono
Cr	Cromo
D	Diâmetro do rebolo [mm]
D <sub>n</sub>	Diâmetro da guia do bico injetor [mm]
d <sub>s</sub>	Diâmetro de vedação na sede do bico injetor [mm]
D <sub>s</sub>	Diâmetro do rebolo de retificação [mm]
F <sub>n</sub>	avanço por rotação [mm/r]
Fe	Ferro
HV	Dureza Vickers [HV]
mm	Milímetros [mm]
m/min	Metros por minuto [m/min]
mm/rot	Milímetros por rotação [mm/rot.]
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
n	Rotação [rpm]
p <sub>c</sub>	Pressão exercida sobre o topo da agulha do bico injetor
P <sub>o</sub>	Pressão de abertura do bico injetor [bar]
R <sub>a</sub>	Rugosidade média [µm]
R <sub>max</sub>	Rugosidade máxima [µm]
R <sub>z</sub>	Rugosidade máxima média [µm]
P <sub>t</sub>	Parâmetro primário, maior altura pico até vale no perfil primário [µm]
W <sub>t</sub>	Parâmetro de ondulação da superfície [µm]

Sk	Profundidade da rugosidade central [ $\mu\text{m}$ ]
Spk	Redução de pico/Altura de vale [ $\mu\text{m}$ ]
SMr1	Pico / Material componente do vale [ $\mu\text{m}$ ]
Sq	Desvio médio quadrático [ $\mu\text{m}$ ]
Ssk	<i>Skewness</i> [ - ]
Sku	<i>Kurtosis</i> [ - ]
Sp	Altura máxima de pico [ $\mu\text{m}$ ]
Sv	Altura máxima de vale [ $\mu\text{m}$ ]
Sz	Altura máxima [ $\mu\text{m}$ ]
Sds	Densidade de cumes [ $\mu\text{m}$ ]
Sal	Auto correlação do comprimento com decaimento [mm]
Str	Relação de aspecto da textura [ $\mu\text{m}$ ]
Ssc	Media aritmética da curvatura dos picos [ $\mu\text{m}$ ]
Sdq	Média quadrática das inclinações [ $\mu\text{m}$ ]
Sdr	Razão da área interfacial desenvolvida [ $\mu\text{m}$ ]
Sfd	Dimensão fractal [ $\mu\text{m}$ ]
Std	Direção da textura [°]
S5z	Dez pontos de altura da superfície [ $\mu\text{m}$ ]
FLTt	Desvio de planeza pico ao vale [ $\mu\text{m}$ ]
FLTp	Desvio de planeza pico ao valor de referência [ $\mu\text{m}$ ]
FLTv	Desvio de planeza do valor de referência ao vale [ $\mu\text{m}$ ]
FLTq	Desvio médio quadrático de planeza [ $\mu\text{m}$ ]
Vc	Velocidade de corte [m/min]
Vs	Velocidade do rebolo de retificação [m/min]
v <sub>w</sub>	Velocidade da peça retificada [m/min]

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xiv
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xv
<b>1 CONTEXTUALIZAÇÃO</b>	<b>19</b>
1.1 Objetivos	25
1.1.1 Objetivo principal	25
1.1.2 Objetivos secundários	25
1.2 Justificativas	26
1.3 Descrição do trabalho	27
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>28</b>
2.1 Bicos injetores Diesel	28
2.2 Processo de fabricação	29
2.2.1 Processo de retificação	30
2.3 Relação entre manufatura, superfície gerada e a sua função	38
2.4 Topografia superficial: medição 2D e 3D	39
2.4.1 Parâmetros topográficos de superfície	41
2.4.2 Parâmetros de erro de planeza	46
2.4.3 Características topográficas 3D típicas de superfícies retificadas	47
2.5 Microscopia eletrônica de varredura	48
2.6 Análise metalográfica para detecção de queima e retempera	49
2.7 Planejamento de experimentos	51
2.7.1 Definições básicas	52
2.7.2 Análise de variância	53
2.7.3 Método de Taguchi	53
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>55</b>
3.1 Amostras de corpos e bicos injetores Diesel	55
3.2 Descrição do processo de retificação	58
3.3 Caracterização dos elementos do processo de retificação e do defeito recorrente	62
3.4 Experimento no processo de retificação	64
3.5 Avaliação da topografia 2D da sede das amostras obtidas	70
3.6 Avaliação da topografia 3D das amostras obtidas	73
3.7 Correlação entre a topografia 2D da sede e a pressão de abertura	81
3.8 Teste adicional da causa do defeito recorrente	82
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>84</b>
4.1 Caracterização dos elementos do processo de retificação e do defeito recorrente	84
4.2 Avaliação da topografia 2D das amostras obtidas	90
4.3 Análise do processo para topografia 2D utilizando o método de Taguchi	96
4.4 Avaliação da rugosidade 3D da superfície retificada	101

4.5	Avaliação da topografia 3D das amostras retificadas	106
4.6	Correlação entre a topografia da sede e a pressão de abertura	111
4.7	Teste adicional da causa do defeito recorrente	113
5	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	116
5.1	Conclusões	116
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	118
	<b>REFERÊNCIAS</b>	120
	<b>APÊNDICE 1 - Resultados das medições de topografia 2D</b>	128
	<b>APÊNDICE 2 - Resultados das medições de topografia 3D</b>	146
	<b>APÊNDICE 3 - Figuras do Teste F para comparar as variâncias dos parâmetros Sq, Ssk, Sku e Str</b>	154

# 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A evolução nos produtos manufaturados, suas aplicações e seus processos de fabricação tem sido grande devido à necessidade cada vez maior de alta eficiência, ou seja, consumir a menor quantidade possível de recursos naturais e emitir a menor quantidade possível de rejeitos. Sistemas de propulsão de veículos que utilizam motores de combustão interna estão inseridos neste contexto, em especial motores que utilizam óleo Diesel como combustível, devido a sua larga aplicação em transporte de pessoas e cargas. Nos motores Diesel, um dos fatores mais importantes para garantir alta eficiência, ou seja, menor consumo de combustível e menor emissão de gases poluentes, é o sistema de injeção de combustível. Dentre os componentes deste sistema, um muito importante é o bico injetor (Asi *et al*, 2006; Huang *et al*, 2013; Payri *et al*, 2004), o qual realiza, de acordo com sua geometria, papel importante na injeção de combustível, afetando a formação da mistura ar – combustível, o que tem papel fundamental na eficiência do motor e na formação de poluentes (Benajes, 2008).

Uma das últimas gerações de bicos injetores Diesel fabricada no Brasil visa atender a legislação mais recente quanto a emissões: Proconve P7 (Ibama, 2011), correspondente a legislação EURO5 na Europa (Dieselnet, 2013). Desta forma, o projeto de bicos injetores de gerações anteriores teve de ser revisado de forma a atender aos requisitos mais restritos. Oliveira *et al*, 2009 já previam a tendência de as demandas serem fortemente relacionadas às mudanças no projeto do produto, oferecendo novos desafios em qualidade e produtividade em processos de fabricação, em especial na indústria automotiva. No caso do bico injetor Diesel, parâmetros de design que incluem detalhes da sede, do furo cego e da dimensão e forma dos furos de injeção, que são regiões importantes do bico injetor (Jääskeläinen, 2011), conforme mostra a Figura 1, tiveram suas dimensões e tolerâncias reduzidas, aumentando a necessidade de máquinas, processos de fabricação e medição mais precisos e capazes. Além disto, o relacionamento correto entre geometria, superfícies e funções do produto também teve sua relevância incrementada.

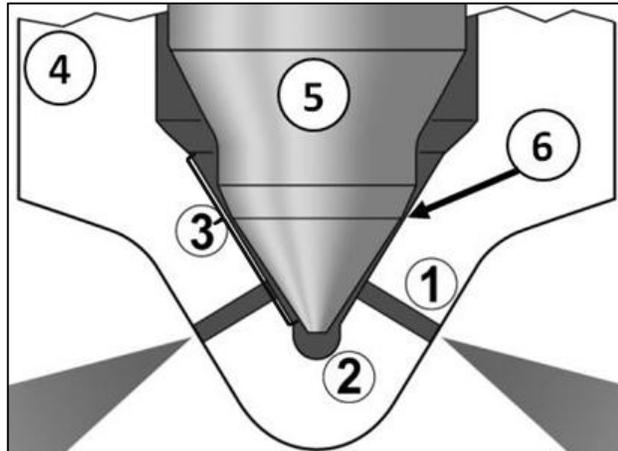


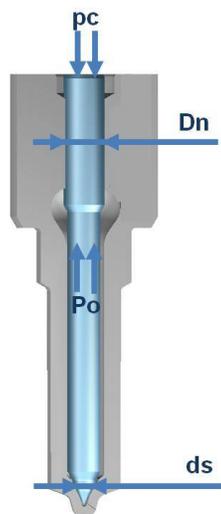
Figura 1 - Região do bico injetor onde se encontra: 1- Furo de injeção, 2- Furo cego, 3- Sede, 4- Corpo do injetor, 5-Agulha do injetor e 6-Região de vedação,  $d_s$

Fonte: Adaptado de Mahr, 2002

O bico injetor Diesel é formado pelos componentes corpo e agulha e possui dois parâmetros funcionais principais: vazão de óleo durante injeção e pressão de abertura. Estes parâmetros são de fundamental importância para a função e desempenho do bico injetor. A pressão de abertura é obtida conforme a equação 1.

$$P_o = \frac{p_c \times D_N^2}{D_n^2 - d_s^2} \quad \text{Equação 1}$$

Na equação 1,  $P_o$  é a pressão de abertura do bico injetor e  $p_c$  é a pressão exercida sobre o topo da agulha do bico. Esta pressão é exercida por uma mola tanto no sistema de injeção montado quanto no exame funcional do bico injetor,  $D_n$  é o diâmetro da guia da agulha e  $d_s$  é o diâmetro no qual a agulha assenta na sede do corpo. A Figura 2 ilustra estas características geométricas e físicas.



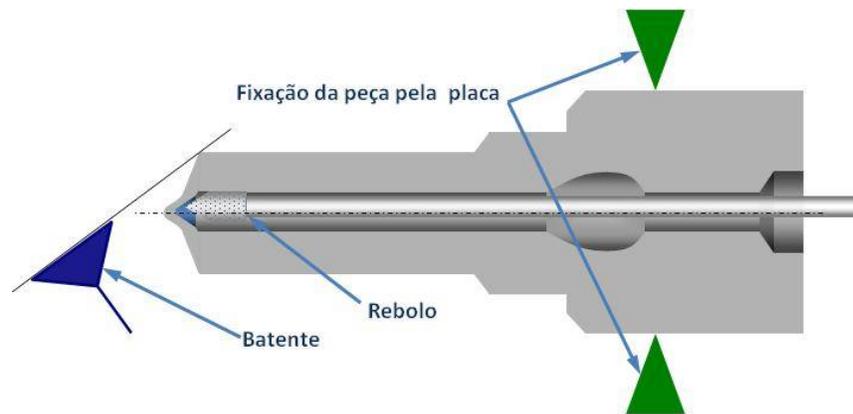
**Figura 2 - Diâmetros e pressão envolvidos no processo de abertura do bico injetor**

**Fonte: Empresa parceira do projeto**

Para a pressão de abertura, a região do bico mais importante encontra-se na sede. Tal região pode ser visualizada na Figura 1, a qual apresenta uma configuração de bicos injetores geração EURO5. A sede tem papel importante no posterior comportamento de pressão de abertura do bico injetor, o que por sua vez impacta no desempenho do sistema de injeção e do próprio motor em relação a emissões e performance durante à vida útil do mesmo (Jääskeläine, 2011). Esta região do corpo do bico injetor é uma superfície cônica retificada, com acabamento de alta qualidade (parâmetro primário  $P_t$  menor que  $2,5 \mu\text{m}$ ), na qual a agulha do bico injetor é assentada. Esta agulha possui sua sede retificada e com acabamento também de alta qualidade, porém a mesma possui uma cobertura superficial denominada filme DLC (“*diamond like carbon*”). Os revestimentos DLC apresentam espessuras que podem ser reproduzidas em linhas de produção em massa, variando entre  $0,5 \mu\text{m}$  e  $4 \mu\text{m}$  (Wolff, 2007) e são mais duros que o aço, apresentando elevada resistência ao desgaste e elevada estabilidade química. A agulha do bico injetor não está no foco deste estudo. Nesta região da sede deve haver vedação metal-metal adequada de modo que a pressão de abertura seja atingida conforme especificado.

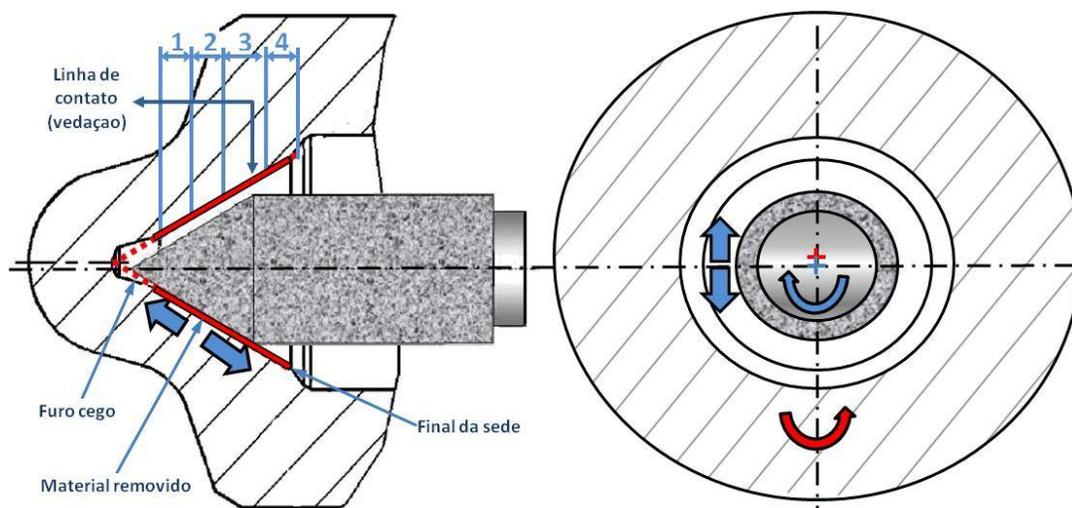
A fabricação da sede dos corpos dos bicos injetores é um processo de retificação interna complexo no qual se utiliza um rebolo cônico de pequeno diâmetro ( $\emptyset$  de 3 mm) com alta rotação. Neste processo o pequeno espaço disponível é um

complicador. A esquematização do mesmo pode ser visualizada nas Figuras 3 e 4. Avaliando-se a Figura 4 observa-se que o rebolo permanece descentralizado em relação à peça (centro do rebolo indicado em azul e centro da peça em vermelho), rotacionando e realizando um movimento interpolado durante o processo conforme indicado pelas setas de cor azul, já a peça rotaciona em sentido oposto conforme indicado pela seta vermelha e não realiza nenhum outro movimento. A quantidade de material removida é medida no sentido axial e também é representada na Figura 4

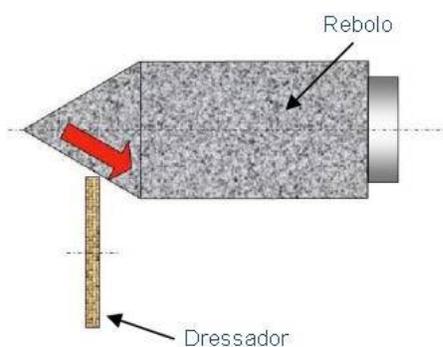


**Figura 3 - Processo de retificação interna da sede de bicos injetores**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

Já no processo de dressagem, ou seja, no processo de limpeza e reestabelecimento da capacidade de corte do rebolo, uma importante etapa do processo, ocorre conforme indicado na Figura 5. A seta de cor vermelha indica o movimento interpolado realizado pelo rebolo. Nesta dressagem as rotações do dressador e do rebolo são constantes. Este processo é monitorado através da captação de emissão acústica realizada por equipamento na máquina de retificação. A dressagem é realizada em duas etapas na qual o dressador percorre toda a extensão cônica do rebolo, a primeira para desbaste e a segunda para acabamento.



**Figura 4 - Esquemática do processo de retificação interna da sede de bicos injetores**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**



**Figura 5 - Esquemática do processo de dressagem do rebolo do processo de retificação interna da sede de bicos injetores**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

Neste processo de fabricação detectou-se, mediante seguidas análises de causa raiz de bicos injetores com pressão de abertura abaixo do especificado no seu exame funcional, que ocorre um defeito recorrente e aleatório no processo de retificação da sede dos bicos injetores Diesel geração EURO5: ondulação aparente no perfil primário da superfície de aproximadamente 1,8  $\mu\text{m}$  de altura na terceira parte da sede ao dividir a mesma em quatro partes iguais conforme ilustrado na Figura 6. Esta divisão foi feita com o propósito de organização deste estudo.

Este defeito ocorre em toda a circunferência da sede nesta região e é nesta região que ocorre o contato com a agulha, ou seja, onde se situa  $d_s$  e há a linha de

vedação (coforme Figura 1). Este defeito influencia fortemente o comportamento da pressão de abertura do bico injetor

O perfil da sede no sentido axial de um corpo que apresenta este defeito típico é mostrado na Figura 6, tem-se o perfil primário obtido, ou seja, sem o uso de filtro e *cutoff* (procedimento que despreza os extremos da seção avaliada). Tal medição é realizada iniciando-se no furo cego até o fim da sede, conforme indicado na Figura 4.



**Figura 6 - Perfil primário da sede de um bico injetor que apresenta o defeito recorrente e aleatório**

Fonte: Empresa parceira do projeto

Este defeito é encontrado em aproximadamente 70% dos bicos injetores EURO5 reprovados por pressão de abertura abaixo do especificado no exame funcional na empresa parceira do projeto. O mesmo ocorre em todas as máquinas retificadoras que produzem corpos de bicos injetores EURO5 e em todos os turnos de produção. Este defeito ocorre de forma recorrente e aleatória. Para tal falha e o fenômeno associado à mesma durante o processo de retificação não existem motivos e causas conhecidas até o momento.

Além disto, não há estudo da relação entre a topografia superficial 2D da sede do corpo dos bicos injetores, ainda no estágio da retificação, com o posterior comportamento de pressão de abertura, o qual é avaliado somente no final da linha de produção do produto.

Sendo assim, sugere-se um estudo, utilizando-se uma indústria de bicos injetores Diesel localizada em Curitiba, no estado do Paraná, como local do estudo de caso, para caracterizar e indicar causas do fenômeno associado ao defeito recorrente e aleatório no processo de retificação da sede dos bicos injetores, além de caracterizar

a topografia da superfície gerada e relacionar os principais parâmetros do processo de retificação na sede do corpo indicados pelos especialistas da empresa com parâmetros topográficos 2D.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo principal**

Caracterizar o defeito topográfico recorrente na sede dos corpos dos bicos injetores Diesel geração EURO5 e indicar as possíveis causas do fenômeno responsável pelo mesmo no respectivo processo de retificação interna cônica.

### **1.1.2 Objetivos secundários**

Os objetivos secundários abaixo são necessários à obtenção do objetivo principal:

- a) Verificar integridade do rebolo, dressador, amostras com o defeito recorrente e dos cavacos do processo de retificação deste estudo, além da incidência de queima e retempera na sede dos corpos dos bicos injetores;
- b) Determinar a correlação dos principais parâmetros de processo da retificação interna da sede do corpo dos bicos injetores Diesel geração EURO5 com o parâmetro primário Pt e o parâmetro de ondulação Wt da superfície gerada;
- c) Caracterizar a superfície retificada da sede das amostras de corpos de bicos injetores, através da medição da topografia superficial 2D e 3D, obtidas em experimento planejado utilizando-se o método de Taguchi;
- d) Correlacionar a pressão de abertura dos bicos injetores com a topografia 2D da sede do corpo dos bicos injetores;

Ao final, serão sugeridas possíveis modificações que possam minimizar a ocorrência do defeito recorrente no processo de retificação em estudo. Também serão estendidas as causas, explicações e ações do fenômeno e seu defeito para outros

processos de retificação interna, indicando-se características que possam ocorrer em outros processos similares.

## 1.2 Justificativas

Este estudo poderá contribuir com o conhecimento teórico sobre retificação interna, uma vez que a elucidação do fenômeno relacionado à ocorrência do defeito recorrente no processo proverá novas informações sobre o processo de retificação interna cônica da sede dos bicos injetores e sobre retificação interna de forma geral. Assim, as causas e consequências poderão ser aplicadas a outros processos de retificação interna, em especial aqueles com restrição de espaço no processo.

A determinação da relação entre os parâmetros do processo de retificação interna da sede do corpo dos bicos injetores Diesel geração EURO5 com o perfil topográfico gerado na superfície, em especial na terceira parte da sede, aumentará o conhecimento em relação ao processo produtivo dos bicos injetores na empresa do estudo de caso, contribuindo com a cultura já existente de geração eficiente de *Know-how* científico e tecnológico nesta organização, o que, segundo Innes *et al* (2009) pode ser ponto chave para a sobrevivência de qualquer empresa em momentos de ruptura econômica.

Além disto, a indicação de soluções aos problemas apresentados poderá ser realizada através das informações obtidas neste estudo. Desta forma, poderá ser possível reduzir custos no processo produtivo da empresa onde será desenvolvido o estudo de caso, pois atualmente é verificado um alto custo causado por refugos e retrabalhos devido à pressão de abertura e acabamento da sede fora do especificado (sendo os mesmos relacionados ao defeito recorrente evidenciado na sede) na fabricação dos bicos injetores Diesel geração EURO5 de acordo com o controle interno de custos da companhia. Assim, será possível reduzir também o desperdício de insumos (aço da matéria-prima, descarte de cavacos, óleo utilizado nos processos, energia elétrica consumida, ferramentas de corte, etc.). Sendo este um ponto importante, pois segundo IPCC 2007, *apud* Behrens *et al*, 2007 nas últimas décadas a demanda de recursos naturais devido a atividade econômica tem sido acelerada e

isto representa ameaça ao bom funcionamento de economias e sociedades devido aos problemas ambientais associados.

### **1.3 Descrição do trabalho**

Este estudo é estruturado através dos seguintes capítulos descritos abaixo.

No capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de trazer as informações básicas sobre bicos injetores Diesel, processo de retificação, medição da topografia superficial e planejamento de experimentos necessários ao estudo.

No capítulo 3 são apresentados os materiais, ferramentas, processo de fabricação e equipamentos necessários para o desenvolvimento do estudo. São definidos também os métodos para o planejamento e execução dos experimentos, além das medições e análises das amostras obtidas.

No capítulo 4 são detalhados e discutidos os resultados deste estudo. A análise de integridade dos principais atores do processo de retificação estudado é realizada, em seguida são discutidas as análises metalográficas realizadas em amostras com e sem o defeito recorrente, depois são apresentados os resultados de topografia superficial 2D e também é discutida a correlação desta topografia com os principais parâmetros do processo, após, são discutidos os resultados topográficos 3D, na sequência é apresentada a relação da topografia 2D com a pressão de abertura e por fim é discutido o resultado do experimento adicional para indicação de causa raiz do fenômeno associado ao defeito recorrente.

No capítulo 5 são descritas as conclusões obtidas e apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.

Na seção seguinte, é apresentada uma listagem das referências utilizadas.

Por fim, o estudo é finalizado com os apêndices relativos aos relatórios de medição de topografia superficial realizadas e os gráficos obtidos em um teste F realizado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo desta dissertação é focado na definição das informações básicas necessárias a realização do estudo. Os tópicos abordados, na ordem lógica definida para este estudo, são mostrados na Figura 7.

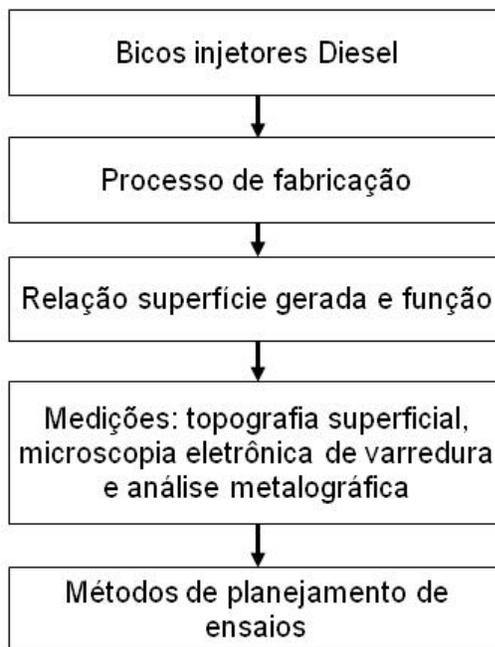


Figura 7 – Tópicos abordados na revisão bibliográfica na ordem lógica definida para este estudo

Fonte: Autoria própria

### 2.1 Bicos injetores Diesel

O bico injetor é um componente de suma importância para a performance do motor Diesel. O mesmo é o responsável por pulverizar combustível dentro do cilindro do motor de combustão. O combustível é atomizado, usualmente em alta pressão, sendo até 2000 bar nos motores mais recentes, para otimizar a mistura ar-combustível e conseqüentemente a eficiência da combustão (Asi *et al*, 2006).

Os bicos injetores utilizados no sistema de injeção Diesel do tipo “*Common Rail*” (como no caso de muitos bicos EURO5), em algumas aplicações, podem apresentar tolerância reduzida para a pressão de abertura, sendo até 1% do valor especificado

(Jääskeläinen, 2011). Isto acaba por definir pequenos limites para variação das características, com impacto direto neste parâmetro funcional durante a fabricação. A sede do corpo do bico injetor, um dos seus principais elementos, possui grande influência na pressão de abertura, suas características, como por exemplo, a topografia da sua superfície, impactam na mesma.

Os bicos injetores são usualmente constituídos de aço DIN 18CrNi8. Conforme Edelmetallwerke (2011), a composição nominal deste aço é mostrada na Tabela 1.

**Tabela 1 - Composição nominal do aço DIN 18CrNi8 (% de massa)**

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,15 – 0,20	0,15 – 0,40	0,40 – 0,60	1,80 – 2,10	1,80 – 2,10

Este material é classificado como aço com baixo teor em liga para cementação. A introdução dos elementos mostrados na Tabela 1 confere suficiente temperabilidade de modo a se obter dureza superficial elevada com apreciável ductibilidade no núcleo (Chiaverini, 2002). Ainda segundo este mesmo autor, este tipo de aço é aplicado, sempre em estado cementado, em tratores, caminhões, aviões, máquinas operatrizes, etc. Especificamente, conforme Edelmetallwerke (2011), este material é bastante utilizado em componentes de veículos sujeitos a grandes esforços mecânicos, em especial em sistemas de injeção de combustível de motores Diesel modernos, que são normalmente submetidos a altas pressões durante operação. A usinabilidade deste material é ruim quando comparada com a de aços baixo carbono não ligados, desta forma é indicado realizar as operações de usinagem com ferramentas de geometria definida, como furação, por exemplo, antes de se temperar o mesmo.

## **2.2 Processo de fabricação**

Atualmente, a fabricação dos bicos injetores Diesel das gerações mais recentes é bastante complexa e envolve muitas etapas de usinagem, retificação, montagem e exames funcionais. Estes produtos apresentam superfícies funcionais de alta qualidade. Esta complexidade acaba por demandar o relacionamento correto entre características e funções do produto ainda nos estágios de usinagem, o que pode

contribuir com a diminuição de custos com refugos de produtos nas etapas posteriores de exames funcionais.

Dentre as operações mais importantes na fabricação dos bicos injetores, estão os processos de retificação. Estes processos são usados para gerar superfícies com funções fundamentais ao funcionamento dos bicos injetores. Como, por exemplo, a sede do corpo, que é a superfície foco deste estudo.

### **2.2.1 Processo de retificação**

O processo de retificação é uma das operações mais importantes empregada na engenharia de manufatura para remover material ou gerar uma geometria desejada e propriedades superficiais, como rugosidade, forma geométrica dimensional, tensão superficial, entre outras (Shaw, 1996). O processo consiste na remoção de material normalmente para acabamento. O mesmo objetiva a “geração de uma superfície”, sendo que o valor ou importância desta superfície pode ser descrito em termos da função realizada pela mesma e o quão rápido ela pode ser gerada (Oliveira *et al*, 2009).

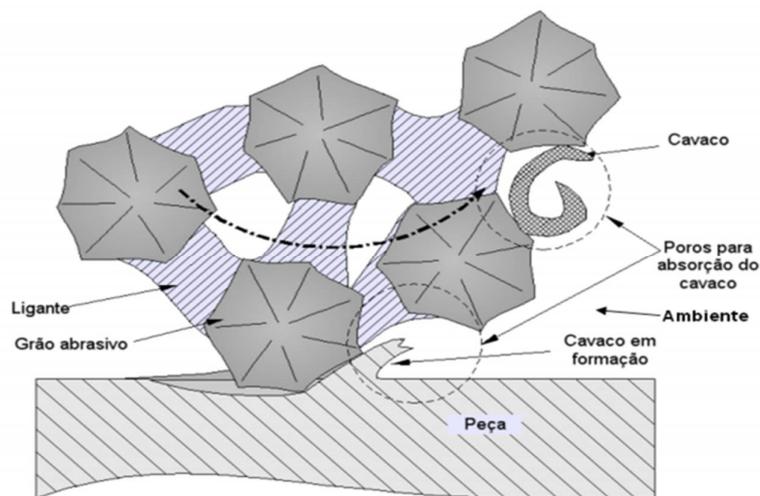
A ferramenta de corte deste processo é constituída por partículas abrasivas extremamente duras de geometria não controlada. As mesmas são unidas por um ligante, formando assim um corpo poroso, que é chamado rebolo de retificação. As características e quantidade do material de adesão empregados no rebolo tem papel importante relativo às forças de retificação, temperaturas, vida útil do rebolo e integridade superficial (acabamento, tensão residual e dano subsuperficial) (Shaw, 1996). Os rebolos são classificados como compósitos de engenharia e são utilizados como ferramenta de corte para gerar superfícies (Oliveira *et al*, 2009). Zhou, 2015 concluiu no seu estudo que a utilização de grãos abrasivos pequenos no rebolo diminui muito a rugosidade e a incidência de defeitos na superfície retificada. O processo de retificação é governado pela característica estocástica e relativamente não controlada da geometria e distribuição dos grãos abrasivos do rebolo (Hecker e Liang, 2003).

Na retificação a formação do cavaco é precedida de atrito e sulcamento do material assim que o rebolo entra em contato com a peça. Para a formação do cavaco

a força radial do rebolo deve atingir um valor limite, o qual aumenta com a dureza da peça a ser retificada, com a melhoria da lubrificação entre rebolo e peça, com o atenuamento dos grãos ativos e com o aumento da concordância rebolo-peça (Hahn, 1962).

Na retificação, um processo muito importante é a dressagem e limpeza do rebolo, que determinarão para o rebolo a taxa de remoção de material, as forças de retificação, a qualidade superficial e as propriedades do material da zona subsuperficial (região logo abaixo da superfície exposta) (Wegener *et al*, 2011). Este processo é normalmente controlado por meio da captação de emissão acústica durante a dressagem. A mesma pode também ser controlada através da medição de forças e amplitudes vibracionais (Maris *et al*, 1975). Estes tipos de controles supracitados também podem ser aplicados durante o processo de retificação. O desgaste do rebolo é importante não somente devido a sua vida útil, mas também devido a sua frequência de dressagem.

Quatro elementos básicos entram em contato um com o outro na zona de retificação do processo, sendo estes: os grãos abrasivos, o ligante, o material usinado e o ambiente em si (Nadolny, Sienicki, e Wojtevicz, 2014) conforme ilustrado na Figura 8. A estrutura do rebolo realiza papel importante em relação à qualidade das superfícies retificadas (Hecker e Liang, 2003).



**Figura 8 - Zona de retificação: grãos abrasivos, ligante, material usinado (peça) e o ambiente**  
**Fonte: Adaptado de Stoeterau, 2015**

Neste processo os cavacos produzidos são relativamente pequenos e as velocidades de corte são relativamente altas: usualmente 30 m/s ou maior (Shaw, 1996). No processo de remoção do cavaco primeiro ocorre atrito seguido por um processo de sulcamento do material, após, finalmente o cavaco acaba por ser formado (Hahn, 1962). Uma superfície retificada é caracterizada por caminhos de sulcamento, porém outras características podem ser encontradas como trincas, material do rebolo e marcas devido à fratura de grãos.

Uma importante etapa empregada no final da operação de retificação na maioria dos processos é o centelhamento. Nesta etapa a retificação é continuada sem avanço, isto melhora a precisão de dimensão, forma e acabamento superficial. Realizar centelhamento é equivalente a realizar um processo de retificação com avanço, porém com o dobro de grãos ativos do rebolo, ou seja, que estão efetivamente cortando o material (Shaw, 1996).

A qualidade da superfície gerada pela retificação determina várias características futuras da peça usinada como tolerâncias mínimas, efetividade de lubrificação, vida do componente, entre outros (Hecker e Liang, 2003). Hecker e Liang (2003) apresentaram um modelo analítico com uma abordagem probabilística para rugosidade de superfícies retificadas, e o mesmo é função de condições cinemáticas e dinâmicas, além das propriedades do rebolo e da peça. No estudo realizado por eles, a rugosidade prevista mostrou boa concordância com a rugosidade real verificada. Contudo, os parâmetros do processo devem ser ajustados de acordo com cada material da peça, lubrificante e tipo de rebolo para otimizar a rugosidade superficial da peça.

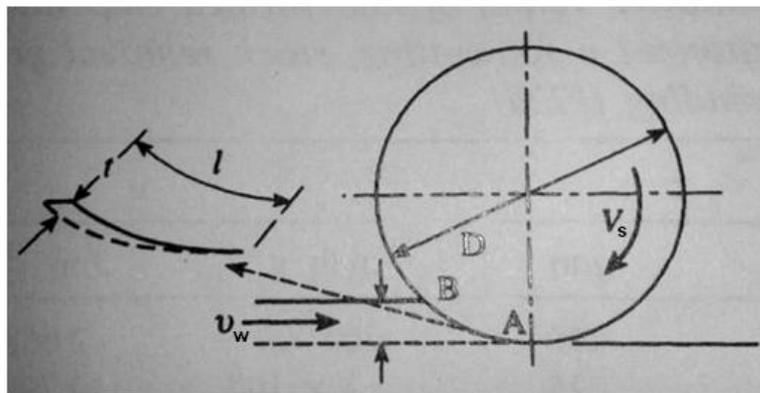
Já a integridade superficial em retificação envolve os aspectos da qualidade superficial, incluindo rugosidade, queima, transformação subsuperficial, retempera, formação de trincas, oxidação e tensão residual. A temperatura média da superfície em retificação é uma variável individual com grande influência na integridade superficial e no desempenho do processo. Em muitas operações de retificação o espaço para acomodar os cavacos ao longo da área de contato entre rebolo e a peça é uma consideração importante para a temperatura (Shaw, 1996).

O processo de retificação pode ser dividido em duas categorias: i) retificação com grande remoção de material, no qual se remove grande quantidade de material sem

preocupação com a qualidade final, não há necessidade de dressagem frequente do rebolo e o cavaco gerado é relativamente grande, e ii) retificação de acabamento, a qual objetiva gerar uma superfície final com alta qualidade de acabamento e por isso, requer dressagem frequente do rebolo, além de gerar cavacos pequenos (Shaw, 1996). Nesta revisão é focado somente o processo de retificação de acabamento, pois o processo foco deste estudo é desta categoria.

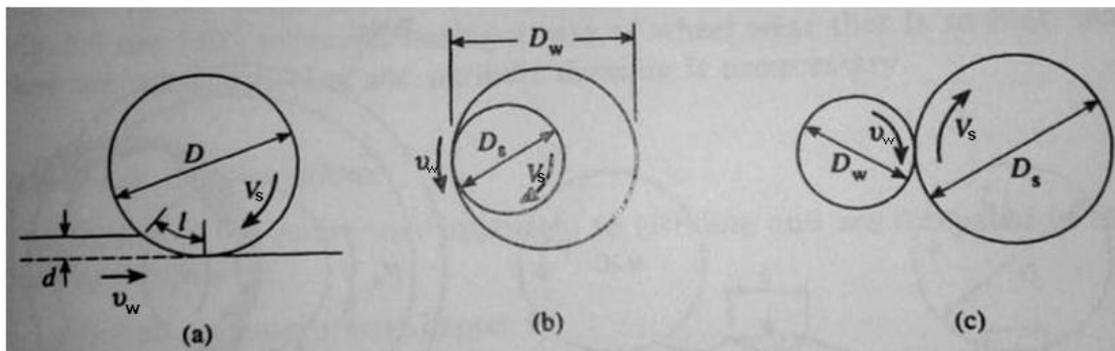
A retificação de acabamento envolve uma energia específica por espessura de material removido relativamente grande e muito maior do que na usinagem de geometria definida (Shaw, 1996). Na retificação de acabamento, pouco da energia envolvida é usada para remoção de material e praticamente todo o resto é transformado em calor. Stemmer (1995) estabeleceu que, no processo de retificação, em média 84% do calor gerado é transferido para a peça, 4% para os cavacos e 12% para o rebolo e seus resíduos. Assim, os efeitos térmicos no componente podem ser inúmeros, como alterações de dureza superficial em regiões específicas, trincas, empenamentos e deformações.

Na retificação de acabamento o formato de um único cavaco não deformado gerado é mostrado na Figura 9, a espessura aumenta ao longo da extensão do mesmo. Neste processo, a remoção de material, devido à alta velocidade de corte, raio de curvatura do rebolo e ângulo de inclinação no contato com a peça usinada não ocorre por cisalhamento como acontece na usinagem de geometria definida e sim através do sulcamento do material (Shaw, 1996).



**Figura 9 - Remoção de um único cavaco não deformado em retificação plana de acabamento**  
Fonte: Adaptado de Shaw, 1996

Os três tipos mais comuns de processos de retificação são: i) retificação plana, ii) retificação interna cilíndrica e iii) retificação externa cilíndrica, conforme ilustrado na Figura 10.



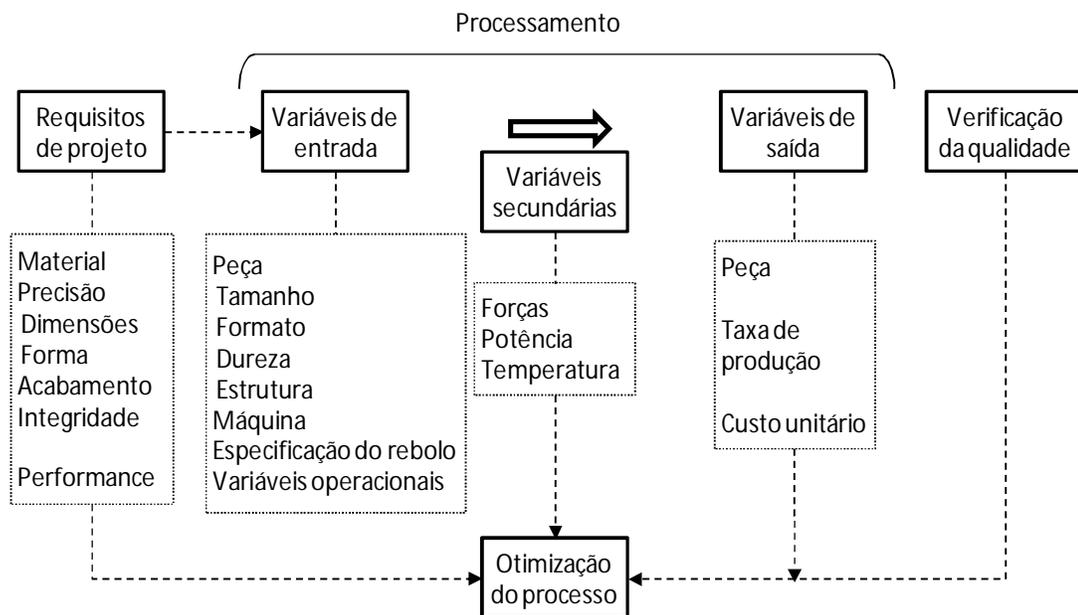
**Figura 10 - Processos de retificação mais comuns: a) retificação plana, b) retificação interna cilíndrica e c) retificação externa cilíndrica**

**Fonte: Adaptado de Shaw, 1996**

Na Figura 10,  $D_s$  é o diâmetro do rebolo de retificação e  $V_s$  é a sua velocidade tangencial,  $D_w$  é o diâmetro da peça e  $v_w$  corresponde à velocidade tangencial da mesma, no caso da retificação plana o diâmetro da peça é considerado infinito. Quando  $V_s$  e  $v_w$  estão em direções opostas, o processo é chamado de retificação discordante e como  $V_s \gg v_w$  tem-se um aumento gradativo da espessura do cavaco de zero, no início da sua formação, até um valor máximo quando o contato do grão termina. Já quando  $V_s$  e  $v_w$  estão na mesma direção tem-se a retificação concordante e a espessura do cavaco inicia no valor máximo e diminui até zero. Estas três operações são frequentemente empregadas com avanço por passo (retificação plana) ou por revolução da peça (retificação interna e externa cilíndrica). Quando não há avanço e o rebolo é avançado radialmente sobre a peça tem-se o processo de retificação por mergulho (Shaw, 1996).

Na Figura 11 observa-se a esquematização dos fatores importantes envolvidos em um processo de retificação. São mostradas as variáveis de entrada e de saída do processo de forma geral.

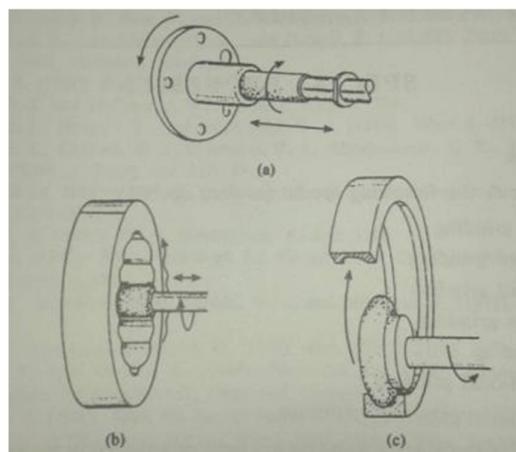
Os conceitos básicos abordados para os processos de retificação aplicam-se também a processos específicos, como a retificação interna, um processo muito importante e com larga aplicação na indústria. A mesma é abordada na próxima seção.



**Figura 11 - Esquematização da abordagem de sistema para um processo de retificação**  
 Fonte: Adaptado de Shaw, 1996

### 2.2.1.1 Processo de retificação interna

A retificação interna é amplamente utilizada para acabamento de furos de relativo pequeno diâmetro, para retificação interna de superfícies com formas complexas e para pista interna de rolamentos, conforme ilustrado na Figura 12 (Shaw, 1996).



**Figura 12 - Operações típicas de retificação interna: a) retificação interna de pequeno diâmetro b) retificação de forma complexa e c) retificação de uma pista interna de um rolamento**

Fonte: Shaw, 1996

A Figura 12 ilustra retificações internas típicas, nas quais são utilizados rebolos de relativo pequeno diâmetro. Na retificação cilíndrica interna a área de contato entre rebolo e peça é significativamente maior do que na retificação cilíndrica externa (Daneshi *et al*, 2014). Ao comparar a retificação interna com a retificação plana também se observa que o comprimento de contato entre o rebolo e a peça é mais que duas vezes maior na retificação interna, além disso, a espessura média do cavaco formado é cerca de dois terços menor e o ângulo de contato do grão é 30% menor. Estas diferenças dificultam a penetração do grão na peça, o que gera maior fricção antes do corte do material e uma maior energia específica para retificação interna comparada com a retificação plana (Shaw, 1996).

Na retificação interna a dressagem do rebolo também é uma etapa importante do processo de retificação. Condições agressivas de dressagem podem gerar topografias irregulares no rebolo e por consequência na peça retificada (Puerto, 2013).

Um desafio associado à retificação interna envolvendo pequenos diâmetros pode ser citado: a haste de suporte do rebolo necessita ter pequeno diâmetro, o que pode acarretar deflexão deste eixo (Tawakoli, Rasifard e Rabiey, 2006) e limita a taxa de remoção para retificação de acabamento, além de problemas de vibração que também podem ser gerados. Além disto, a remoção de cavacos e um suficiente fornecimento de óleo lubri-refrigerante são complicadores neste processo (Daneshi *et al*, 2014). Ao fim do seu estudo, Daneshi *et al* (2014) também concluíram que em um processo de retificação interna, usando pequenos rebolos com ligante vitrificado, recomenda-se usar uma pequena taxa de avanço após a dressagem no começo do processo, para desta forma abrir os poros do rebolo, ou seja, para estabilizar a ferramenta de corte.

Um tipo de processo de retificação interna também importante visa à geração de superfícies cônicas. Este tipo de processo é discutido na seção subsequente.

### **2.2.1.2 Processo de retificação interna cônica**

O processo de retificação interna cônica apresenta aplicações semelhantes ao processo de retificação interna cilíndrica, porém com complicações adicionais intrínsecas ao processo. A bibliografia dos últimos anos deste processo é restrita, por

isto na seção de materiais e métodos desta dissertação o processo foco deste estudo é detalhadamente descrito conforme o conhecimento dos especialistas da empresa parceira.

Este processo consiste em gerar uma superfície interna cônica de baixa rugosidade no interior de furos cegos ou passantes, utilizando-se um rebolo com formato próximo ao da superfície usinada, normalmente de pequeno diâmetro.

O rebolo de corte deste tipo de processo deve ser adequadamente escolhido. O mesmo deve promover um corte adequado do material a ser retificado, sem que haja empastamento, para que haja taxa de remoção adequada e também para propiciar o atendimento de um tempo de processo econômico. Rebolos de nitreto cúbico de Boro (CBN) são comumente utilizados na retificação interna, em especial para pequenos diâmetros (Shaw, 1996). Neste tipo de retificação podem ser utilizadas altas rotações discordantes, ou seja, a peça rotaciona em sentido oposto ao rebolo.

Da mesma forma que os demais processos de retificação, a retificação interna cônica demanda um processo de dressagem estável e preciso para atingir superfícies com baixa rugosidade, quer dizer que vários pontos devem estar acertadamente definidos, como por exemplo, o material e geometria corretos do dressador. No estudo de Daneshi *et al* (2014), estabeleceu-se que na dressagem de rebolos de CBN de pequeno diâmetro é possível atingir maior remoção de abrasivo ao usar dressador rotativo com ligante vitrificado do que um de metal colado, ângulo de ataque correto em relação ao rebolo e rotação adequada do dressador.

A retificação interna cônica pode apresentar problemas quanto à correta lubrificação e refrigeração da zona de retificação devido às restrições de espaço no caso de furos de pequeno diâmetro (Tawakoli, Rasifard e Rabiey, 2006). Outro problema que pode ocorrer neste tipo de processo foi identificado por Hadad (2015) em seu estudo, no qual durante a rotação do rebolo forma-se uma camada limite de óleo em torno do mesmo devido à alta rotação. Isto gera efeito negativo na correta refrigeração e lubrificação da zona de retificação.

Apesar destas dificuldades quanto ao espaço disponível neste processo, Nadolny *et al* (2015), realizou ensaio e comprovou a aplicabilidade na retificação interna com pequeno diâmetro do sistema de mínima quantidade de fluido lubrificante

(MQL). Além disso, a superfície retificada no seu estudo apresentou rugosidade reduzida, a potência consumida foi menor e a vida útil do rebolo de retificação foi maior em comparação com o mesmo processo com lubrificação tradicional.

### 2.3 Relação entre manufatura, superfície gerada e a sua função

Na literatura encontram-se estudos sobre a relação da manufatura, superfície e função, como nos trabalhos de Whitehouse (2001), Jiang *et al* (2012) e Raja e Muralikrishnan (2004). O primeiro autor define a importância da relação de uma superfície com a função da mesma, em especial no estágio de sua fabricação, quando ainda não é possível realizar algum tipo de exame simulando esta função. Segundo o autor, uma saída para avaliar o futuro desempenho funcional de uma superfície é a caracterização através da medição de rugosidade e classificação da mesma. Jiang *et al* (2012) segue a mesma linha de raciocínio de Whitehouse. Já no trabalho de Raja e Muralikrishnan (2004), é descrito um estudo que visou fornecer bases para a tomada de decisão quando ao desempenho da futura função de dado componente de forma simplificada no ambiente de manufatura baseado na rugosidade superficial, os mesmos forneceram alguns exemplos de estudos de caso.

De forma geral os trabalhos desta área especificam uma estrutura similar para se analisar a relação entre estes três elementos: manufatura, superfície e função, como mostrado na Figura 13. O tema central deste estudo encontra-se entre a primeira e segunda etapa desta Figura (manufatura e seu impacto na geração da superfície).

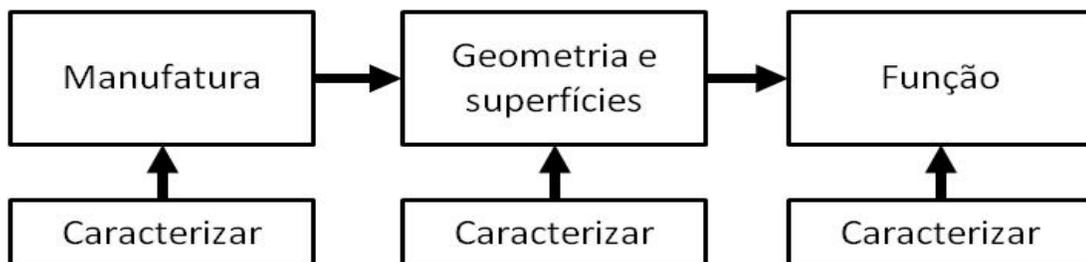


Figura 13 - Esquemática da relação entre manufatura, superfície e função

Fonte: Adaptado de Jiang, 2012

## 2.4 Topografia superficial: medição 2D e 3D

Inicialmente, para facilitar o entendimento, são definidos:

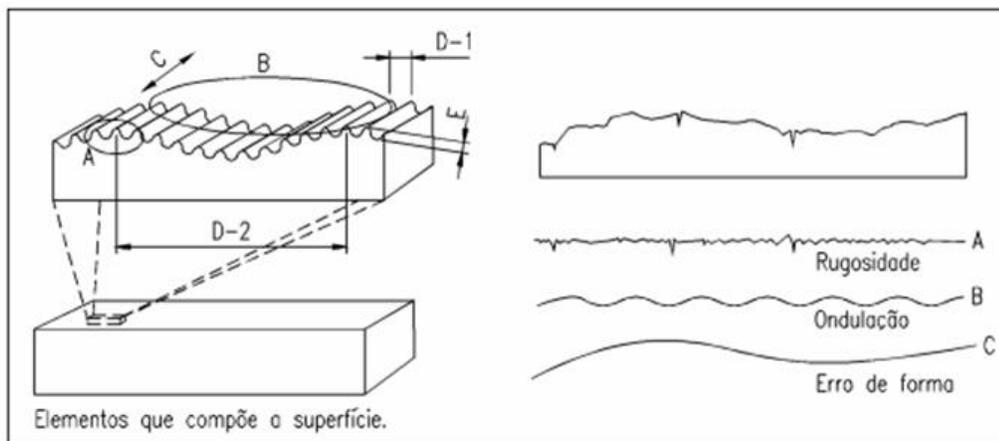
a) Topografia superficial reflete as irregularidades de uma superfície sólida, ou seja, da fronteira de dado material em relação a outro. A topografia remete a superfície de forma geral, englobando todos os seus aspectos;

b) A textura inclui rugosidade, ondulação, erro de forma e falhas da superfície (Bhushan, 2010) conforme ilustrado na Figura 14;

c) A integridade superficial envolve a topografia da superfície e a microestrutura, propriedades mecânicas e tensão residual das subcamadas internas da superfície (Davim, 2010).

As propriedades das superfícies sólidas são cruciais para a interação entre as mesmas, estas propriedades superficiais afetam a área de contato, atrito, desgaste e lubrificação (Bhushan, 2010). Nos aços, estas irregularidades geralmente se encontram em escalas muito pequenas: micrométricas ou até mesmo nanométricas, dependendo da aplicação e do processo de fabricação relacionados.

A rugosidade de uma dada superfície é marcada pela presença de asperezas e vales de várias amplitudes e espaçamentos. Na rugosidade 2D as asperezas são chamadas de picos e na 3D de domos (Bhushan, 2010). Rugosidade e ondulação indicam características intrínsecas do processo de fabricação utilizado. Fatores como flexão da peça, vibração, tratamentos térmicos, entre outros, acabam por influenciar na topografia da superfície (Bhushan, 2010). As informações de topografia superficial são importantes para a função de componentes e para o controle do seu processo de fabricação.



**Figura 14 - Caracterização de uma superfície em termos de rugosidade, ondulação e erro de forma**

**Fonte: Rovani, 2014**

Para avaliar a topografia de dada superfície, devido à rapidez da medição, rugosímetros que utilizam uma ponteira de pequeno diâmetro (da ordem de alguns micrometros) são os equipamentos mais utilizados, fornecendo desta forma uma distribuição de alturas de asperezas em relação a um dado comprimento de avaliação, ou seja, uma medição em duas dimensões ou 2D, tornando assim possível a geração dos parâmetros topográficos desejados.

Parâmetros de rugosidade média, como o  $R_a$ , são largamente utilizados, porém os mesmos não são suficientes para diferenciar e caracterizar superfícies (Sedlaček, 2012), sendo desta forma necessária a utilização de outros parâmetros. Os parâmetros mais comuns para topografia 2D utilizados para caracterizar superfícies retificadas são o parâmetro de ondulação  $W_t$ , rugosidade média  $R_a$ , rugosidade média quadrática  $R_q$ , máxima altura de rugosidade  $R_t$ , no sentido longitudinal e transversal, sendo que no sentido longitudinal encontram-se valores menores. Já a medição no sentido transversal é a mais utilizada na indústria (Hecker e Liang, 2003).

Outra opção para a avaliação topográfica de uma superfície é a utilização da interferometria ótica, que é uma técnica de medição sem contato bastante utilizada para a construção do perfil em três dimensões (3D) de alta resolução de uma superfície (Beltrão, 1998). Nesta técnica um feixe de luz é emitido sobre a superfície,

e a luz refratada e refletida pela mesma é capturada pelo equipamento. Após, realiza-se o tratamento deste sinal e se fornece o perfil da superfície com seus parâmetros topográficos da superfície a avaliar. Este perfil normalmente é gerado após uma filtragem para remoção da forma ou ondulação da superfície, utilizam-se normalmente filtros do tipo operador “F”, Gaussianos, “S” e “L” (Michigan Metrology, 2015). Atualmente, interferômetros óticos eletrônicos se tornaram uma poderosa ferramenta de análise de superfícies, pois medições podem ser feitas com relativa facilidade e alta precisão (Joenathan *et al*, 2001). Mesmo para superfícies cônicas atualmente existem equipamentos e soluções que possibilitam a análise topográfica 3D e de circularidade com relativa facilidade e rapidez (Taylor Robson, 2013).

As características de amplitude e espaciais obtidas de uma superfície através de avaliação topográfica 3D dominam campos como desgaste, atrito, lubrificação, fadiga, vedação, união de peças, capacidade de reflexão, pintura, pista de rolamento, etc. (Dong, Sullivan e Stout, 1994). A topografia de superfícies de engenharia é complexa e não é possível descrevê-las completamente utilizando somente um ou alguns poucos parâmetros topográficos, cada parâmetro descreve somente um aspecto da superfície (Dong, Sullivan e Stout, 1994).

A análise topográfica da superfície em três dimensões apresenta vantagens sobre a análise 2D, em especial devido ao fato de se poder analisar uma área da superfície de interesse e não somente uma linha.

## **2.4.1 Parâmetros topográficos de superfície**

Os principais parâmetros são descritos a seguir.

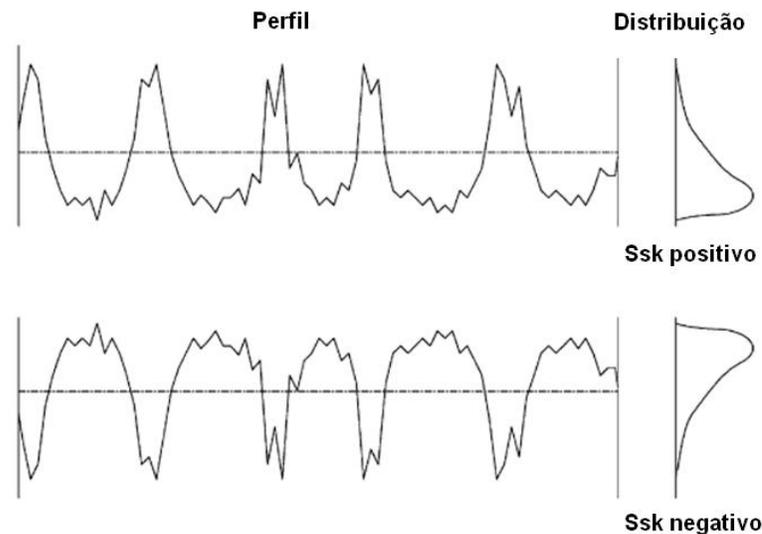
### **2.4.1.1 Parâmetros do tipo S**

Os parâmetros do tipo S são classificados como de amplitude, espaçamento, híbrido, fractal e parâmetros especiais. Estes parâmetros são descritos a seguir em grande parte com informações de Deltombe *et al* (2011) e Michigan Metrology (2015), além de informações de outros autores que serão indicados ao longo do texto. Os principais parâmetros usados em retificação são correlacionados na próxima seção.

a) Parâmetros de altura:

a-i) Desvio médio quadrático da superfície ( $S_q$ ): é definido como a média quadrática dos valores absolutos dos picos e vales da superfície a partir de um plano médio na área de amostragem

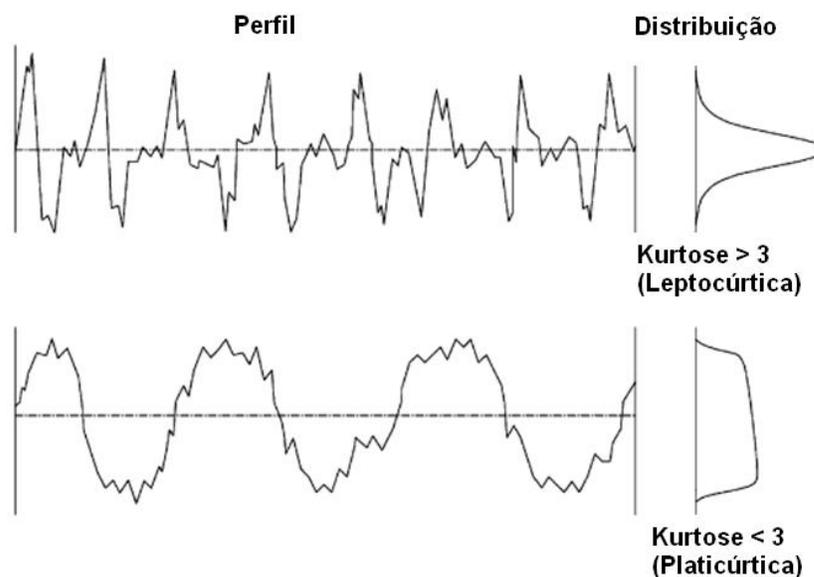
a-ii) *Skewness* ( $S_{sk}$ ): este parâmetro reflete a assimetria da distribuição das alturas da topografia, ou seja, se  $S_{sk} = 0$ , tem se uma distribuição simétrica ou gaussiana. Em uma distribuição assimétrica das alturas seu valor pode ser negativo o que indica a presença de mais vales ou positivo, indicando existência de mais picos. A exemplificação destas análises é feita na Figura 15.



**Figura 15 - Exemplificação do parâmetro de rugosidade  $S_{sk}$  (*Skewness*)**

Fonte: Adaptado de Gadelmawla *et al*, 2002

a-iii) Curtose ( $S_{ku}$ ): este parâmetro reflete a simetria da curva de Gauss da distribuição de alturas de asperezas de dada superfície. Para uma distribuição simétrica ou gaussiana  $S_{ku}$  é igual a três. Quando há um acúmulo de alturas na parte central da distribuição seu valor é maior do que três e para alturas mais espalhadas em uma distribuição o valor é menor do que três. Isto é mostrado na Figura 16.



**Figura 16 - Exemplificação do parâmetro de rugosidade Sku (Curtose)**  
**Fonte: Adaptado de Gadelmawla et al, 2002**

Um resumo dos valores e informações obtidas com os parâmetros Ssk e Sku é mostrado na Tabela 2. Estes parâmetros podem ser usados na caracterização de superfícies retificada, revelando características do processo de retificação, conforme será abordado na seção 2.4.3.

**Tabela 2 - Valores e informações obtidas com os parâmetros Ssk e Sku**

Parâmetro	Valor	Informação
Ssk	= 0	Superfície simétrica com distribuição de alturas gaussiana
	> 0	Superfície com predominância de picos
	< 0	Superfície com predominância de vales
Sku	= 3	Superfície simétrica com distribuição de alturas gaussiana
	> 3	Superfície com alturas espalhadas na distribuição
	< 3	Superfície sem predominância de vales ou picos extremos

a-iv) Altura máxima de pico/vale ( $S_p/S_v$ ) e altura máxima ( $S_z$ ): são avaliados a partir dos maiores picos e dos vales mais profundos encontrados na superfície. O parâmetro  $S_p$ , é a altura máxima de pico. O parâmetro  $S_v$  é a profundidade máxima de vale, e o parâmetro  $S_z$ , é dado pela soma de  $S_p$  por  $S_v$ .

a-v)  $S_a$  – média aritmética das alturas do perfil em relação a linha média, não é muito sensível e portanto pouco eficiente;

#### b) Parâmetros do tipo espaciais

b-i) Densidade de cumes ( $S_{ds}$ ): é um parâmetro de espaçamento que avalia a densidade de cumes por milímetro quadrado. É bom para avaliar desgaste superficial;

b-ii) Auto correlação do comprimento com decaimento ( $S_{al}$ ): é uma distância na superfície na qual o ponto final terá correlação mínima com o local inicial;

b-iii) Relação de aspecto da textura ( $S_{tr}$ ): medida da isotropia espacial ou direcionalidade da textura da superfície, superfícies predominantemente anisotrópicas apresentam  $S_{tr}$  tendendo a zero (geralmente menor que 0,3) e superfícies com topografia espacialmente isotrópica apresentam valores maiores que 0,3 (Dong *et al*, 1994);

b-iv) Direção da textura ( $S_{td}$ ): é a medida da direção angular da postura dominante da superfície;

#### c) Parâmetros híbridos:

c-i)  $S_{sc}$  - média aritmética da curvatura dos picos;

c-ii) Média quadrática das inclinações ( $S_{dq}$ ): é uma medida geral da inclinação que compõe a superfície;

c-iii) Razão da área interfacial desenvolvida ( $S_{dr}$ ): é expresso como a percentagem da área de superfície adicional que contribui para a textura em comparação com um plano ideal para a região de medição (Rovani, 2014);

#### d) Parâmetros fractais

d-i) Sfd - dimensão fractal da superfície;

e) Parâmetros especiais:

e-i) Spd – densidade de picos por  $\text{mm}^2$ ;

e-ii) Spc – média das curvaturas dos picos na área avaliada;

e-iii) S10z – média da diferença das entre as dez maiores alturas e os 10 vales mais profundos da superfície;

e-iv) S5p – média da altura dos cinco maiores picos da área avaliada;

e-v) S5v – média da profundidade dos cinco maiores vales da área avaliada;

f) Parâmetros de área relativa de material

f-i) Sk - é a medida da rugosidade núcleo (pico ao vale) de uma superfície com picos predominantes e vales removidos;

f-ii) Svk - é a medida da profundidade de vale abaixo da rugosidade núcleo ;

f-iii) Spk - é definida como a altura média dos picos acima do perfil da rugosidade do núcleo;

g) Parâmetros de volume

g-i) Vm - o volume de material é definido pelo volume de material compreendido entre o plano numa altura correspondente a uma dada razão de material definida até a altura do maior pico da superfície;

g-ii) Vv - o volume de vazio é definido pelo espaço compreendido entre o plano numa altura correspondente a uma dada razão de material definida até a textura da superfície;

g-iii) Vvc - volume núcleo de vazio é definido pelo espaço que cerca a textura de uma superfície até um altura correspondente a uma razão de material que se tenha definido;

g-iv)  $V_{vv}$  - volume de vale vazio é definido pelo espaço vazio entre um plano numa altura correspondente a razão de material definida até o vale mais profundo;

g-v)  $V_{mp}$  - volume de pico vazio é definido pelo espaço vazio entre um plano numa altura correspondente a razão de material definida até o pico mais alto;

g-vi)  $V_{mc}$  - volume central de material é definido pelo volume de material entre os planos definidos por duas alturas correspondentes a dois níveis de razão de material definidos;

#### h) Parâmetros do tipo funcional

h-i)  $S_{mr1}$  – porção de material de pico, indica a quantidade de material que compreende as estruturas de pico associadas a  $S_k$ ;

h-ii)  $S_{mr2}$  - porção de material de vale, indica a quantidade de material que compreende as estruturas de vale associadas a  $S_{vk}$ ;

h-iii)  $S_{mc}$  – Inverso da proporção de material por área, é definido como proporção da área de material seccionada por uma altura equivalente normalmente 1% da curva de Abbot-Firestone a partir do vale;

h-iv)  $S_{xp}$  – é a medida da diferença em altura na superfície da razão de material de valor “p” e “q”, os valores padrão é 97,5% para o primeiro e para o segundo 50%.

### 2.4.2 Parâmetros de erro de planeza

A planeza é uma importante propriedade da topografia de uma superfície. A definição básica de planeza é a distância entre dois planos imaginários que tocam respectivamente o ponto mais alto e mais baixo do perfil de ondulação de uma superfície (Nadolny e Kaplonek, 2014). Este perfil é também chamado de perfil  $W$ , ou seja, o perfil obtido após a aplicação de filtro de remoção de rugosidade mantendo-se a ondulação da superfície. A organização internacional para a padronização (*International Organization for Standardization*, 2003) define alguns parâmetros de planeza de uma superfície conforme listado abaixo.

a) FLTt, desvio de planeza pico ao vale: valor do maior desvio de planeza local adicionado ao valor absoluto do maior valor negativo de desvio de planeza local;

b) FLTp, desvio de planeza pico ao valor de referência: valor do maior desvio de planeza local com relação ao plano de referência dos quadrados mínimos;

c) FLTv, desvio de planeza do valor de referência ao vale: valor absoluto do maior desvio de planeza local do vale mais profundo ao plano de referência dos quadrados mínimos;

d) FLTq, desvio médio quadrático de planeza: raiz quadrática da soma dos quadrados dos desvios de planeza locais a partir do plano de referência dos quadrados mínimos.

Desta forma, tem-se:

$$FLTt = FLTp + FLTv$$

Equação 2

A equação 2 mostra que o desvio de planeza pico ao vale pode ser expresso em duas partes, ou seja, a soma do desvio de planeza do vale ao valor de referência e o desvio de planeza do valor de referência ao pico.

### 2.4.3 Características topográficas 3D típicas de superfícies retificadas

Para caracterizar uma superfície retificada pode-se utilizar a distribuição de alturas de asperezas da mesma, com o intuito de explicitar a sua textura. São várias as formas de analisar a distribuição de alturas de uma superfície, sendo que diversos parâmetros topográficos 2D e 3D podem ser empregados.

O processo de retificação gera superfícies anisotrópicas com distribuição de alturas de asperezas aproximadamente gaussianas (Pintaúde *et al*, 2013), sendo muito aplicado parâmetros de altura para a caracterização da superfície. Para uma superfície típica retificada tem-se o Ssk aproximadamente igual a zero e Sku próximo de três, além dos parâmetros de textura, como Sal, Str e Std apresentarem valores definidos e coerentes com a textura direcional predominante na superfície, textura essa gerada pelo sulcamento do material pelos grãos do rebolo de retificação na sua direção de rotação em relação à peça.

Já os parâmetros de erro de planeza podem indicar quando o processo de dressagem de forma global não ocorreu de forma adequada, ou seja, gerando uma superfície do rebolo e conseqüentemente da peça com desvio de planeza.

## 2.5 Microscopia eletrônica de varredura

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) atualmente é indispensável em muitos campos da ciência e tecnologia (Jiruše *et al*, 2014), juntamente com outras técnicas correlatas, como por exemplo, espectroscopia dispersiva eletrônica de raios X (EDS, *energy-dispersive X-ray spectroscopy*) e espectroscopia dispersiva de comprimento de onda de raios X (WDS, *wavelength-dispersive X-ray spectroscopy*) têm larga aplicação. Estas ferramentas podem fornecer informações sobre morfologia, constituição, distribuição de fases e orientação cristalográfica dos materiais (Wille *et al*, 2014).

A técnica de MEV é frequentemente usada em engenharia dos materiais devido a sua alta resolução lateral, boa profundidade de foco e facilidade de acoplamento de análise com raios X (Michler, 2008). Isto torna esta técnica adequada para a análise da morfologia de superfícies, por exemplo. Nesta técnica é utilizado o MEV, cujo princípio consiste em acelerar e aplicar um feixe de elétrons de alta energia sobre a amostra (Jiruše, 2014). Este feixe é acelerado por um canhão de elétrons que deve vencer a função trabalho do material (Godoy, 2014). Após a amostra ser submetida ao feixe de elétrons, os mesmos são espalhados (Canevarolo, 2003), os mesmos são em seguida absorvidos por dois sensores de forma a gerar uma imagem.

Em equipamentos de MEV, os detectores são tipicamente classificados como superior e inferior, sendo o primeiro para gerar imagens de alta resolução da superfície superior da amostra, e o segundo para imagens de subsuperfície (Abdullah e Bérubé, 2014). Atualmente os equipamentos mais modernos de MEV apresentam resolução máxima de aproximadamente 1 nm (Jiruše *et al*, 2014).

## 2.6 Análise metalográfica para detecção de queima e retempera

O processo de retificação requer grande quantidade de energia por unidade de volume de material removido, isto pode levar a geração de altas temperaturas, o que pode causar vários tipos de danos térmicos as peças, como queima, transformação de fase metalúrgica e retempera superficial (Malkin e Guo, 2007). Conforme concluíram Alonso *et al* (2015), há uma relação linear entre a energia empregada no processo de retificação e a espessura da eventual camada retemperada. Podem ser geradas tensões residuais, trincas e redução da tensão máxima de resistência à fadiga (Snoeys *et al* 1978 *apud* Malkin e Guo, 2007).

Na retificação, quase toda a energia empregada é transformada em calor (Alonso, 2015). Os danos superficiais na retificação estão relacionados à temperatura excessiva na superfície da peça durante o processo. A geração de calor no processo de retificação também é influenciada pela extensão do desgaste do rebolo de retificação (Liu *et al*, 2015). Uma das razões para este fenômeno de queima superficial é quando, em condições de alta velocidade, o rebolo de retificação acaba por não permitir a entrada de óleo na zona de retificação. Caso isto ocorra, a queima superficial pode ser proeminente (Li, Chen e Chen, 2011).

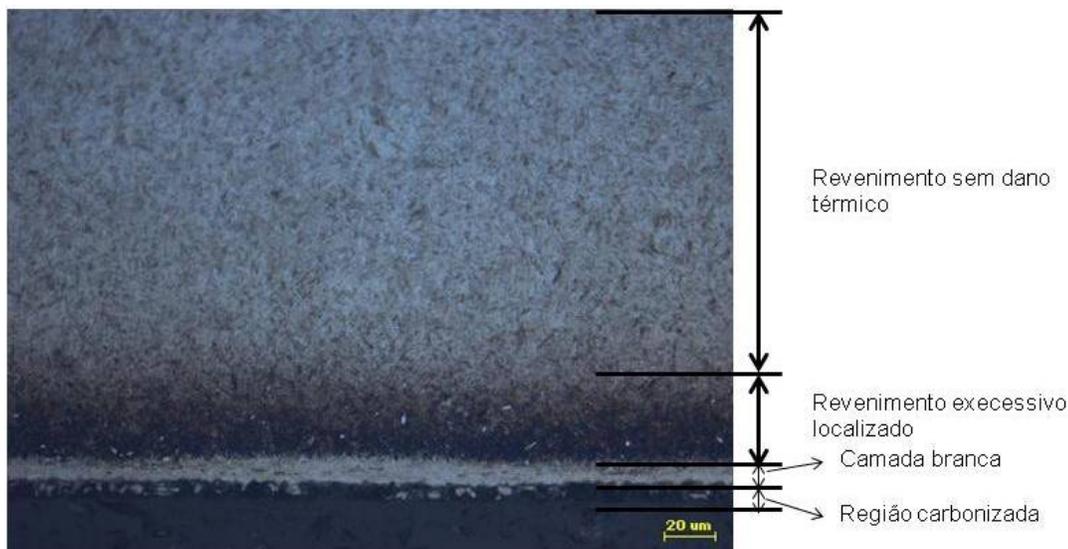
A queima superficial é a maior limitação na retificação de acabamento de aços (Yang *et al*, 2014). A queima da peça retificada é visualmente marcada pela variação de coloração devido à formação de uma camada de óxido, porém é possível ocorrer problemas de queima e retempera mesmo sem a variação de cor na peça, caso não haja oxigênio disponível na região devido ao fluido refrigerante (Shaw, 1996). A queima pode ser acompanhada de reaustenitização da fase martensítica da peça devido à exposição por longo tempo à alta temperatura ou retempera devido ao grande aquecimento e posterior rápido resfriamento (Malkin e Guo, 2007). Maiores profundidades de corte no processo de retificação conduzem, normalmente, ao um aumento da espessura da camada retemperada (Judong *et al*, 2012).

No caso de aços ligados, danos metalúrgicos normalmente envolvem alterações na estrutura do material próximo a superfície, o que é microscopicamente visível em uma seção cortada perpendicularmente a superfície retificada (Shaw, 1996). Assim, para a detecção destes possíveis problemas em retificação muitas vezes torna-se necessário examinar a estrutura metalográfica do material. A maioria dos materiais

possuem grãos de dimensões microscópicas, tornando-se necessário para o seu exame o uso de microscopia para a análise da sua microestrutura (Callister, 2002).

Para a análise da estrutura metalográfica de materiais, faz-se necessário uma preparação minuciosa da superfície de interesse. Normalmente são realizados os processos de lixamento, polimento e ataque químico, estas etapas servem para revelar a microestrutura do material. Para a observação e registro desta microestrutura utilizam-se microscópios óticos ou eletrônicos.

Defeitos termicamente gerados podem indicar problemas no processo de fabricação, como corte incorreto de material, empastamento, falta de lubrificação, entre outros. Para se determinar se um superaquecimento localizado ocorreu durante o processo, é possível realizar a análise metalográfica da região suspeita do material retificado e verificar a presença de características de queima e retempera. Este defeito se apresenta na forma de uma camada fina escurecida na superfície devido à formação da camada de óxido, uma ligeiramente mais espessa de cor mais clara (camada branca) logo abaixo devido à formação de uma fase martensítica frágil e por fim uma terceira camada também escura na qual o material foi apenas ligeiramente carbonizado, porém sem mudança de estrutura do material. Estas camadas podem ser classificadas como camada superficial, subcamada e camada interna (Judong *et al*, 2012). Para melhor visualização, é mostrada na Figura 17 a análise metalográfica de outra região do bico injetor que apresentou queima e retempera no processo de retificação.



**Figura 17 - Análise metalográfica de um corpo de bico injetor Diesel EURO5 numa região que não a sede com queima e retempera para ilustração (ampliação de 500x, ataque com Nital 2%)**

**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

## 2.7 Planejamento de experimentos

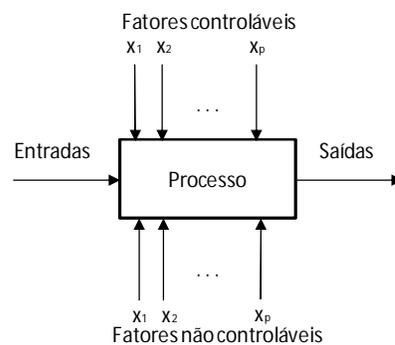
O planejamento de experimentos, DOE (*Design of experiments*), é uma técnica utilizada para definir quais dados, em que quantidade e em quais condições os mesmos devem ser coletados durante um determinado experimento, buscando basicamente satisfazer dois objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo (Amaral, 2014). Essa metodologia é poderosa para a melhoria da qualidade e produtividade, tendo sido, nos últimos anos, cada vez mais aplicada na indústria brasileira, principalmente no segmento automobilístico (Silva e Silva, 2008). O mesmo deve ser aplicado em parceria com a experiência dos especialistas do processo em questão, pois a ferramenta DOE não substitui o conhecimento técnico do processo (Amaral, 2014), ou seja, os especialistas de dado processo antes de utilizar as ferramentas de planejamento de experimentos devem realizar uma análise preliminar do processo, definindo as variáveis e respostas mais importantes do mesmo (Montgomery, 1997).

### 2.7.1 Definições básicas

Montgomery (1997) definiu alguns princípios básicos no planejamento de experimentos:

- a) Fatores controláveis: parâmetro do processo que podem ser variados controladamente em níveis;
- b) Fatores não controláveis: deve-se buscar mantê-las constantes para não afetar o experimento;
- c) Entradas: dados de entrada do processo, como matéria-prima, características de máquina, etc;
- d) Saídas: resultado medido no processo ou na peça fabricada.

O método DOE pode ser utilizado quando se deseja avaliar o impacto de variáveis ou fatores controláveis em um dado resultado ou saída do processo, como por exemplo, parâmetros de processo de torneamento (avanço, rotação, profundidade de corte, entre outros) na topografia da superfície de uma peça usinada. Uma representação genérica de um processo ou sistema a ser avaliado é mostrado na Figura 18.



**Figura 18 - Modelo geral de um processo a ser avaliado via planejamento de ensaios**

**Fonte: Adaptado de Montgomery, 1997**

Para cada fator controlável são definidos níveis de variação a serem avaliados nos experimentos, estes níveis que se desejam analisar podem ser inicialmente definidos através da estratégia “abordagem da melhor suposição”, ou seja, utilizar o

conhecimento prévio dos especialistas do processo para melhor definir as faixas de análise (Montgomery, 1997). De forma geral, deve-se planejar o experimento para que os demais fatores, controláveis ou não, permaneçam constantes, o que pode nem sempre ser uma tarefa simples.

### **2.7.2 Análise de variância**

A análise de variância (ANOVA) é um método estatístico utilizado para interpretar dados experimentais e tomar decisões. A ANOVA é um método simples formulado para detectar diferenças no desempenho médio de peças testadas (Ross, 1991). Este método foi originalmente desenvolvido por Ronald Fisher e é uma ferramenta de decisão estatisticamente formulada para detectar quaisquer diferenças no desempenho médio de uma série de peças testadas (Ross, 1991). A ANOVA pode ser utilizada para testar a igualdade de várias médias, resultando em quais fatores são estatisticamente significantes (Rosa *et al*, 2008).

### **2.7.3 Método de Taguchi**

O método de Taguchi, também conhecido como projeto robusto, é um método de planejamento de ensaios que minimiza os custos de qualidade através da obtenção de parâmetros menos sensíveis a alterações externas (Hino, 2009). A filosofia deste método consiste em dois princípios: i– redução da variação (qualidade aperfeiçoada) em um produto ou processo; e, ii– estratégia apropriada de desenvolvimento que pode intencionalmente reduzir a variação. Este método preconiza que a uniformidade dos produtos é ainda mais importante que a conformidade dos mesmos (Ross, 1991).

O método de Taguchi utiliza o conceito de energia, a qual pode ser utilizada de forma efetiva para realizar dada operação ou geração de valor, de forma a gerar qualidade (variação reduzida) ou ser perdida na forma de ruído (variação, atrito, calor, etc.), ou como o método nomeia: função-perda. Este método combina a análise da média e desvio padrão em apenas uma análise (Maghsoodloo *et al*, 2004), o que será útil no desenvolvimento deste trabalho. O método de Taguchi permite, ao utilizar um arranjo ortogonal adequado, determinar o efeito de diversos parâmetros

eficientemente, além de ser uma importante técnica na engenharia robusta (Davim, 2002).

O principal valor de saída do método de Taguchi é a relação sinal-ruído, identificada por S/N (do inglês, *Signal and Noise*). Esta relação é utilizada em engenharia robusta como um meio de medição do quão robusto um processo é (Moura, 2001). Este valor expressa a relação entre a energia útil para gerar valor e a energia perdida na forma de ruído durante o processo. Para o cálculo da relação S/N no método de Taguchi, três tipos de resposta podem ser utilizados:

- a. Relação “Menor é melhor”;
- b. Relação “Maior é melhor”;
- c. Relação “Nominal é melhor”.

Para cada tipo de relação existe uma formulação específica para o cálculo do S/N, conforme mostrado abaixo (Ross, 1991):

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left( \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r y_i^2 \right) \quad \text{Equação 3}$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left( \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \frac{1}{y_i^2} \right) \quad \text{Equação 4}$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log V_e \quad \text{Equação 5}$$

Nestas equações “r” é o número de medições da variável de saída nas peças em um dado ensaio do experimento, “y<sub>i</sub>” são as medições da variável de saída e “V<sub>e</sub>” é a variância do erro.

O método de Taguchi é aplicado com frequência no planejamento de experimentos em processos de fabricação, inclusive em processo de retificação. No estudo de Kwak (2005) foi possível comprovar, utilizando o método de Taguchi em um processo de retificação que a profundidade de corte tem grande efeito sobre erros de forma. De forma semelhante, Liu *et al* (2005) utilizando ensaio planejado através do método de Taguchi, evidenciou que a rugosidade superficial em dado processo de retificação diminui à medida que avanço diminuí e a força de retificação aumenta.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo desta dissertação serão descritos todos os recursos, equipamentos, processo de retificação, amostras, procedimentos e métodos utilizados nos estudos, experimentos e ensaios desenvolvidos. Os tópicos abordados nesta seção são mostrados na Figura 19 conforme ordem lógica definida para este estudo.

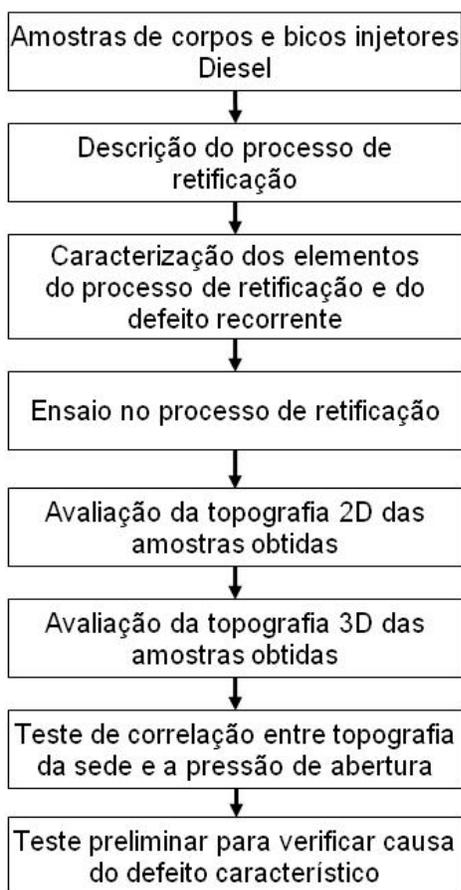


Figura 19 - Tópicos abordados na seção materiais e métodos na ordem lógica definida para este estudo

Fonte: Autoria própria

#### 3.1 Amostras de corpos e bicos injetores Diesel

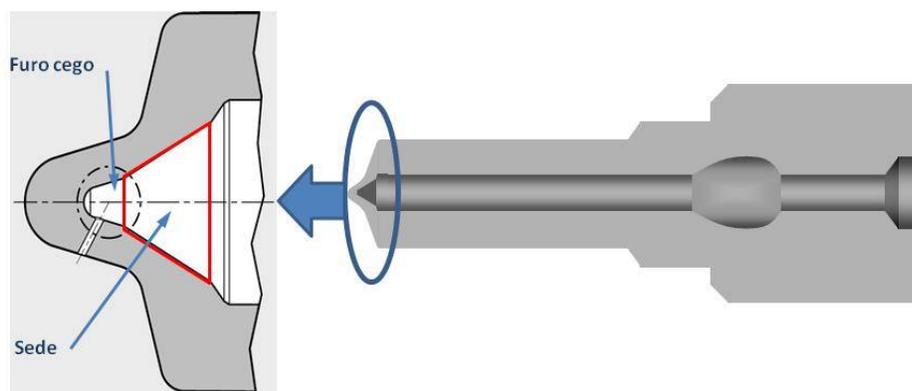
Para os experimentos e análises necessárias foram utilizadas amostras de corpos e bicos injetores Diesel geração EURO5 conforme ilustrado na Figura 20. As quantidades e origem das amostras em cada experimento são informadas nas suas

respectivas subsecções. As amostras de cada ensaio foram obtidas de acordo com a maior facilidade e conveniência em relação à produção em série dos bicos injetores, exceto no experimento planejado no processo de retificação, no qual se retificou as amostras necessárias conforme planejado através do método de Taguchi.



**Figura 20 - Corpo (1) e bico injetor (2) Diesel geração EURO5**  
Fonte: Empresa parceira deste projeto

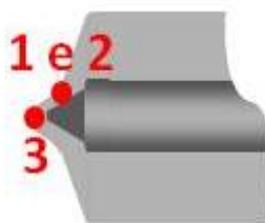
Para todos os ensaios deste estudo, a superfície de interesse nas amostras é a sede, superfície cônica retificada localizada próximo ao furo cego do bico injetor, conforme mostrado na Figura 21. Existem várias geometrias de furos cego e sedes de acordo com o projeto de cada bico injetor.



**Figura 21 - Região da sede (área vermelha) do corpo do bico injetor.**  
Fonte: Empresa parceira deste projeto

Todas as amostras são constituídas de aço DIN 18CrNi8 cementado, temperado e revenido com dureza de 800 HV.

Para caracterizar o material e também verificar se há diferença entre amostras com e sem o defeito característico do processo de retificação, em especial em relação à dureza do material, o que poderia ter efeito no processo de retificação, separou-se duas amostras retificadas na etapa de ensaio no processo de retificação, sendo a primeira sem o defeito característico e a segunda com o defeito na sede. Desta forma, foi possível caracterizar o material e verificar possíveis diferenças entre peças que apresentam e peças que não apresentam o defeito recorrente na sede. As mesmas foram seccionadas ao meio e três pontos para análise foram definidos conforme ilustra a Figura 22.



**Figura 22 - Posição das medições de dureza para caracterização do material das amostras (ponto 1 está 0,1 mm distante da sede, ponto 2 situa-se distante 0,35 mm e o ponto 3 está no centro da região da cúpula)**

**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

No ponto “2” da Figura 22 das duas amostras foram realizadas análises qualitativas utilizando EDS (*energy-dispersive X-ray spectroscopy*) através do canhão de elétrons do fabricante Oxford anexo a um microscópio eletrônico de varredura FEI Quanta 200.

Este equipamento utilizado se encontra em um ambiente com temperatura controlada de  $20 \pm 3$  °C e umidade menor que 80%. Os parâmetros utilizados durante os ensaios foram os seguintes: tensão para aceleração dos elétrons de 20 kV, diâmetro de feixe de elétron de 5 mm, detector de alta resolução, distância focal entre 10 e 14,1 mm, pressão da câmara de vácuo de  $2,8 \cdot 10^{-5}$  Torr, corrente no filamento de tungstênio de 2,55 A, corrente de emissão de 100  $\mu$ A e tensão no filamento entre 2,20 a 2,30 V.

Os resultados das análises encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3 - Composição obtida via EDS**

<i>Spectro</i>	Cr	Mn	Fe	Ni	Si	Total
<b>Amostra 1</b>	2,18	0,61	95,4	1,81	0,00	100,00
<b>Amostra 2</b>	2,29	0,76	94,98	1,97	0,00	100,00
Resultados em porcentagem de massa (%)						

As composições encontradas nas amostras estão muito próximas da composição nominal do aço conforme Tabelas 1 e 3, variações são consideradas normais devido a possíveis resíduos do processo de corte das amostras e por se tratar de uma análise qualitativa semiquantitativa.

Também foram realizados ensaios de dureza nas mesmas posições mostradas na Figura 22. Foi utilizado o Durômetro Leco LM 700 AT com carga de 1Kg e penetrador Vickers.

Os valores de dureza obtidos são visualizados na Tabela 4.

**Tabela 4 - Valores de dureza obtidos**

Amostra	Dureza (HV)		
	Ponto 1 (0,1 mm da sede)	Ponto 2 (0,35 mm da sede)	Ponto 3 (próxima da cúpula)
1	735	644	788
2	739	646	806

Os valores de dureza obtidos estão de acordo com as especificações da empresa parceira deste estudo e os valores da amostra sem o defeito característico (amostra 1) e da amostra com o defeito característico (amostra 2) não apresentam diferenças significativas.

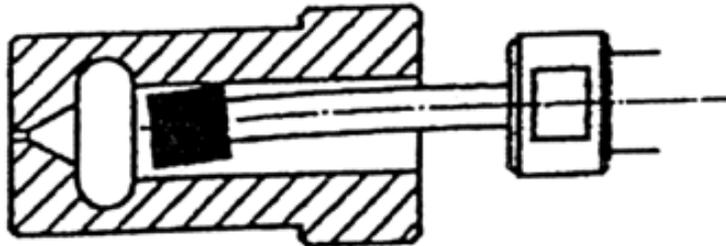
### **3.2 Descrição do processo de retificação**

O processo de retificação foco deste estudo consiste em uma retificação interna do tipo cônica, ou seja, cujo objetivo é gerar uma superfície interna cônica de baixa rugosidade. Neste processo é utilizado rebolo de nitreto cúbico de boro (CBN) e dressador do tipo cerâmico, ambos vitrificados. São utilizadas altas rotações discordantes, ou seja, a peça rotaciona em sentido oposto ao rebolo. Devido ao

espaço restrito causado pelo pequeno diâmetro do furo do bico injetor que promove acesso à sede, a fixação do rebolo e a alimentação de fluido lubri-refrigerante são complicadas. Da mesma forma que os demais processos de retificação, esta retificação interna cônica demanda um processo de dressagem estável e preciso para atingir superfícies com baixa rugosidade.

As principais dificuldades e desafios deste processo são descritas a seguir:

- a) Em função da ocorrência de vibrações no processo: devido ao acesso restrito à região a ser retificada, em especial devido ao pequeno diâmetro do furo do bico, se faz necessário o uso de uma haste prolongadora de baixo diâmetro para fixação do rebolo em sua ponta. Esta haste, devido a sua natural baixa resistência mecânica associada, pode flambar em função dos esforços durante a retificação e gerar vibrações indesejáveis e prejudiciais ao processo, além de complicar o atendimento às especificações geométricas da peça retificada devido a leve mudança de posição do rebolo (Empresa parceira deste projeto, 2010). Esta condição é mostrada na Figura 23.



**Figura 23 - Haste prolongadora flexionada devido a esforços na retificação interna**  
Fonte: Empresa parceira deste projeto

- b) Dificuldade para refrigeração e lubrificação do processo: devido ao restrito acesso para a entrada de fluido lubri-refrigerante pode ocorrer sobreaquecimento no contato rebolo-peça, o que pode gerar complicações ao processo como queima, retempera e redução do poder de corte do rebolo, entre outros. Este problema pode ser reduzido ou contornado através da inserção de fluido lubrificante por pequenos furos na haste prolongadora e na parte metálica da estrutura do rebolo, além disso, o fato do processo ser discordante, também auxilia na melhor distribuição do fluido refrigerante na

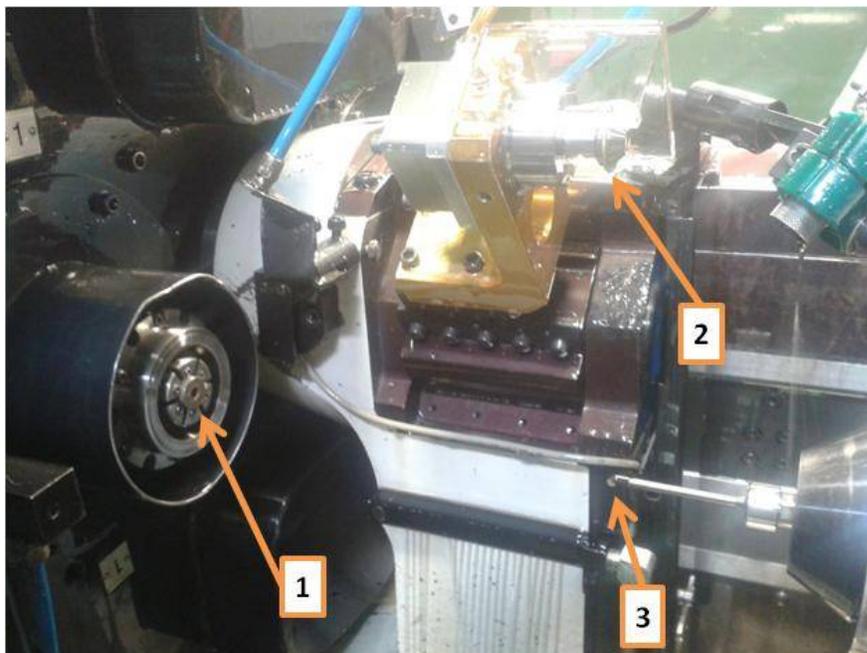
região de retificação. Neste processo é utilizado óleo do tipo integral com pressão de entrada de 3,5 bar;

- c) Fixação da peça e profundidade de material removido: a fixação da peça a ser retificada deve ser realizada sem folgas e de forma centralizada na placa da máquina para não causar variações no processo (Empresa parceira deste projeto, 2010). A profundidade de material no sentido longitudinal da peça também é influenciada pela fixação, ou seja, a região da peça onde a mesma é fixada e o batente do sistema de fixação devem ter medidas e as formas padronizadas (comprimento, diâmetro e circularidade) para garantir uma profundidade de material removido constante, pois caso haja variação, o processo de retificação e a qualidade da superfície gerada poderão ser prejudicados. Neste processo em estudo, a profundidade de material removido resulta em volume aproximado de  $2,5 \text{ mm}^3$  de material removido;
- d) Fusos de fixação da máquina: o fuso da máquina de retificação na qual a peça está fixada e o fuso no qual está fixado o rebolo de corte devem garantir a rotação desejada sem apresentar vibrações para assegurar estabilidade ao processo. Isto é acentuado devido às altas velocidades de rotação normalmente empregadas em retificação interna de pequenos diâmetros. Além disto, o fuso e o carro do fuso do rebolo também devem apresentar movimentos precisos sem folgas;
- e) Rebolo de corte adequado: o mesmo deve ser escolhido para que ocorra um corte adequado do material a ser retificado, sem que haja empastamento, para que haja taxa de remoção adequada e também para propiciar o atendimento de um tempo de processo econômico;
- f) É importante que ocorra um processo correto de dressagem. No processo foco deste estudo a dressagem ocorre em duas etapas, sendo a primeira para desbaste com profundidade corte de  $2 \mu\text{m}$  e segunda para acabamento do rebolo com profundidade de corte de  $1 \mu\text{m}$ , a remoção de material é feita de forma uniforme ao longo do cone do rebolo. O dressador rotaciona, mas não realiza nenhum outro movimento durante este processo. O rebolo rotaciona

em sentido oposto e realiza um movimento interpolado para que ocorra a dressagem;

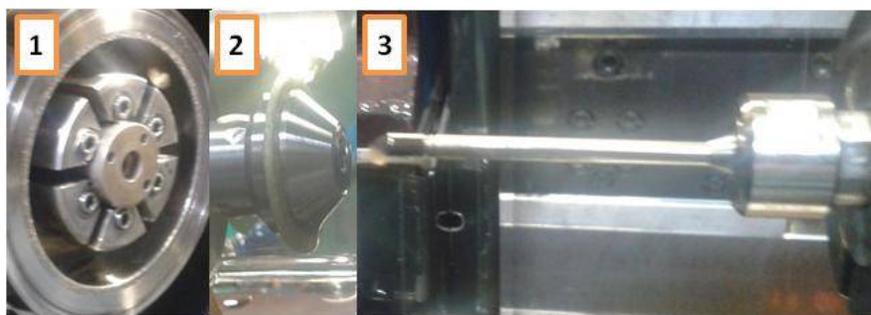
- g) Ausência de vibrações no acionamento do dressador: este é um ponto muito importante, pois, por vezes, o motor elétrico que aciona o fuso do dressador ao final da sua vida útil acaba por gerar vibrações que comprometem o processo de dressagem (Empresa parceira deste projeto, 2013);
- h) Dressagem frequente do rebolo: dependendo da especificação de acabamento superficial da peça a ser retificada, se faz necessário dressar o rebolo com grande frequência, ou seja, a cada poucas peças fabricadas. Isto é necessário para realizar a limpeza do rebolo e tornar aparente novos grãos abrasivos, o que reestabelece a capacidade de corte adequada. Neste tipo de retificação há necessidade de dressagem constante devido à dificuldade de lubrificação e refrigeração correta da região de retificação, o que dificulta o escoamento dos cavacos e grãos descolados do rebolo, além de sobreaquecer a região de corte;
- i) Limpeza da superfície a ser retificada: devido à dificuldade de escoamento na superfície a retificar, eventuais impurezas como cavacos de processos anteriores, sujidades oriundas de tratamento térmico, etc. podem comprometer a qualidade da superfície retificada ao danificar o rebolo ou por simplesmente permanecer na região do processo de retificação causando danos na superfície (Empresa parceira deste projeto, 2013). Para evitar ou minimizar estes problemas é recomendável lavar as peças antes do processo de retificação utilizando uma lavadora industrial;
- j) Dificuldade de exame da superfície retificada: devido à dificuldade de acesso à superfície retificada, pode ser complicado examiná-la, por vezes faz-se necessário o uso de equipamentos específicos como endoscópios industriais e rugosímetros com dispositivos especiais para acessar a superfície de interesse;

Para tornar mais claro os principais atores do processo de retificação interna cônica foco deste estudo, tem-se nas Figuras 24 e 25 a visualização da máquina e ferramentas do processo.



**Figura 24 - Configuração dos agentes do processo de retificação interna cônica deste estudo:  
1- placa de fixação da peça, 2- dressador e 3- rebolo de retificação**

**Fonte: Empresa parceira deste projeto**



**Figura 25 - Agentes do processo de retificação interna cônica em detalhe: 1- placa de fixação da peça, 2- dressador e 3- rebolo de retificação**

**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

### **3.3 Caracterização dos elementos do processo de retificação e do defeito recorrente**

Com o intuito de caracterizar os elementos do processo de retificação estudado nesta análise, foram selecionados os principais elementos do processo para análise visual e de integridade, sendo estes os rebolos e dressadores novos e no final da sua

vida útil, além de cavacos do processo. Uma listagem das amostras é mostrada na Tabela 5, as mesmas também foram analisadas com o MEV FEI modelo Quanta200, da mesma forma os parâmetros utilizados foram os mesmos empregados em análises já descritas nesta dissertação.

**Tabela 5 - Amostras para análise de integridade utilizando MEV**

<b>Número da amostra</b>	<b>Condição da amostra</b>
1	Rebolo sem uso
2	Rebolo no fim da vida útil
3	Dressador sem uso
4	Dressador no fim da vida útil
5	Cavacos do processo de retificação

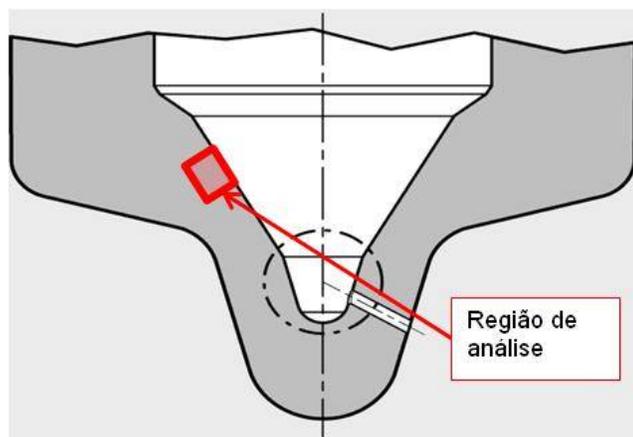
Já para caracterizar o defeito recorrente na terceira parte da sede, conforme foi ilustrado na Figura 6, no processo de retificação, foi separado um corpo de bico injetor com este defeito logo após o processo de retificação da sede na produção em série dos bicos injetores conforme mostrado na Tabela 6. Tal amostra não é a mesma utilizada nos outros ensaios deste estudo. Optou-se por retirar esta amostra diretamente da produção em série dos bicos injetores para economizar amostras obtidas no experimento utilizando-se o método de Taguchi que será abordado na sequência desta dissertação. Esta amostra foi analisada utilizando também o MEV FEI modelo Quanta200. Devido ao bom foco deste equipamento, mesmo com grandes diferenças de profundidade, é possível registrar imagens com grande ampliação e de boa qualidade. Os parâmetros utilizados são os mesmos utilizados nas análises via EDS para caracterização do material conforme anteriormente descrito nesta mesma seção.

**Tabela 6 – Amostra para análise da sede utilizando MEV**

<b>Número da amostra</b>	<b>Condição da amostra</b>
1	Corpo do bico com parâmetro primário Pt maior que o especificado após retificação

Em seguida, para a verificação de superaquecimento na sede no processo de retificação, foram separadas amostras de corpos de bicos injetores com e sem o defeito recorrente da produção em série logo após o processo de retificação da sede, ressalta-se que estas amostras também não são as mesmas utilizadas em outras

etapas deste estudo. Optou-se por amostras retiradas da produção em série novamente para que, da mesma forma, não fossem destruídas amostras do ensaio planejado conforme o método de Taguchi deste estudo. As mesmas foram analisadas quanto a sua microestrutura na região adjacente à superfície na terceira parte da sede, conforme ilustrado na Figura 26.



**Figura 26 - Região de análise metalográfica adjacente à terceira parte da sede**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

O objetivo estabelecido foi verificar possíveis alterações metalográficas que indiquem um aquecimento acentuado nesta região, gerando o fenômeno de queima e retêmpera. As amostras foram seccionadas ao meio e embutidas em baquelite, lixadas em sequência com lixas de granulação 220, 400 e 660 e depois polidas utilizando-se de um feltro e pasta diamantada. Após, foi realizado ataque químico através uma solução com 2% ácido nítrico em álcool etílico (Nital 2%) e em seguida as amostras foram visualmente analisadas utilizando-se um microscópio ótico do fabricante Olympus.

### **3.4 Experimento no processo de retificação**

O experimento no processo de retificação foi planejado e realizado de acordo com o método de Taguchi. Optou-se por este método devido à possibilidade de se avaliar vários fatores com níveis de variação distintos com o menor número de ensaios

quando comparado a um planejamento utilizando-se fatorial completo, por exemplo, economizando-se desta forma custos e tempo. Optou-se por um arranjo ortogonal, ou matriz de Hadamard,  $L_9 3^4$  (9 ensaios com 4 parâmetros de controle e 3 níveis de variação), para desta forma avaliar quatro parâmetros de processo em 3 níveis de variação conforme ilustrado na Tabela 7.

Este arranjo foi considerado o mais adequado aos propósitos deste estudo devido ao número de fatores avaliados e principalmente por causa da avaliação de três níveis de variação, o que propicia uma maior amplitude de valores na análise dos fatores envolvidos.

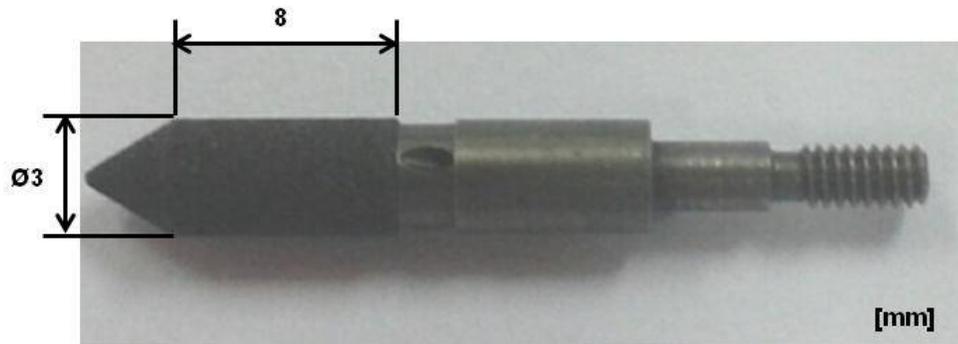
O experimento foi realizado utilizando-se uma máquina retificadora da sede de corpos de bicos injetores do fabricante “UVA” modelo “U88”, esta máquina pode ser visualizada na Figura 27. A mesma possui um equipamento de controle do processo de dressagem, através da medição de intensidade sonora captada através de um jato de óleo direcionado ao contato rebolo/dressador durante a dressagem.



**Figura 27 - Máquina retificadora utilizada na fabricação das amostras**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

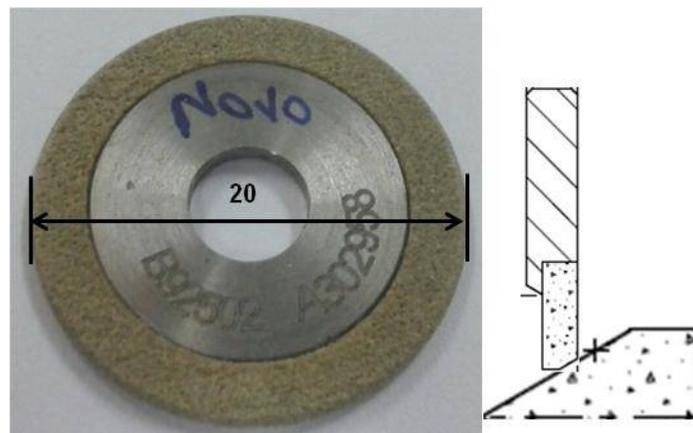
Dentre as quatro máquinas disponíveis para a fabricação de corpos de bicos injetores EURO5, foi escolhida pela equipe de trabalho deste estudo para o experimento, a que apresenta menor incidência de defeitos na superfície da sede, conforme controle interno de refugos da empresa parceira deste estudo. As ferramentas utilizadas no experimento foram o rebolo de retificação da sede de bicos injetores EURO5, composto de carboneto cúbico de boro ou *CBN*, com ligante

vitricado. O rebolo é responsável pelo corte de material e por levar óleo refrigerante até a região de retificação, o mesmo é ilustrado na Figura 28.



**Figura 28 - Rebolo do processo de retificação, responsável pelo corte de material e por levar óleo lubrificante até a região de retificação**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

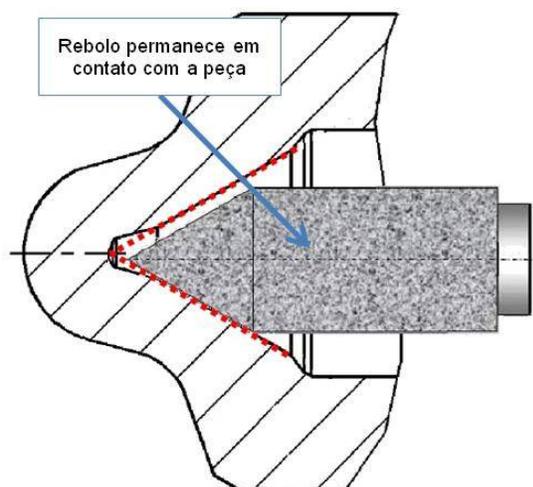
Já o dressador de rebolos, do tipo VDD: *vitified diamond dresser* (dressador vitrificado de diamante), responsável pela correta limpeza a dressagem do rebolo, é ilustrado na Figura 29, também PE mostrado como o contato do dressador com o rebolo ocorre durante dressagem. Estas ferramentas do processo são novas, ou seja, recém-retiradas do estoque de ferramentas.



**Figura 29 - Dressador do processo de retificação e exemplificação do contato do dressador com o rebolo durante dressagem (medida em mm)**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

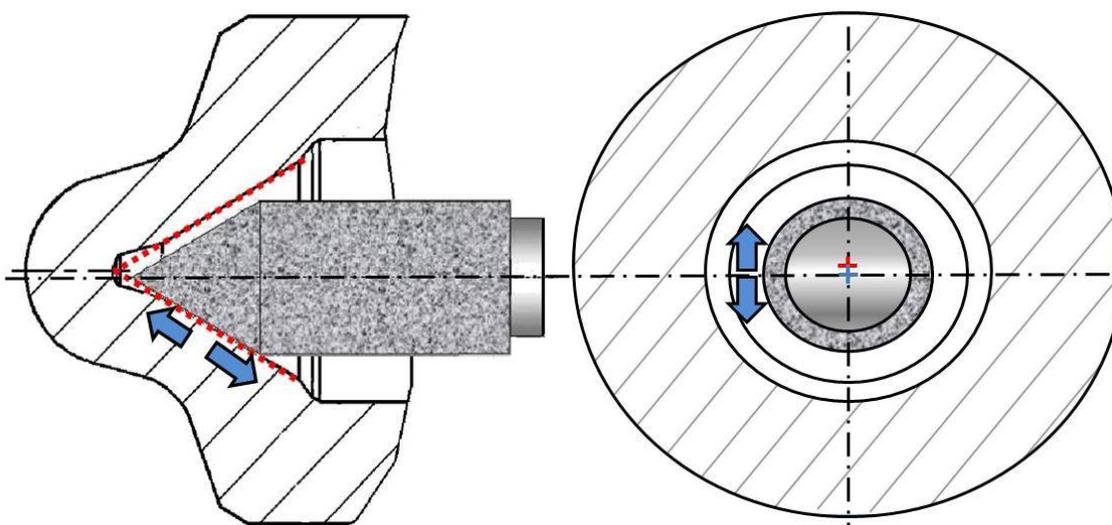
Os parâmetros do processo de retificação interna variados no experimento são ilustrados nas Figuras 30, 31, 32 e 34. Estes parâmetros foram escolhidos dentre os

parâmetros do processo com auxílio dos especialistas da empresa parceira (conforme recomenda o método de Taguchi) devido a sua grande influência na topografia superficial da sede. Esta influência determinada em ensaios prévios realizados para melhorias na produção em série dos bicos injetores na empresa parceira deste estudo.



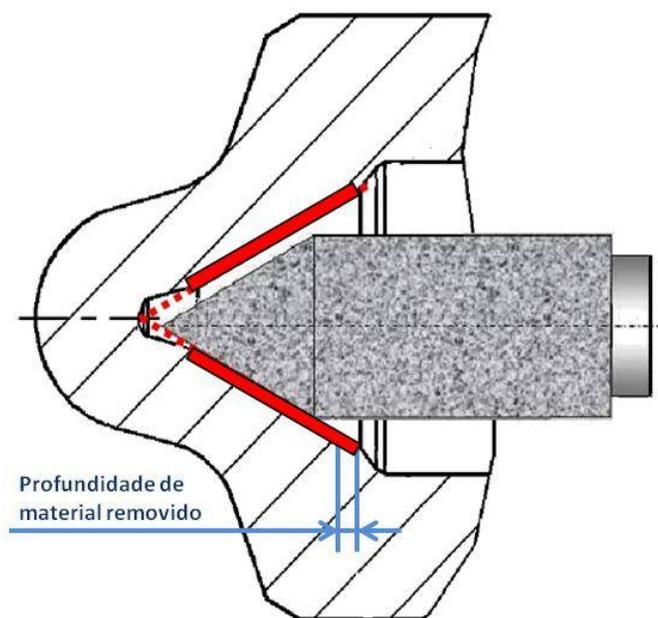
**Figura 30 - Tempo de centelhamento: tempo de permanência do rebolo em contato com a sede sem oscilação, sendo a última etapa do processo de retificação (unidade: segundos)**

Fonte: Empresa parceira deste projeto.



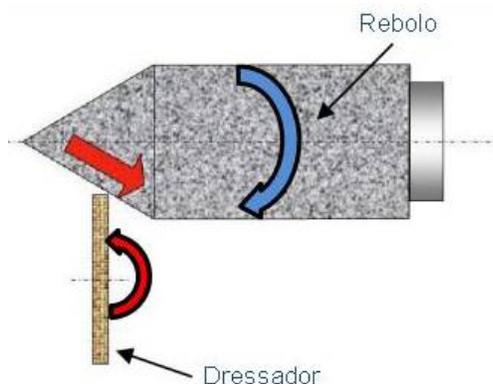
**Figura 31 - Velocidade de oscilação do rebolo em relação à peça (setas), sendo um movimento interpolado (unidade: mm/min)**

Fonte: Empresa parceira deste projeto.



**Figura 32 - Profundidade de material da sede a remover na retificação medida no sentido axial conforme ilustrado (unidade: mm)**

**Fonte: Empresa parceira deste projeto.**



**Figura 33 - Velocidade do dressador durante a dressagem do rebolo 5, sendo a resultante dos movimentos realizados (unidade: mm/min)**

**Fonte: Empresa parceira deste projeto.**

Os níveis utilizados no experimento para estes parâmetros são mostrados de forma indicativa na Tabela 7 devido à confidencialidade destes dados, da mesma maneira, os valores para estes níveis foram determinados mediante análise dos resultados de testes realizados anteriormente na produção em série dos bicos injetores (Empresa parceira deste projeto, 2013), além disto, a experiência dos especialistas deste processo na empresa parceira também foi levada em

consideração, conforme indica o método de Taguchi. Estes valores dos níveis representam campos nos quais há possibilidade da determinação de valores otimizados para o processo. Todos os demais parâmetros controláveis do processo foram mantidos constantes.

No experimento foi utilizado um fator de ruído de acordo com o método de Taguchi: motor de acionamento do fuso do dressador novo e motor no fim da vida útil, ou seja, foram realizadas duas sequências de nove ensaios conforme o arranjo ortogonal, uma com e outra sem o fator de ruído. Este fator de ruído foi escolhido devido ao conhecimento adquirido em diversos ensaios realizados anteriormente que demonstraram que vibrações geradas pelo motor do dressador tem grande influência na topografia da sede após a retificação e que motores próximos ao fim da sua vida útil acabam por gerar mais vibração (Empresa parceira deste projeto, 2013).

Os dados do experimento podem ser visualizados na Tabela 7.

**Tabela 7 - Planejamento do experimento conforme arranjo ortogonal L9**

Quantidade	Ensaio	A-Centelhamento (s)	B-Velocidade oscilação rebolo (mm/min)	C-Profundidade de material removido (mm)	D-Velocidade de dressagem (mm/min)
20 bicos	1	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
20 bicos	2	Baixo	Médio	Médio	Médio
20 bicos	3	Baixo	Alto	Alto	Alto
20 bicos	4	Médio	Baixo	Médio	Alto
20 bicos	5	Médio	Médio	Alto	Baixo
20 bicos	6	Médio	Alto	Baixo	Médio
20 bicos	7	Alto	Baixo	Alto	Médio
20 bicos	8	Alto	Médio	Baixo	Alto
20 bicos	9	Alto	Alto	Médio	Baixo

Duas sequências de ensaios: uma com motor do dressador novo e outra com motor no fim da vida útil

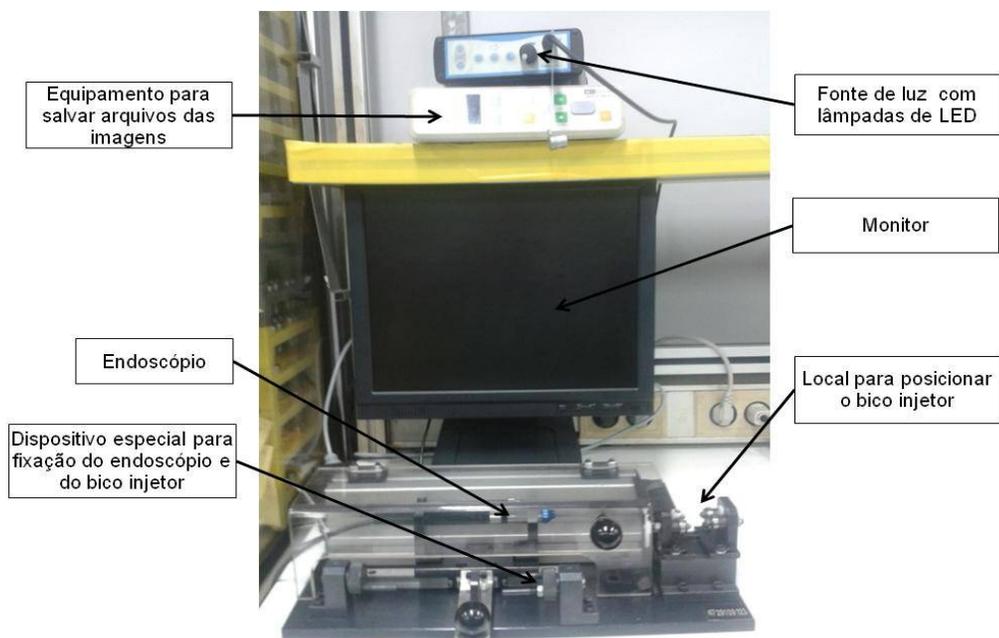
As amostras para este experimento foram separadas e identificadas imediatamente antes do processo de retificação da sede dos corpos de bicos injetores. Utilizou-se um número de tipo de um corpo de bico injetor Diesel geração EURO5 que convenientemente pôde ser imediatamente disponibilizado pela produção em série dos bicos injetores na empresa parceira deste projeto.

Para cada ensaio do experimento foram retificadas vinte amostras em sequência e numeradas (conforme coluna “Quantidade” da Tabela 7), assim, dois intervalos de

dressagem ocorreram (intervalo de dressagem do processo ocorre uma vez a cada oito peças fabricadas), desta forma permitindo avaliar eventuais influências da dressagem no processo. Assim, retificou-se 180 amostras (9 x 20) fabricadas sem o fator de ruído e outras 180 com o fator de ruído, totalizando 360 amostras.

### 3.5 Avaliação da topografia 2D da sede das amostras obtidas

Primeiramente, as amostras obtidas no experimento planejado utilizando-se o método de Taguchi foram submetidas a um exame visual da sede do corpo utilizando-se um endoscópio industrial do fabricante Scholly modelo 96.0274s, de diâmetro de trabalho de 2,7 mm e 110 mm de comprimento e com ângulo de visão de 0° e campo de visão de 85°. O mesmo estava acoplado a uma câmera e sistema de controle modelo 96.0031L.PAL, sistema de captura de imagens Mediacapture USB 170, modelo 05.9193v e um dispositivo especial usinado para exame de corpos de bicos injetores, conforme mostrado na Figura 34. Isto foi feito para detectar influências devido às possíveis grandes danificações que possam ser identificadas visualmente.



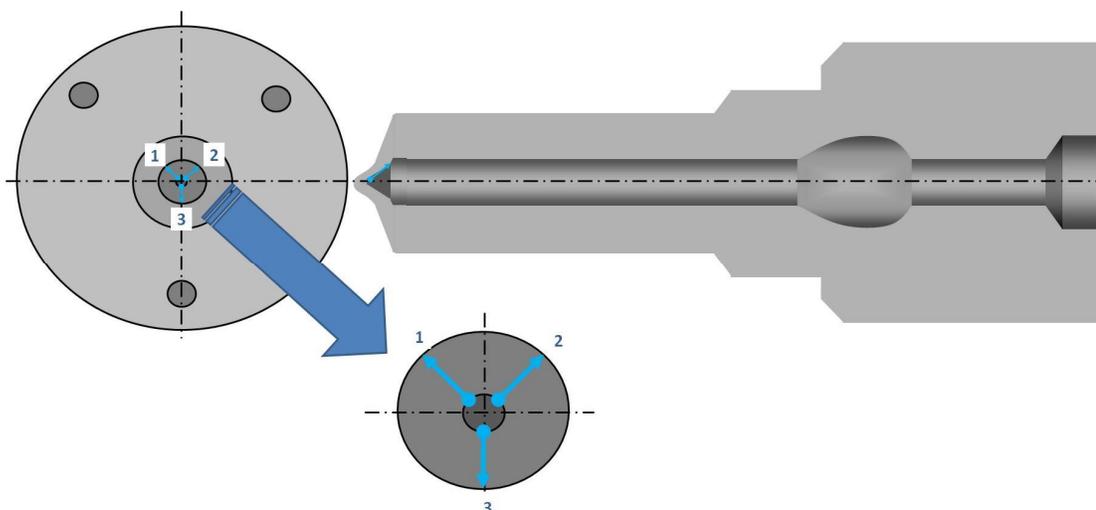
**Figura 34 - Endoscópio industrial utilizado no exame visual das amostras**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

Após, as amostras foram submetidas à medição de topografia 2D da superfície da sede utilizando-se o rugosímetro Mahr Perthometer Concept *Version 7.1\_9*. Este equipamento é especialmente projetado para a medição da topografia da sede de corpos de bicos injetores sem a necessidade do corte das amostras, o mesmo é mostrado na Figura 35.

Cada amostra foi medida três vezes, sendo cada medição angularmente distante  $120^\circ$  em relação às demais, conforme ilustrado na Figura 36. Esta disposição das medições foi planejada de forma a ser possível detectar variações de topografia superficial que eventualmente não sejam constantes ao longo da circunferência da sede das amostras. Nas medições utilizou-se um *cutoff* de 0,25 mm e um comprimento de avaliação de 1,5 mm além de filtro Gaussiano quando aplicável.



**Figura 35 - Rugosímetro Mahr Perthometer Concept *Version 7.1\_9***  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**



**Figura 36 - Esquema das posições das medições de topografia superficial realizadas na sede**  
**Fonte: Autoria própria**

Como resultados das medições de topografia foram determinados os parâmetro primário  $P_t$ , que de acordo com Mahr GMBH (1999), é a soma da altura do maior pico e a profundidade do vale mais profundo no perfil P (perfil sem filtros e no qual não leva-se em consideração o *cutoff*) no comprimento de avaliação, o parâmetro de rugosidade  $R_z$  ou distância média entre os cinco picos mais altos e os cinco vales mais profundos no comprimento de avaliação, o parâmetro de rugosidade  $R_{max}$ , que equivale a distância entre maior pico e o vale mais profundo no intervalo de avaliação e o parâmetro de ondulação  $W_t$ , que reflete a ondulação da superfície, estes três últimos parâmetros utilizam filtro Gaussiano e *cutoff*. Além disto, o gráfico com o perfil da topografia 2D foi gerado para cada medição, no qual foi avaliada a presença do defeito característico conforme foi apresentado na Figura 6.

Depois das medições de topografia 2D realizadas, os respectivos resultados foram analisados utilizando-se o *software* de análises estatísticas MiniTab 17, gerando como resultado a função perda e os gráficos das taxas sinal/ruído para os parâmetros de processo avaliados em relação aos parâmetros topográficos 2D medidos, pois esta é a uma maneira de se identificar os valores ótimos para cada parâmetro de controle de acordo com o método de Taguchi (Maghsoodloo *et al*, 2004).

### 3.6 Avaliação da topografia 3D das amostras obtidas

Na etapa seguinte, duas amostras de cada ensaio do experimento (grupo de vinte peças fabricadas) foram separadas de acordo com o resultado do parâmetro primário Pt obtido, sendo uma peça com o maior valor e outra com o menor valor do ensaio, de forma a se avaliar peças nos dois extremos em termos deste parâmetro primário. Estas amostras foram destinadas à análise de topografia em três dimensões.

A vantagem de se poder analisar uma área na avaliação 3D e não somente uma linha como na análise 2D de topografia foi utilizada neste estudo. Assim, para a realização das medições de topografia 3D utilizou-se o rugosímetro 3D (interferômetro óptico) Taylor Hobson CCI com o *software* Talymap conforme mostrado na Figura 37.



Figura 37 - Interferômetro óptico Taylor Hobson CCI com o *software* Talymap

Fonte: UTFPR

Algumas etapas necessitaram ser realizadas para os ajustes e preparação do processo de medição neste equipamento, nestas etapas foram utilizadas amostras de corpos separados na produção em série com o parâmetro primário Pt acima do

especificado, para novamente, preservar as amostras obtidas no experimento utilizando o método de Taguchi. As etapas realizadas foram:

a) Treinamento do operador do interferômetro;

b) Exposição correta da superfície a ser analisada: as amostras foram seccionadas de forma a tornar a região da sede visível, além disto, a região externa oposta de cada amostra foi retificada com um ângulo de  $30^\circ$  (metade do ângulo da sede) para gerar uma região de apoio para o posicionamento da amostra, garantindo assim a sede posicionada na horizontal. Ao final do processo de corte, cada amostra foi seccionada próxima à região da sede com o intuito de se separar esta parte do restante do corpo do bico injetor. A área a ser analisada é mostrada na Figura 38 e a preparação das amostras é ilustrada nas Figuras 39 e 40.

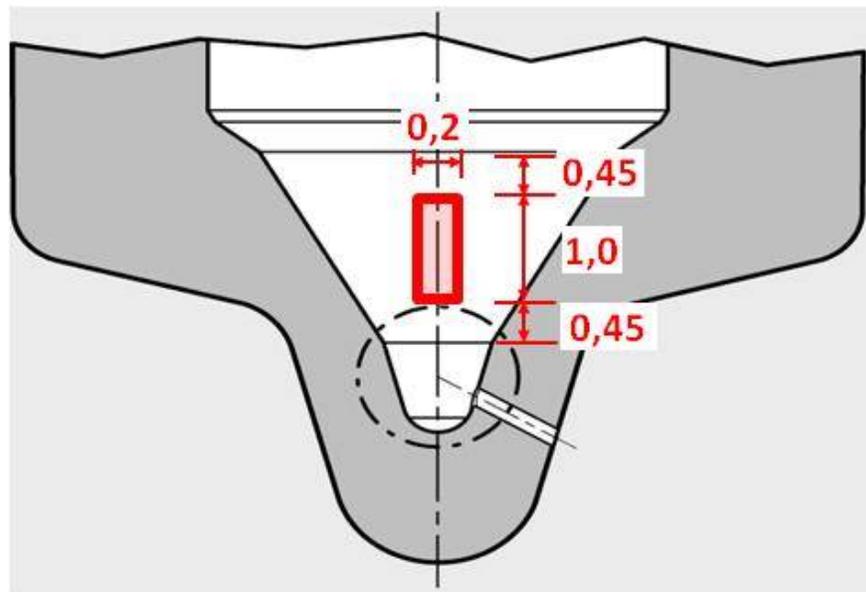
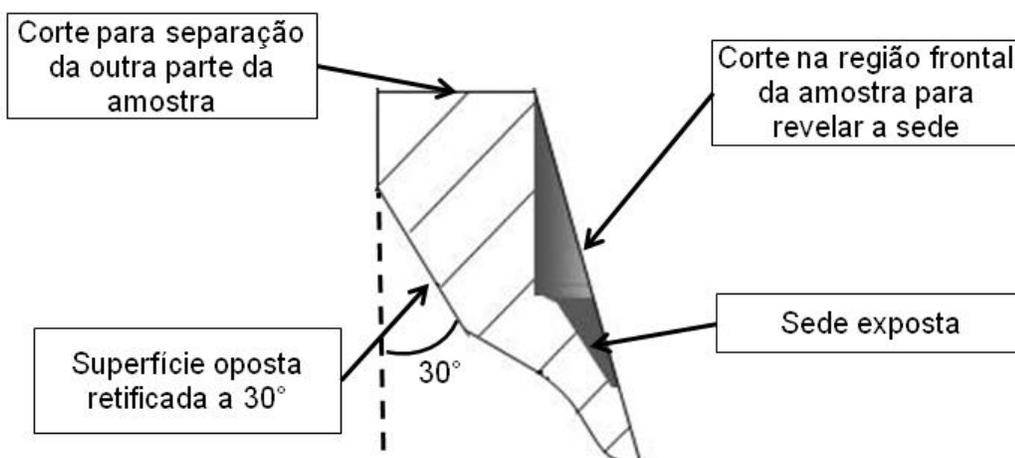


Figura 38 - Área avaliada utilizando o Interferômetro óptico Taylor Hobson CCI (medidas em mm)

Fonte: Empresa parceira deste projeto



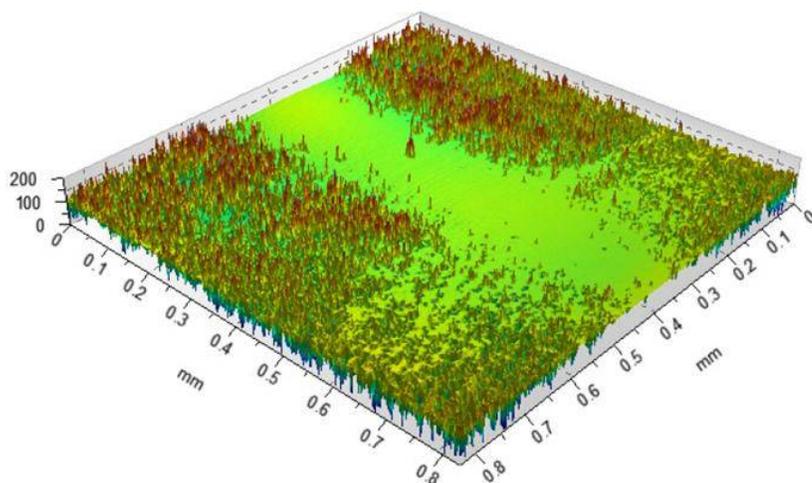
**Figura 39 - Amostra preparada para medição no interferômetro: 1- Restante da amostra após corte, 2- Corte em detalhe para deixar sede exposta e 3- Superfície oposta retificada para apoio**  
 Fonte: Autoria própria



**Figura 40 – Vista lateral em corte da amostra preparada conforme ilustrado nas posições 2 e 3 da Figura 39 para medição de topografia 3D**  
 Fonte: Autoria própria

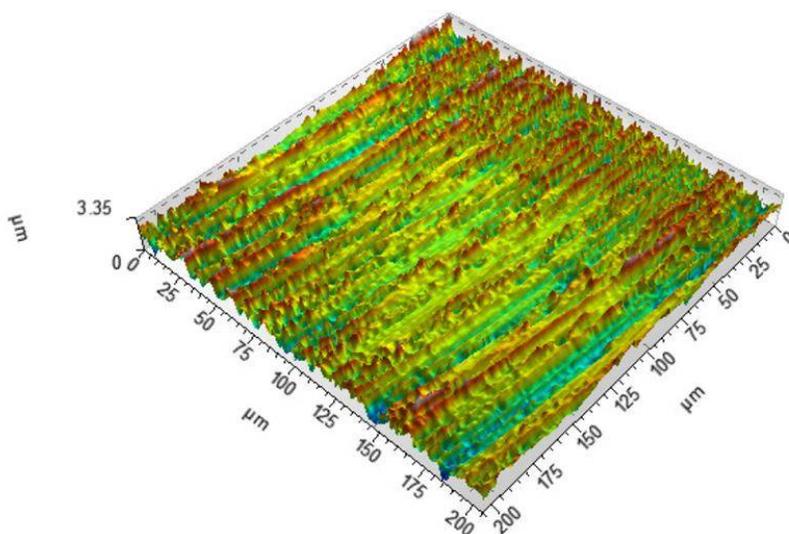
c) Seleção da ampliação adequada: foi necessário testar diferentes ampliações até se obter a ampliação ideal. Isto pode ser claramente verificado nas Figuras 41 e 42, nestas imagens temos somente uma ampliação de 20 vezes, a qual não obteve

resultado adequado e uma imagem com ampliação adicional digital de 4x, na qual se verificou o resultado esperado.



**Figura 41 – Imagem de topografia 3D de uma amostra com ampliação ótica de 20 vezes na qual não se obteve um resultado satisfatório**

**Fonte: UTFPR**

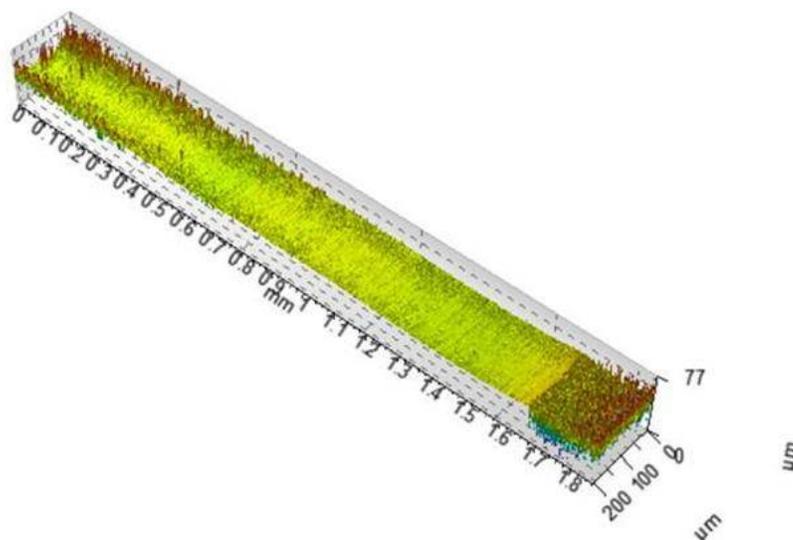


**Figura 42 - Imagem da topografia 3D de uma amostra com ampliação ótica de 20 vezes e ampliação digital adicional na qual se obteve resultado satisfatório**

**Fonte: UTFPR**

d) Seleção da área adequada: foram necessárias análises quanto à geometria do corpo de bicos injetores geração EURO5 e testes práticos para determinar uma

área adequada à análise necessária, ou seja, sobre a região qual o defeito recorrente normalmente aparece. Como exemplo, tem-se na Figura 43 uma área que foi inicialmente testada e não mostrou bons resultados.



**Figura 43 - Imagem da topografia 3D de uma área de medição de 1,8 x 0,2 mm que não apresentou bom resultado de medição**

**Fonte: UTFPR**

Ao fim dos testes práticos, utilizou-se uma área de análise de aproximadamente 0,2 x 1,0 mm partindo da região mais próxima do final da sede, com uma distância de 0,4 mm deste extremo, em direção ao furo cego de forma a garantir que a região que normalmente apresenta o defeito recorrente esteja na área de análise, esta área de análise é ilustrada na Figura 44 e foi formada por 6 pequenas áreas de 0,2 x 0,2 mm em sequência unidas por costura (*stiching*) com 20% de sobreposição (união feita através do método de mínimos quadrados).

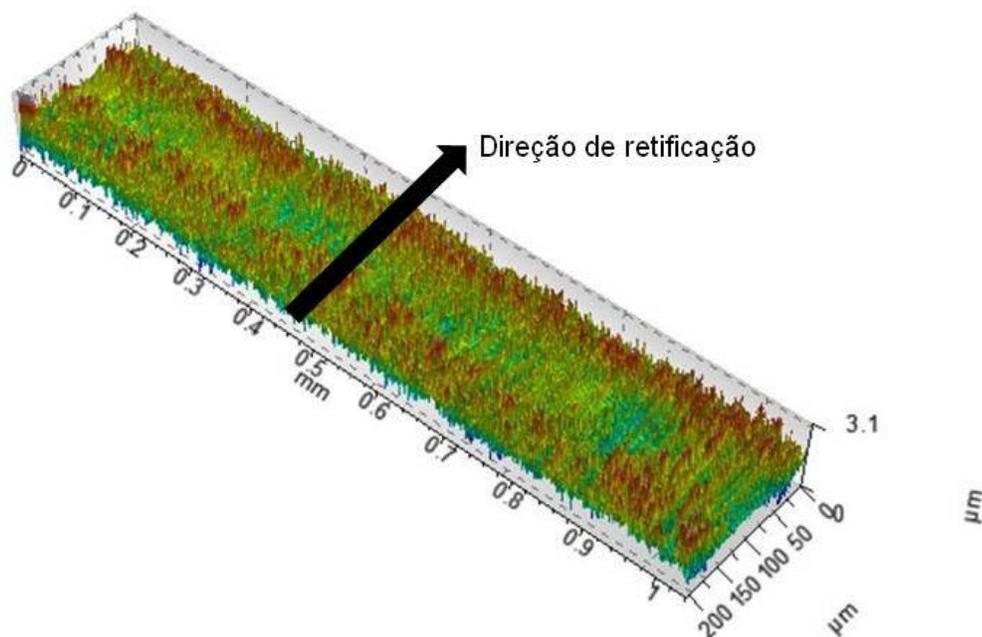


Figura 44 - Imagem de topografia 3D de uma área de medição de 1,0 x 0,2 mm que apresentou bom resultado de medição

Fonte: UTFPR

d) Limpeza correta da área a ser analisada das amostras: em medições iniciais das amostras sem a correta limpeza das mesmas se obteve resultados incoerentes para uma superfície retificada conforme ilustra a Figura 45.

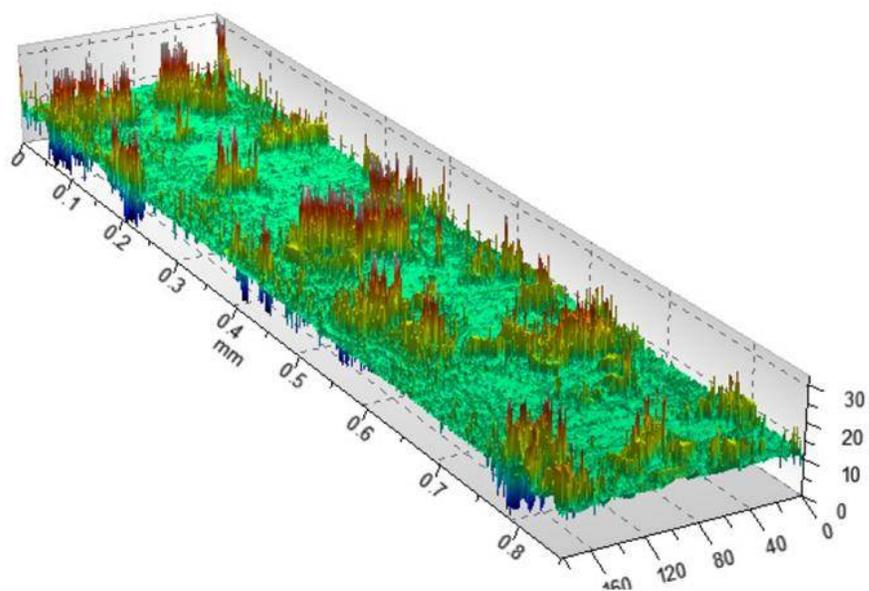
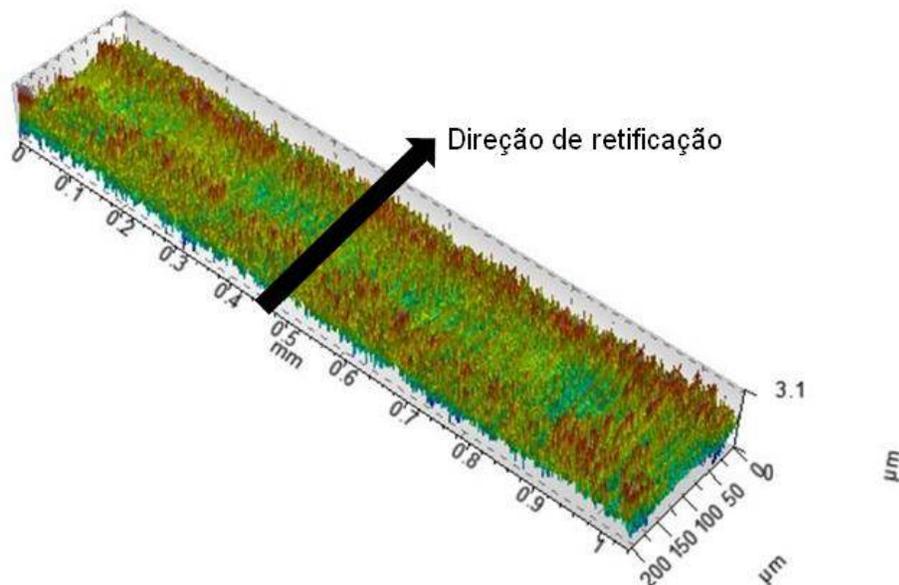


Figura 45 - Imagem da topografia 3D de uma amostra sem a limpeza adequada necessária

Fonte: UTFPR

Desta forma, foi utilizado álcool isopropílico para realizar uma minuciosa limpeza das amostras antes da avaliação das mesmas no interferômetro. Após a utilização desta limpeza, foram obtidos resultados adequados conforme ilustrado na Figura 46.



**Figura 46 - Imagem de topografia 3D de uma amostra após a limpeza adequada necessária**  
**Fonte: UTFPR**

Os demais parâmetros utilizados nas medições foram: resolução da imagem de 256 x 256 pixels com 65.536 pontos interpretados na superfície, resolução vertical máxima de 1 nm e luminosidade de 48%. Apenas um filtro do tipo F de remoção de forma devido ao formato cônico da sede foi aplicado, para, desta forma, haver comparabilidade com parâmetro primário 2D Pt que também não faz uso de filtros.

Assim, foi avaliada a sede, através do interferômetro, de 36 amostras (2 amostras de cada um dos 18 ensaios, sendo 9 ensaios com o fator de ruído e 9 sem o mesmo). Para cada amostra, foi gerada uma tabela com os parâmetros topográficos conforme mostrado na Tabela 8. Todos estes parâmetros foram gerados de forma a identificar quais são os mais indicados para caracterizar as peças medidas e o defeito recorrente do processo de retificação. Os parâmetros de planeza foram escolhidos devido à grande variação encontra para o parâmetro de ondulação 2D Wt em medições preliminares.

Ao final da análise da topografia 3D, a amostra mais significativa em termos do defeito recorrente do processo foi separada para análise visual utilizando MEV, para assim ser possível comparar os resultados obtidos na análise topográfica e com o MEV.

**Tabela 8 - Parâmetros topográficos gerados a partir da medição com o interferômetro**

<b>Tipo</b>	<b>Parâmetro</b>
Altura	Sa
	Sz
	Sv
	Sp
	Sq
	Ssk
	Sku
Funcional	Smr
	Smc
	Sxp
Espacial	Sal
	Str
	Std
Híbrido	Sdq
	Sdr
Volume	Vm
	Vv
	Vmp
	Vmc
	Vvc
	Vvv
Especiais	Spd
	Spc
	S10z
	S5p
	S5v
Planeza	FLTq
	FLTv
	FLTp
	FLTt

### 3.7 Correlação entre a topografia 2D da sede e a pressão de abertura

Com o objetivo de relacionar a topografia da sede do corpo de bicos injetores Diesel geração EURO5 com o parâmetro funcional pressão de abertura, para comprovar a importância desta topografia para o funcional do produto, foram separadas 150 amostras da produção em série dos bicos injetores imediatamente antes da etapa de medição da pressão de abertura, não sendo estas, as mesmas amostras utilizadas nos demais ensaios deste estudo. Esta quantidade de 150 peças foi conveniente, uma vez que se trata do tamanho de lote padrão usado na produção em série dos bicos injetores. Nestas amostras foi avaliada a topografia da sede com uma medição por amostra (o detalhamento desta medição de topografia superficial foi realizado na seção 3.5). Em seguida, as amostras foram submetidas à medição de pressão de abertura, utilizando uma bancada especial da produção em série conforme ilustrado na Figura 47.



**Figura 47 - Bancada utilizada na medição da pressão de abertura das amostras**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

Em seguida, foi avaliado a relação entre parâmetro de ondulação  $W_t$  e o parâmetro primário  $P_t$  com a pressão de abertura, para comprovar a influência da topografia da sede no parâmetro funcional. Estes parâmetros foram escolhidos por já serem utilizados no controle da retificação em série na produção dos bicos injetores e serem de fácil obtenção uma vez que seu processo de medição está desenvolvido.

### 3.8 Teste adicional da causa do defeito recorrente

Após a obtenção e análise dos resultados dos ensaios e experimentos anteriormente descritos neste capítulo, julgou-se necessário a definição de um ensaio adicional para o entendimento da causa do defeito recorrente em estudo.

Definiu-se medir as vibrações em termos de amplitude durante o processo de dressagem, de forma a poder detectar eventuais perturbações que fujam ao padrão normal do processo. Desta forma, foi utilizado o equipamento do fabricante *Prüftechnik*, modelo *VIBXpert II*, conforme ilustrado na Figura 48, para controlar as amplitudes das vibrações, medidas em  $\mu\text{m}$ . Este equipamento é constituído por sensor do tipo *Straingage*, com fixação do tipo magnética, cabo de conexão e central eletrônica para tratamento dos dados.



**Figura 48 – Equipamento do fabricante *Prüftechnik*, modelo *VIBXpert II* utilizado no ensaio adicional de vibrações**

**Fonte: Empresa parceira deste estudo.**

Os parâmetros utilizados no equipamento durante estes ensaios são mostrados na Tabela 9.

**Tabela 9 - Parâmetros utilizados no equipamento de medição de vibrações durante o ensaio**

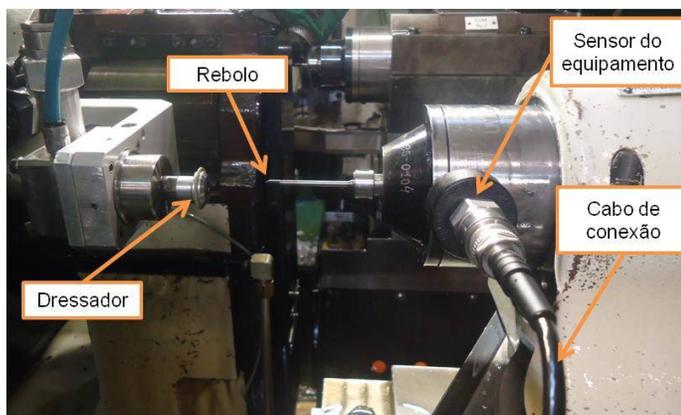
Frequência de amostragem	1024 Hz
Tempo de medição	320000ms
Baixa frequência	2,00 Hz
Alta frequência	-
Tipo de média	Nenhuma média
Faixa de medição	Automático
Tipo de gatilho	Sem

Para este ensaio foi desenvolvido um programa de dressagem que determina a realização 100 dressagens em sequência e 5 segundos de intervalo entre as mesmas,

neste tempo o rebolo permanece somente rotacionando em uma posição afastada do dressador. Utilizaram-se as mesmas profundidades de dressagem aplicadas na produção em série: 2  $\mu\text{m}$  de profundidade na etapa de desbaste e 1  $\mu\text{m}$  na etapa de acabamento. Ao fim de cada dressagem, o rebolo de retificação retornou sempre ao seu mesmo ponto inicial de partida, de forma a manter-se um padrão de movimentação do mesmo. Executou-se o programa de dressagem e a medição de vibrações por 6 vezes, devido a limitação de tempo do equipamento de medições de vibrações, para assim realizar aproximadamente 100 dressagens. Após cada um destes ciclos de aproximadamente 17 dressagens, examinou-se visualmente o rebolo e dressador contra macro danificações.

O sensor do equipamento foi fixado ao fuso do rebolo, uma vez que o furo do dressador não possibilitava a fixação do mesmo devido à ausência do espaço necessário e ao fato do suporte deste fuso ser constituído de uma liga de alumínio (material não ferromagnético). Porém de acordo com o especialista em medições de vibrações da empresa parceira deste estudo, isto não representa um problema, uma vez que as vibrações durante o processo de dressagem também são propagadas para o fuso do rebolo. Assim, utilizou-se a configuração na máquina de retificação para este ensaio como mostrada na Figura 49.

Durante este ensaio, filmou-se a tela do equipamento de medição de intensidade acústica durante dressagem da máquina de retificação (equipamento conforme mostrado na Figura 27) para que em caso de variações em uma das medições realizadas, fosse possível comparar as duas medições para a mesma dressagem.



**Figura 49 – Configuração na máquina de retificação durante o ensaio adicional de vibrações**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são descritos todos os resultados obtidos nos ensaios e experimentos neste estudo, além das necessárias discussões. A ordem de apresentação dos resultados é a mesma utilizada na seção de materiais e métodos para manter a lógica necessária a este estudo.

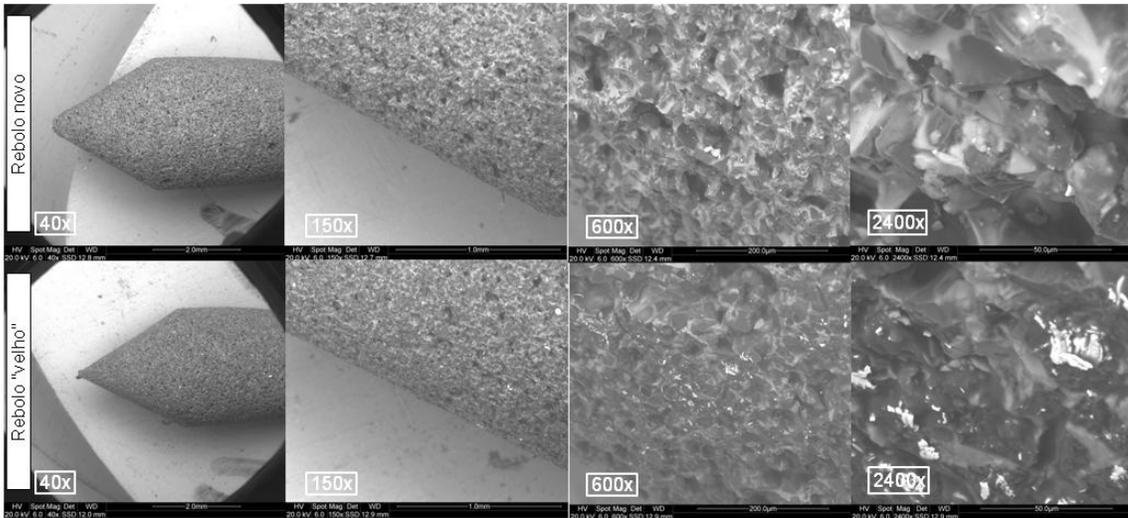
Para a melhor organização desta seção e das seguintes foi definida uma nomenclatura das amostras produzidas no ensaio planejado conforme o método de Taguchi. Isto é mostrado na Tabela 10.

**Tabela 10 - Definição da nomenclatura das amostras**

Motor do dressador "velho" (com fator de ruído)	MV
Motor do dressador "novo" (sem o fator de ruído)	MN
Ensaio (conforme Tabela 7)	R1, R2...
Número da amostra em cada ensaio	a1, a2...
Maior parâmetro primário Pt do ensaio (quando aplicável)	APt
Menor parâmetro primário Pt do ensaio (quando aplicável)	bPt
Exemplo 1: motor velho, ensaio 5, amostra 13, maior Pt do ensaio	MV.R5.a13.APt
Exemplo 2: motor novo, ensaio 5, amostra 2	MN.R5.a2

### 4.1 Caracterização dos elementos do processo de retificação e do defeito recorrente

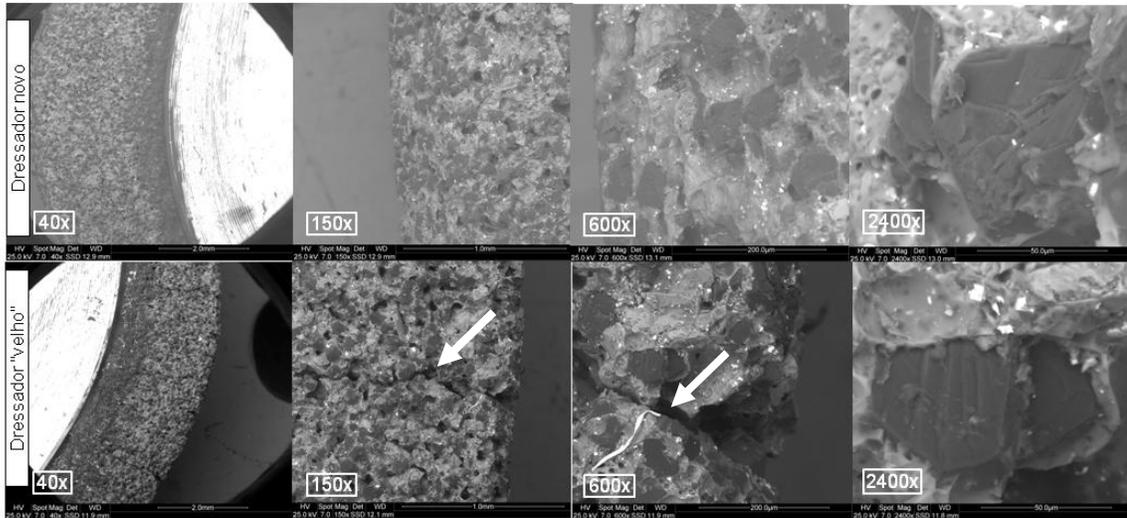
Com o objetivo de verificar a integralidade dos principais agentes do processo, rebolos, dressadores e cavacos foram separados para análise visual utilizando-se o MEV. As imagens obtidas para os rebolos do processo, sendo um novo e um no final da sua vida útil, são mostradas na Figura 50.



**Figura 50 - Imagens de rebolos do processo de retificação obtidas através do MEV**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

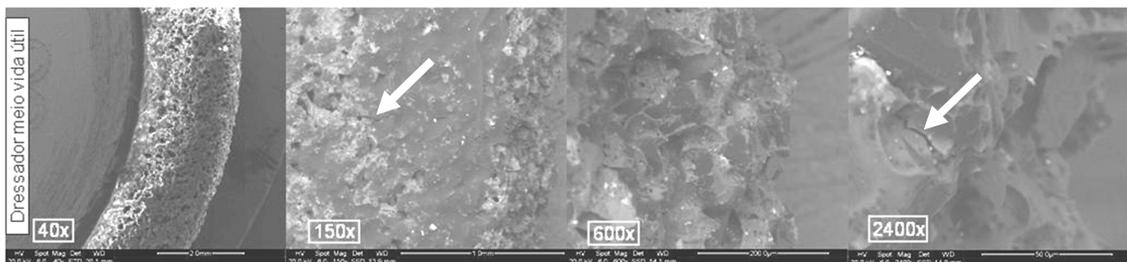
Através das imagens do rebolo é possível verificar que o rebolo novo apresenta maior agressividade, o que é esperado, uma vez que o mesmo não foi dressado nenhuma vez ainda, já o rebolo “velho” apresenta menor agressividade e também um diâmetro menor, uma vez que o mesmo foi submetido a vários ciclos de dressagem durante a sua vida útil. Verifica-se também empastamento, ou seja, a presença de cavacos nos seus poros, o que da mesma forma é considerado normal. Ambos os rebolos apresentam tamanho de grão de aproximadamente 30 x 30 µm expostos na superfície (análise das imagens com suas escalas devido à ampliação), o que está de acordo com a especificação do fabricante. Nos dois rebolos não foram encontrados problemas visualmente detectáveis, em especial na região correspondente a terceira parte da sede, como marcas ou danificações. Ambas as ferramentas apresentam alta porosidade também, o que é considerado normal para este tipo de ferramenta.

As imagens realizadas para os dressadores do processo são mostradas na Figura 51.



**Figura 51 - Imagens de dressadores do processo de retificação obtidas através do MEV**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

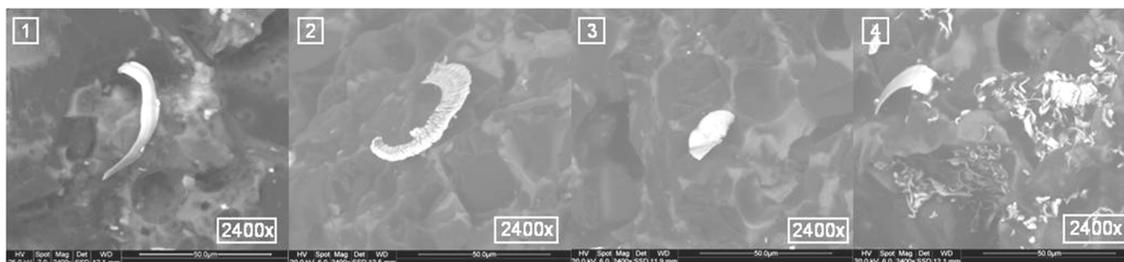
O dressador novo apresenta uma aparência normal para este tipo de ferramenta, sem discontinuidades, marcas ou quaisquer características visualmente destacadas. Já o dressador “velho” apresenta as mesmas características, exceto por uma trinca visível já com 40x de ampliação. Esta trinca pode ser evidência de vibrações excessivas durante o processo de dressagem ou de um defeito de fabricação do dressador. Devido à detecção desta trinca, outro dressador, porém desta vez meio da sua vida útil foi retirado do processo de retificação da série para análise visual no MEV, as imagens obtidas são mostradas na Figura 52.



**Figura 52 - Imagens de um dressador no meio da sua vida útil do processo de retificação obtidas através do MEV**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

Nesta ferramenta encontraram-se trincas de menor tamanho, como indicado pelas setas na Figura 52, além disso, as mesmas aparentam, até o momento da análise, não terem tido energia suficiente para percorrer toda a extensão do dressador. Desta forma, é possível apontar que estas trincas podem ter correlação com uma dressagem não adequada e uma conseqüente topografia irregular obtida na peça retificada.

Os microcavacos do processo de retificação foram também visualizados via MEV e suas imagens são mostradas na Figura 53.



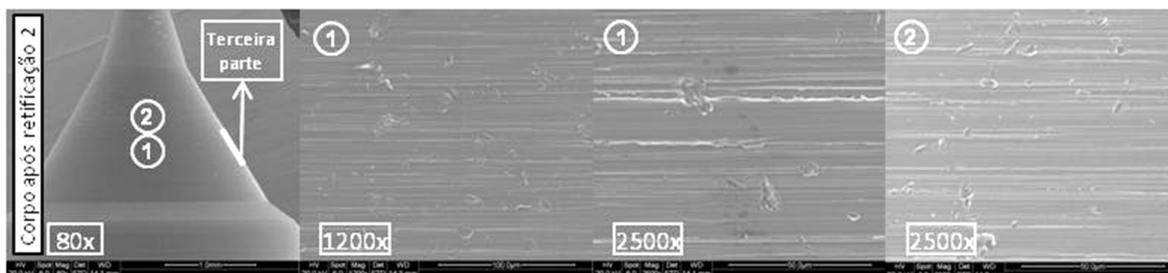
**Figura 53 - Imagens de cavacos do processo de retificação obtidas através do MEV**

**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

Os microcavacos gerados em um processo de usinagem podem fornecer importantes informações sobre o processo de fabricação e a formação da superfície (Shaw, 1996). Analisando as imagens dos cavacos da Figura 54, verificam-se cavacos dúcteis devido à alta velocidade de corte do processo (imagem 1), o que demonstra um corte adequado pela ferramenta, além disto, alguns tipos de cavaco são verificados: fitas helicoidais curtas (imagem 2), em vírgulas e fitas espiraladas (imagem 4), conforme classificação indicada por Stemmer, 1995. Os cavacos apresentados são pequenos, os maiores apresentam tamanhos aproximadamente de 50 µm x 12 µm. Tais características são condizentes com cavacos oriundos de processo de retificação de acabamento, ou seja, os cavacos não indicam qualquer tipo de problema no processo de usinagem. Não é possível estabelecer uma correlação entre a análise dos cavacos com parâmetros do processo, uma vez que os cavacos foram coletados ao final do experimento planejado conforme o método de

Taguchi, ou seja, cavacos de todos os ensaios estavam misturados no óleo de refrigeração.

Já para a caracterização do defeito recorrente, foram segregados dois corpos com o defeito recorrente após o processo em série de retificação da sede. As imagens realizadas através do MEV para a caracterização da morfologia do defeito recorrente podem ser visualizadas na Figura 54.



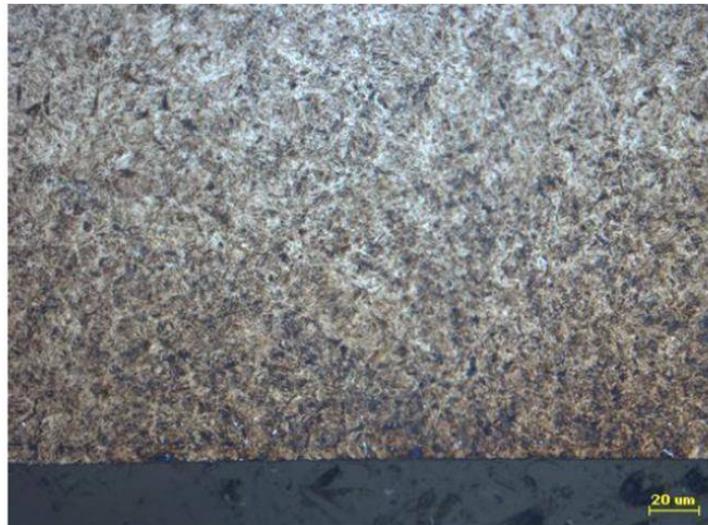
**Figura 54 - Imagens da sede de um corpo com o defeito recorrente obtidas através do MEV**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

Ao analisar as imagens, visualiza-se que ambas as peças estão com acabamento ruim na superfície da sede. Verifica-se, em especial, um acabamento ruim na terceira parte da sede na região indicada com o número 1 na Figura 55. Nesta região, verifica-se que o sulcamento, ou do inglês: *plowing*, do material pelos grãos abrasivos do rebolo não foi bem realizado, deixando sulcos não uniformes com levantamento de material significativo produzido por deformação plástica em suas bordas, o que significa um corte não adequado do material pelos grãos do rebolo (Shaw, 1996). Ao se analisar as imagens com 2500x de ampliação comparando-se a região 1 com a região 2, torna-se evidente também a diferença em termos de qualidade do sulcamento do material e conseqüentemente da rugosidade nestas regiões, sendo que a região 1 apresenta um acabamento pior em relação a região 2.

Desta forma, fica caracterizado através da utilização do MEV que na terceira porção da sede há uma morfologia que indica que nesta região a retificação do material não ocorreu de forma adequada.

Após, com o objetivo de se verificar um possível superaquecimento na sede durante a retificação, foram obtidas imagens metalográficas de uma amostra com o

defeito característico e de outra sem o mesmo na região adjacente à terceira parte da sede. As imagens realizadas podem ser visualizadas nas Figuras 55 e 56.



**Figura 55 - Análise metalográfica na terceira parte da sede (ampliação de 500x, ataque com Nital 2%) de um corpo retificado sem o defeito recorrente**

**Fonte: Empresa parceira deste projeto**



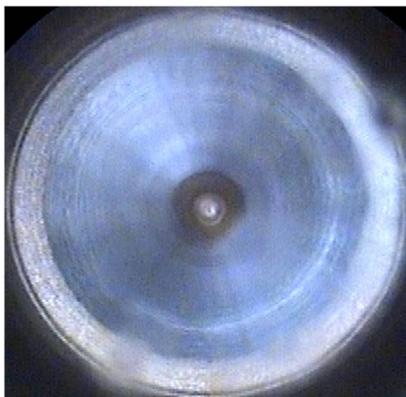
**Figura 56 - Análise metalográfica na terceira parte da sede (ampliação de 500x, ataque com Nital 2%) de um corpo retificado com o defeito recorrente**

**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

Ao comparar as duas imagens metalográficas obtidas, é possível concluir que não houve superaquecimento nesta região durante a retificação da amostra com o defeito recorrente, pois verifica-se que não há, em ambas as Figuras 55 e 56, características de queima e retêmpera, ou seja, não há mudança de coloração próxima à superfície e uma camada escura próxima à superfície que evidencie este defeito no material daquela área. Para comparação direta, foi mostrada na Figura 17 no capítulo 2 uma imagem metalográfica de uma amostra de bico injetor Diesel geração EURO5 com queima (em outra região retificada).

#### **4.2 Avaliação da topografia 2D das amostras obtidas**

O primeiro exame realizado nas amostras obtidas no ensaio conforme o método de Taguchi foi o exame visual da região retificada utilizando-se o endoscópio industrial. As 360 amostras obtidas foram analisadas por um operador experiente devidamente orientado quanto às informações básicas deste estudo e quanto aos critérios da produção em série dos bicos injetores. Não foram detectadas quaisquer características consideradas anômalas quanto ao aspecto visual da superfície retificada em nenhuma das amostras. Na Figura 57 é mostrada a imagem da sede da amostra MV.R5.a5 para exemplificação, algumas manchas claras aparentes se devem a um pequeno defeito no endoscópio.



**Figura 57 - Imagem da sede da amostra MV.R5.a5 obtida utilizando-se um endoscópio industrial**

**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

Em seguida as amostras foram avaliadas quanto a topografia 2D da sede. Três medições foram realizadas para cada amostra conforme anteriormente descrito. As tabelas com todos os valores obtidos para os parâmetros Rmax, Rz, Pt e Wt de cada amostra estão disponíveis no Apêndice 1. Apenas uma tabela, devido ao seu tamanho, com os dados correspondentes ao ensaio 1, motor “velho” do experimento é mostrada na Tabela 11 para exemplificação. A linha de cor verde indica a amostra com o menor valor de Pt deste ensaio e linha de cor alaranjada indica a amostra com maior valor de Pt, a diferença grande entre estas amostras para os parâmetros Pt e Wt se deve a provável presença do defeito recorrente em uma e a não ocorrência deste na outra. Esta tabela mostra as três medições realizadas para cada uma das vinte amostras fabricadas no ensaio 1 com o fator de ruído do experimento. A mesma também mostra os valores de média, desvio padrão, máximo e mínimo de cada parâmetro de topografia 2D neste ensaio.

Nas amostras foi possível reproduzir o defeito recorrente do processo. Foi possível também observar que este defeito ocorre de fato na maioria das vezes na terceira porção da sede, porém, o mesmo também ocorre com frequência muito menor em posições diferentes da sede do corpo dos bicos injetores.

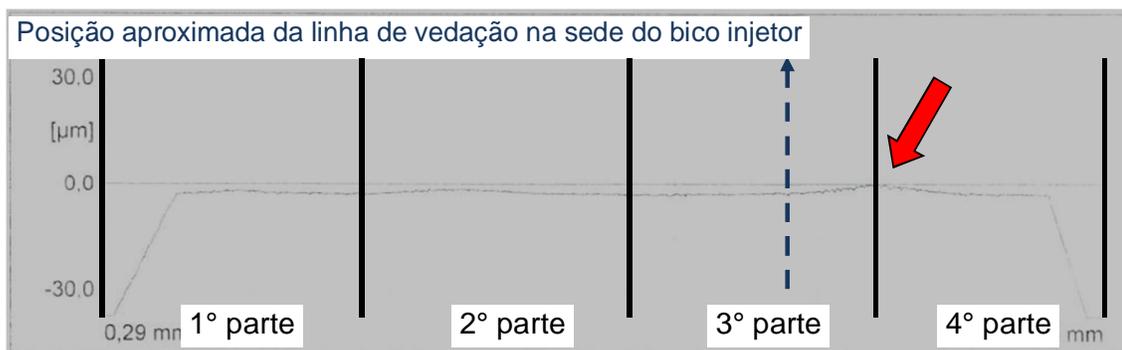
Como exemplo significativo utilizou-se a amostra MV.R5.a13.APt, esta amostra apresentou  $Pt = 3,40 \mu\text{m}$  e  $Wt = 1,95 \mu\text{m}$ , o gráfico com o seu perfil primário (sem filtro e sem uso de cutt-off) é mostrado na Figura 58 e o gráfico do perfil de ondulação (perfil W) é ilustrado pela Figura 59. Nestas Figuras é identificada a posição da linha de vedação conforme definido no Capítulo 1 e identificado nas Figuras 2, 4 e 6. Esta mesma amostra será utilizada na caracterização da superfície da sede utilizando a análise topográfica 3D.

**Tabela 11 - Valores dos parâmetros de topografia 2D Rmax, Rz, Pt e Wt ( $\mu\text{m}$ ) da sede do corpo para o motor "velho", ensaio 1 (DesvPad = Desvio padrão dos valores obtidos)**

<b>Motor "velho" - Ensaio 1</b>																			
<b>Rmax</b>					<b>Rz</b>					<b>Pt</b>					<b>Wt</b>				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,70	0,66	0,68	0,68	1	0,55	0,57	0,53	0,55	1	1,19	1,47	1,29	1,32	1	0,63	0,87	0,69	0,73
2	0,72	0,71	0,60	0,68	2	0,57	0,58	0,55	0,56	2	1,24	1,24	1,13	1,20	2	0,65	0,96	0,73	0,78
3	0,70	0,78	0,71	0,73	3	0,59	0,56	0,54	0,57	3	1,41	1,60	1,52	1,51	3	0,75	0,84	0,84	0,81
4	0,62	0,71	0,65	0,66	4	0,53	0,63	0,58	0,58	4	1,21	1,14	1,13	1,16	4	0,71	0,77	0,82	0,76
5	0,81	0,80	0,83	0,81	5	0,59	0,59	0,56	0,58	5	1,87	1,64	1,35	1,62	5	0,81	1,00	0,84	0,88
6	0,93	0,91	0,83	0,89	6	0,60	0,64	0,60	0,61	6	1,52	1,25	1,39	1,39	6	0,89	0,87	0,76	0,84
7	0,80	0,87	0,88	0,85	7	0,65	0,55	0,64	0,61	7	1,33	1,77	1,82	1,64	7	0,76	0,92	0,87	0,85
8	0,90	0,75	0,71	0,79	8	0,66	0,62	0,60	0,63	8	1,43	1,52	1,27	1,41	8	0,77	0,79	0,88	0,81
9	0,60	0,49	0,66	0,58	9	0,51	0,42	0,55	0,49	9	2,65	2,41	2,46	2,50	9	1,53	1,55	1,61	1,56
10	0,65	0,66	0,64	0,65	10	0,56	0,60	0,54	0,56	10	2,83	2,67	2,38	2,62	10	1,71	1,64	1,51	1,62
11	0,80	0,66	0,63	0,70	11	0,67	0,51	0,52	0,57	11	2,65	2,47	2,44	2,52	11	1,64	1,55	2,19	1,79
12	0,71	0,70	0,66	0,69	12	0,59	0,57	0,52	0,56	12	2,78	2,65	2,68	2,70	12	1,62	1,80	1,51	1,64
13	0,88	0,59	0,67	0,71	13	0,65	0,55	0,54	0,58	13	2,60	2,51	2,53	2,55	13	1,63	1,64	1,57	1,61
14	0,61	0,65	0,67	0,65	14	0,54	0,57	0,49	0,53	14	2,64	2,48	2,57	2,56	14	1,65	1,69	1,59	1,64
15	0,67	0,59	0,87	0,71	15	0,58	0,50	0,62	0,57	15	2,72	2,90	2,40	2,67	15	1,71	1,68	1,59	1,66
16	0,64	0,72	0,78	0,71	16	0,56	0,59	0,52	0,56	16	2,54	2,36	2,51	2,47	16	2,14	1,60	1,62	1,79
17	0,74	0,79	0,73	0,75	17	0,60	0,57	0,58	0,58	17	1,81	1,72	1,69	1,74	17	1,19	1,17	1,37	1,25
18	0,84	0,82	0,77	0,81	18	0,62	0,63	0,60	0,62	18	1,69	1,58	1,48	1,58	18	1,16	1,16	1,04	1,12
19	0,83	0,77	0,78	0,79	19	0,62	0,66	0,60	0,63	19	1,88	1,86	1,87	1,87	19	1,17	1,22	1,17	1,19
20	0,79	0,69	0,76	0,75	20	0,66	0,56	0,63	0,62	20	1,89	1,82	1,84	1,85	20	1,30	1,07	1,13	1,17
<b>Média</b>	<b>0,73</b>			<b>0,73</b>	<b>Média</b>	<b>0,58</b>			<b>0,58</b>	<b>Média</b>	<b>1,94</b>			<b>1,94</b>	<b>Média</b>	<b>1,23</b>			<b>1,23</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,09</b>			<b>0,08</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,05</b>			<b>0,03</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,56</b>			<b>0,56</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,41</b>			<b>0,40</b>
<b>Máximo</b>	<b>0,93</b>			<b>0,89</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,67</b>			<b>0,63</b>	<b>Máximo</b>	<b>2,90</b>			<b>2,70</b>	<b>Máximo</b>	<b>2,19</b>			<b>1,79</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,49</b>			<b>0,58</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,42</b>			<b>0,49</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1,13</b>			<b>1,16</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,63</b>			<b>0,73</b>



**Figura 58 - Perfil topográfico primário da amostra MV.R5.a13.APt**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**



**Figura 59 - Perfil de ondulação (perfil W) amostra MV.R5.a13.APt**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

Como é possível visualizar nestas Figuras, o defeito característico foi gerado na superfície retificada das amostras. Ainda que o mesmo esteja ligeiramente deslocado para a direita no gráfico em relação à linha de vedação, ele está evidentemente presente. Ao comparar a Figura 58 com a Figura 6 apresentada no Capítulo 1, isto se torna claro.

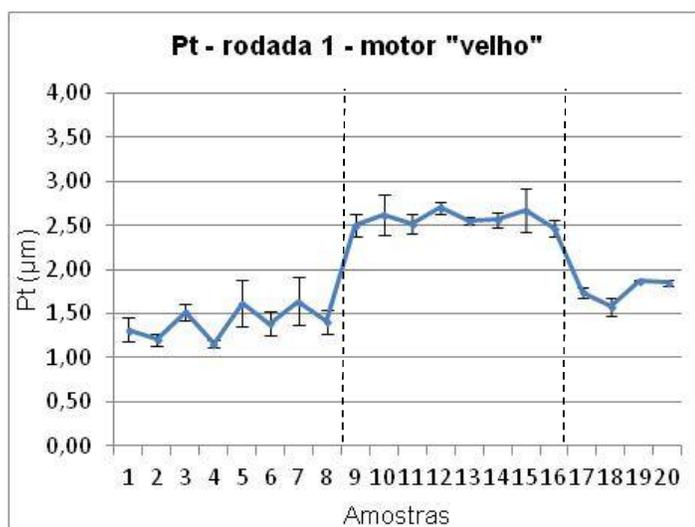
Ao analisar os valores do parâmetro primário Pt e do parâmetro de ondulação Wt obtidos, foi possível observar que de fato o fator de ruído escolhido: motor novo e motor “velho” de acionamento do dressador tem muita influência na topografia da superfície. Como é mostrado na Tabela 12, há uma grande diferença para a média e o desvio padrão dos valores médios de cada para estes parâmetros comparando-se as amostras fabricadas com e sem o fator de ruído, sendo que o desvio padrão das

amostras com o fator de ruído é aproximadamente duas vezes maior das fabricadas sem o mesmo. Este comportamento já era esperado.

**Tabela 12 - Comparação da média e desvio padrão de todas as amostras fabricadas com e sem o fator de ruído para os valores dos parâmetros Pt e Wt**

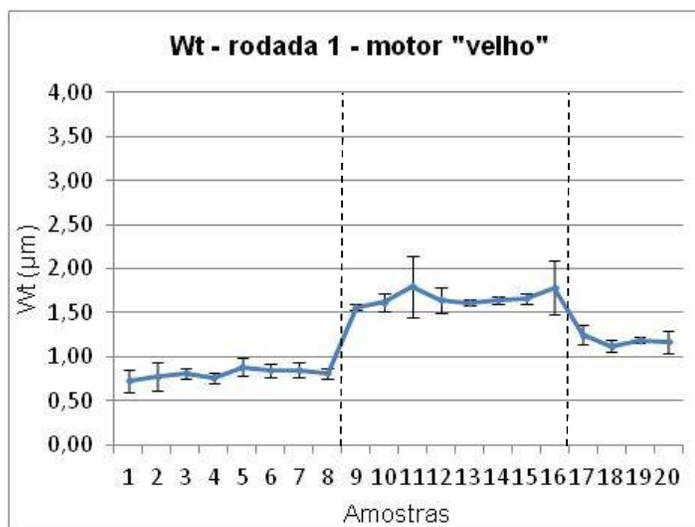
	Pt ( $\mu\text{m}$ )		Wt ( $\mu\text{m}$ )	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
<b>Motor novo</b>	1,34	0,27	0,66	0,21
<b>Motor velho</b>	1,62	0,56	0,89	0,40
<b>Diferença (%)</b>	17,5%	52,1%	25,1%	47,5%

Outra importante conclusão através da análise dos resultados dos parâmetros topográficos 2D Pt e Wt foi obtida ao analisar os gráficos de valores destes parâmetros, um gráfico de cada parâmetro foi selecionado como exemplo significativo. Estes são mostrados nas Figuras 60 e 61.



**Figura 60 - Valores do parâmetro primário Pt das amostras do ensaio 1 com motor do dressador "velho" (média das três medições realizadas para cada amostra)**

Fonte: Autoria própria



**Figura 61 - Valores do parâmetro de ondulação Wt das amostras do ensaio 1 com motor do dressador "velho" (média das três medições realizadas para cada amostra)**

**Fonte: Autoria própria**

Ao analisar as Figuras 60 e 61, torna-se evidente que há uma grande variação na média destes dois parâmetros topográficos entre as amostras produzidas em cada intervalo de dressagem, sendo que, como informado na seção materiais e métodos a frequência de dressagem é uma a cada oito peças produzidas. Outra informação importante obtida ao analisar o perfil topográfico 2D das amostras produzidas é que todas as peças identificadas com o defeito característico em todas os ensaios situavam-se em intervalos de dressagem com esta grande variação de média nos parâmetros Pt e Wt. Desta forma, é possível afirmar que fenômeno causador de amostras com topografia irregular da sede, em especial amostras com o defeito característico na terceira parte da sede, ocorre no processo de dressagem do rebolo e não no processo de retificação das peças.

Outra importante conclusão obtida através da medição de topografia 2D das amostras é que esta variação grande da média dos valores dos parâmetros Pt e Wt entre dressagens, ocorreu em 5 dos 9 ensaios realizados com motor do dressador "velho" e apenas em 1 nos 9 ensaios realizadas com o motor do dressador novo (isto pode ser visualizado na Tabela 17). Desta forma, mais uma vez comprova-se que o motor do dressador influencia bastante o processo de dressagem e a consequente topografia ruim da sede das amostras fabricadas.

Desta forma, através destes resultados, é possível que algo não ocorra de maneira adequada na dressagem de forma aleatória, como por exemplo, a ocorrência durante a dressagem de vibrações excessivas ou até mesmo ressonância (quando a frequência de vibração do sistema atinge valores próximos da frequência natural de vibração do mesmo) no sistema de dressagem ou no sistema de fixação do rebolo. Este comportamento pode, de forma análoga, ocorrer em outros processos de retificação, dependendo da intensidade aplicada no processo de dressagem. De forma genérica, como concluiu Huang (2001), dressagens com menor intensidade (forças menores envolvidas e volume menor de material removido no rebolo) são indicadas para retificação de acabamento fino, uma vez que são geradas muitas arestas de microcorte nos grãos do rebolo e dressagens de maior intensidade são indicadas para retificações mais grosseiras. Esta intensidade da dressagem tem relação direta com possíveis vibrações no processo.

#### 4.3 Análise do processo para topografia 2D utilizando o método de Taguchi

Nesta etapa, os dados obtidos nas três medições de topografia 2D em cada uma das 360 amostras (20 amostras em cada um dos 18 ensaios, sendo 9 sem o fator de ruído e 9 com o mesmo) foram analisados conforme o método de Taguchi, do tipo “menor melhor”, utilizando o *software* Minitab 17, de forma a obter-se os valores da relação sinal/ruído ou do inglês S/N (*signal/noise*), que relaciona os parâmetros do processo analisados nos níveis novamente mostrados na Tabela 13 (para facilitar a leitura) com os parâmetros de topografia 2D Pt e Wt.

Da mesma forma, para se comprovar os resultados obtidos, calcularam-se, também utilizando o *software* Minitab 17, os valores da análise de variância (ANOVA) necessários para a mesma correlação. Os respectivos gráficos obtidos são mostrados nas Figuras 62, 63, 64 e 65, os níveis ótimos são indicados por elipses.

**Tabela 13 - Parâmetros e seus níveis de variação avaliados conforme método de Taguchi**

Níveis de variação	A-Centelhamento (s)	B-Velocidade oscilação rebolo (mm/min)	C-Profundidade de material removido (mm)	D-Velocidade de dressagem (mm/min)
1	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
2	Médio	Médio	Médio	Médio
3	Alto	Alto	Alto	Alto

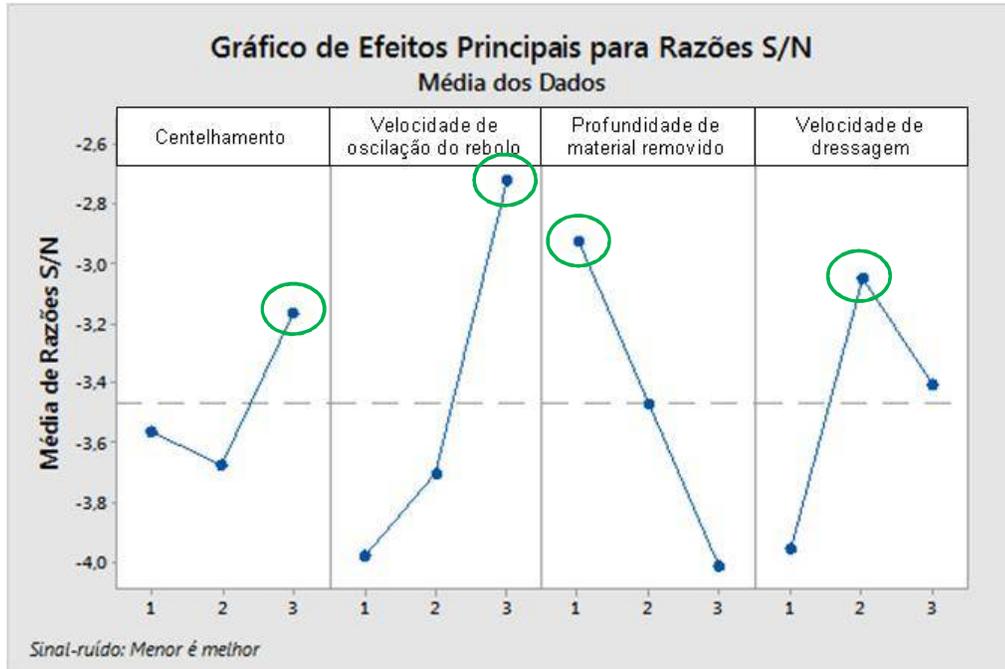


Figura 62 - Valores de S/N da relação dos parâmetros do processo com parâmetro primário 2D Pt

Fonte: Autoria própria

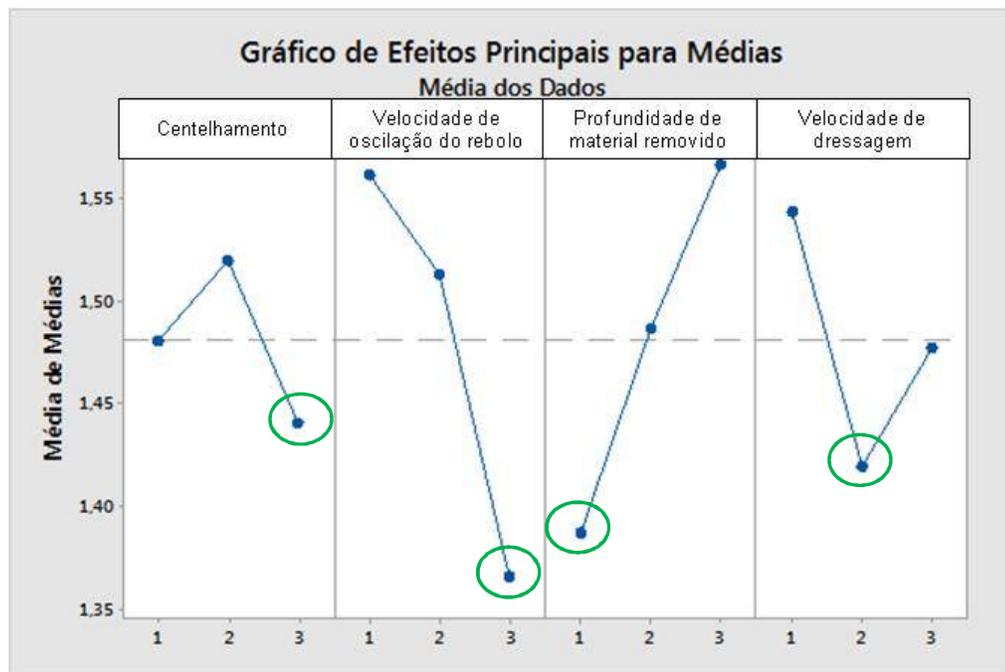


Figura 63 - Valores de análise de variância para a média dos valores do parâmetro primário 2D Pt

Fonte: Autoria própria

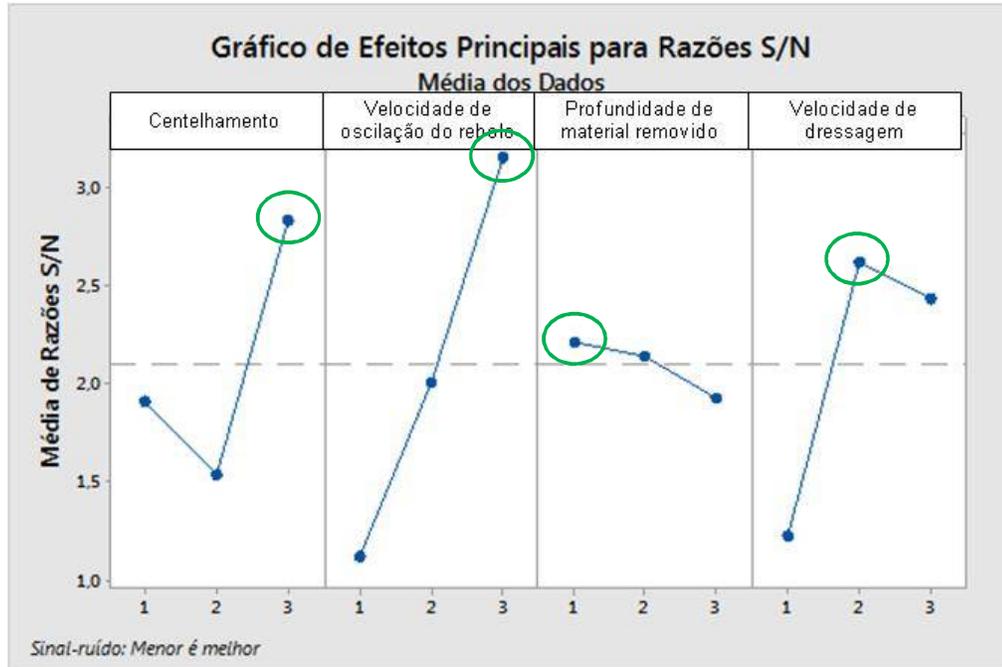


Figura 64 - Valores de S/N da relação dos parâmetros do processo com parâmetro de ondulação 2D Wt

Fonte: Autoria própria

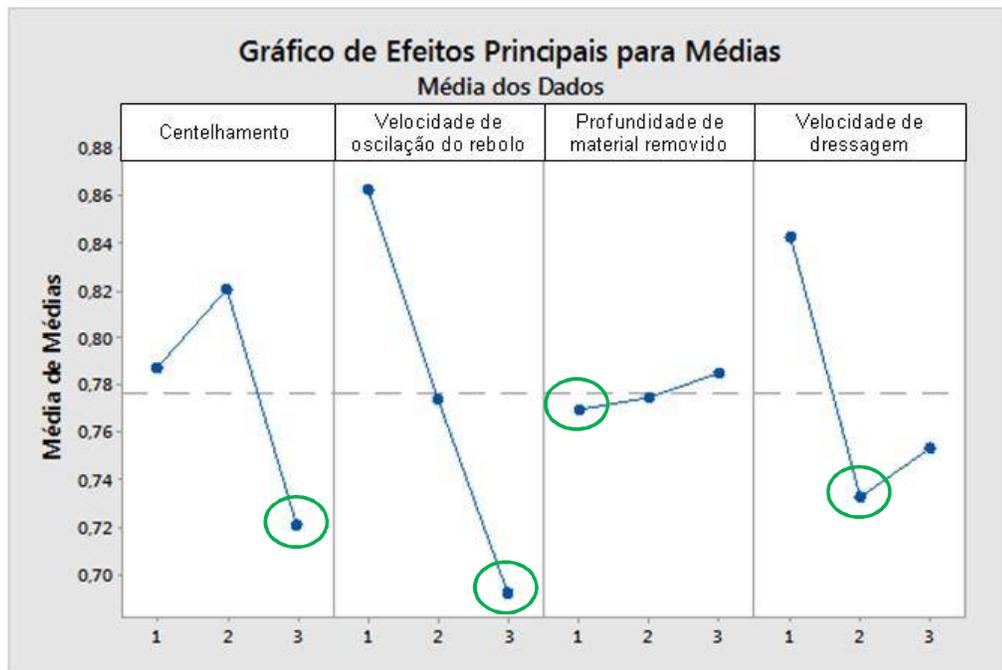


Figura 65 - Valores de análise de variância para a média dos valores do parâmetro de ondulação 2D Wt

Fonte: Autoria própria

Os resultados obtidos através do método de Taguchi e análise de variância (ANOVA) indicam níveis ótimos para os parâmetros do processo de retificação para a obtenção da melhor topografia da superfície representada pelos parâmetros Pt e Wt. É importante citar que estes níveis ótimos não são os mesmos utilizados na produção em série dos bicos injetores EURO5 hoje na empresa parceira deste estudo para dois dos quatro parâmetros avaliados, ou seja, o processo ainda poderá ser melhorado utilizando-se os parâmetros ótimos por este estudo indicados. Os parâmetros ótimos indicados são mostrados na Tabela 14.

**Tabela 14 - Níveis ótimos para os parâmetros de processo avaliados no experimento**

A- Tempo de centelhamento (s)	B - Velocidade de oscilação do rebolo (mm/min)	C - Profundidade de material removido (mm)	D - Velocidade de dressagem (mm/min)
Alto	Alto	Baixo	Médio

O resultado para o tempo de centelhamento igual ao maior nível avaliado como ótimo era esperado, uma vez que um maior tempo para a remoção de grãos soltos do rebolo e cavacos da região de retificação, permitindo uma finalização adequada da superfície retificada com somente grãos ainda presos ao rebolo é benéfico à topografia da superfície retificada. Também é possível verificar que o tempo de centelhamento tem efeito um pouco mais pronunciado para o parâmetro de ondulação 2D Wt do que o parâmetro primário Pt, isto é evidenciado pela maior inclinação das retas que unem os pontos nas respectivas Figuras 62 a 65.

Em relação à velocidade de oscilação do rebolo, verifica-se que o mesmo tem grande influência em ambos os parâmetros de topografia avaliados, pois a inclinação das retas nos respectivos gráficos para este parâmetro de processo mostrou-se muito grande. O maior nível avaliado mostrou-se o melhor resultado, com menor média e desvio padrão para a topografia avaliada, este nível não é o valor utilizado atualmente no processo de retificação dos bicos injetores. Ao analisar os gráficos, é possível dizer que um valor ainda maior que o avaliado possa resultar em resultados ainda melhores para a topografia superficial.

O nível ótimo para a profundidade de material removido foi encontrado como o valor de menor nível, o que vai ao encontro com a literatura disponível sobre

retificação, ou seja, quanto menor a quantidade de material removido tende-se a um processo de retificação mais fino, com menor esforço envolvido, geração de cavacos menores e menos espessos e conseqüentemente uma melhor topografia superficial obtida. É importante citar que no processo de fabricação em série dos corpos dos bicos injetores há um limite inferior prático para a remoção de material, este leva em consideração a variação dos processos de usinagem de geometria definida anteriores a retificação da sede. Desta forma, valores ainda menores não seriam indicados.

Outro fato observado é que a profundidade de material removido tem grande efeito no parâmetro de primário Pt, porém um efeito muito menos pronunciado no parâmetro Wt. Da mesma forma, quando se avalia a inclinação das retas nos gráficos, ou seja, as variações entre níveis deste parâmetro de processo geram muito mais picos e vales agudos na topografia e pouca variação de ondulação. Isto se deve ao fato de que a variação da ondulação da superfície depende muito mais da correta dressagem e do conseqüente perfil gerado. Porém, de forma oposta, o parâmetro Pt depende fortemente do correto sulcamento do material por cada grão ativo do rebolo, o que por sua vez é fortemente impactado pela quantidade de material a ser removida. Assim, quando maior a quantidade de material a ser retificada, mais material se tem para cada grão do rebolo cortar e menor é a qualidade do corte realizado.

A análise para a velocidade de dressagem mostrou que o valor central é o mais adequado. Porém, ainda sim, estima-se ser possível realizar alguma pequena otimização avaliando-se valores em um campo pequeno entre o valor mínimo e o médio, ou seja, uma avaliação quanto a uma possível pequena melhoria variando-se pouco este parâmetro nesta faixa, esta análise não foi feita neste estudo. Tornou-se claro através dos gráficos para este parâmetro de processo que valores menores têm grande efeito negativo na topografia, enquanto valores acima do valor médio geram também uma topografia maior, porém sem um aumento pronunciado. Isto é verificado pela inclinação das retas que unem os pontos dos resultados de  $S/N$  para o valor baixo e o valor médio (maior inclinação) e o valor médio e o valor alto (menor inclinação) respectivamente.

#### 4.4 Avaliação da rugosidade 3D da superfície retificada

Inicialmente, buscou-se aferir que a superfície da sede das amostras obtidas possuía distribuição gaussiana de alturas de asperezas e característica topográfica anisotrópica (característica direcional devido ao corte do material realizado pelo rebolo), além de aferir sobre a variabilidade de seus valores médios. Para isto utilizou-se resultados dos parâmetros  $S_q$ ,  $S_{sk}$ ,  $S_{ku}$  e  $S_{tr}$  conforme mostrado na Tabela 15.

**Tabela 15 – Valores médios para os parâmetros  $S_q$ ,  $S_{sk}$ ,  $S_{ku}$  e  $S_{tr}$  das amostras com e sem o defeito recorrente**

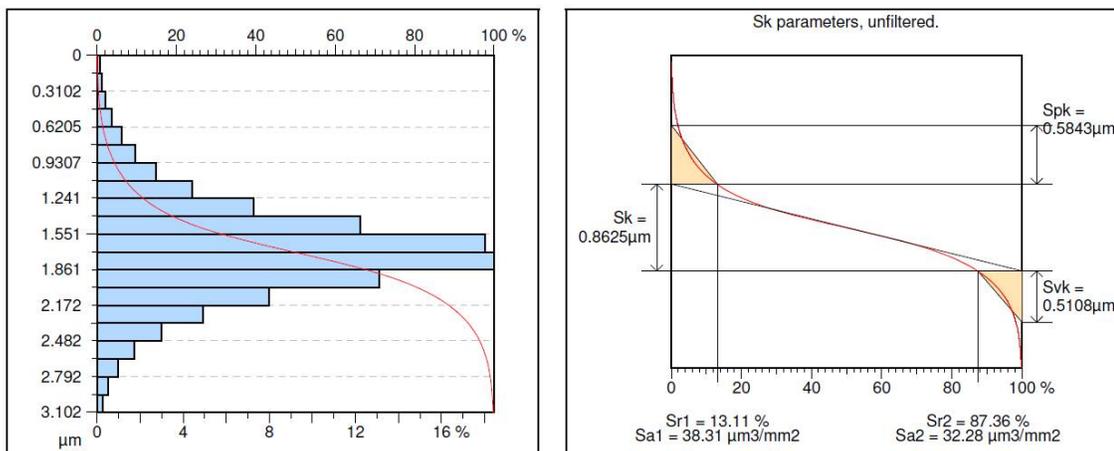
		$S_q$	$S_{sk}$	$S_{ku}$	$S_{tr}$
<b>Com defeito recorrente</b>	Média e desvio padrão	$0,50 \pm 0,05$	$0,2 \pm 0,1$	$3,6 \pm 0,4$	$0,1 \pm 0,1$
<b>Sem defeito recorrente</b>	Média e desvio padrão	$0,45 \pm 0,01$	$0,19 \pm 0,07$	$3,8 \pm 0,2$	$0,086 \pm 0,009$

Em primeiro lugar, observa-se a variação para as superfícies analisadas com defeito característico foram maiores do que àquelas sem o mesmo. Isto implica que a variabilidade do processo é bem controlada quando o defeito não está presente, enquanto que este controle é relativamente perdido quando o defeito se encontra presente.

Pintaude *et al* (2013) verificaram variações no parâmetro  $S_q$  para um mesmo lote de amostras de aço de duas a três vezes em relação ao parâmetro  $S_q$ . Comparando-se a este trabalho, pode-se afirmar que a variação no valor de rugosidade média nas regiões com e sem defeito característico é insignificativa, pois os valores médios são estatisticamente semelhantes.

Da mesma forma que a consideração feita para o parâmetro  $S_q$ , os demais parâmetros de amplitude avaliados, com vistas a verificar a distribuição de alturas,  $S_{ku}$  e  $S_{sk}$ , possuem coeficiente de variação relativamente baixo e pouca diferença entre as áreas medidas. Considerando ainda que para uma superfície com distribuição de alturas de asperezas gaussiana tem-se  $S_{sk} = 0$  (*Skewness*, assimetria da distribuição de alturas) e  $S_{ku} = 3$  (*Curtose*, simetria da distribuição de alturas) (Dong *et al*, 1994 e Pintaude *et al*, 2013), pode-se considerar que as superfícies analisadas no presente estudo são gaussianas, conforme mostra a Figura 66.

A Figura 67 é relativa à amostra MN.R8.a19.bPt. A medição no interferômetro forneceu o parâmetro  $S_{sk} = 0,11331$  (próximo de zero) e o parâmetro  $S_{ku} = 3,471$  (próximo a três) para esta amostra. Esta amostra apresentou o parâmetro  $Str = 0,1028$ , ou seja, menor que 0,3 e próximo de zero, o que indica uma superfície anisotrópica. O gráfico de análise de material e a curva de Abbott-Firestone, ambos obtidos para esta amostra, corroboram os resultados de  $S_{sk}$  e  $S_{ku}$  apresentados.

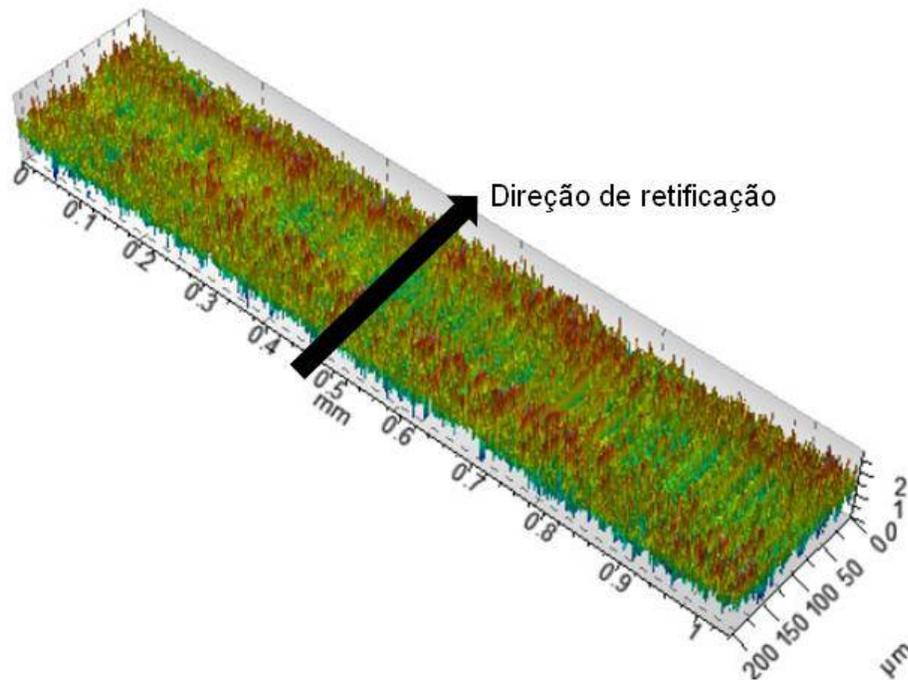


**Figura 66 - Curva de análise de material e gráfico de Abbott-Firestone da amostra MN.R8.a19.bPt (gráfico de parâmetros  $S_k$ )**

Fonte: UTFPR

Para melhor visualização da superfície analisada é mostrada a imagem 3D obtida da topografia da amostra na Figura 67.

Ao se avaliar a imagem de topografia 3D da Figura 68, torna-se mais uma vez evidente que se tem de uma superfície com características de retificação, ou seja, há uma anisotropia aparente no sentido de rotação do rebolo com caminhos definidos por onde os grãos do rebolo realizaram o sulcamento do material.



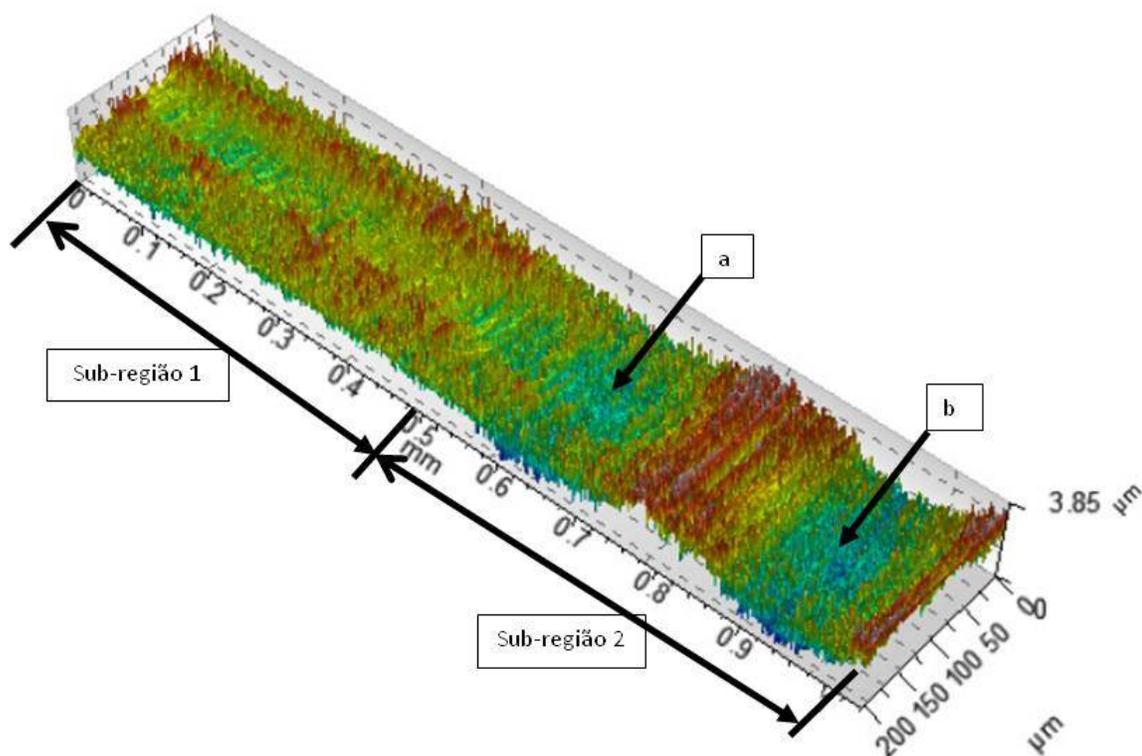
**Figura 67 - Imagem 3D de topografia da amostra MN.R8.a19.bPt**  
**Fonte: UTFPR**

Assim, verifica-se na Tabela 15 que as médias dos parâmetros mostrados apresentam valores relativamente próximos aos de referência citados, ou seja, pode-se afirmar que a superfície analisada da sede dos bicos injetores é uma superfície com distribuição de alturas aproximadamente gaussiana.

Com relação à anisotropia das superfícies, avaliada pelo parâmetro Str, outra realidade foi verificada. Chama-se atenção em primeiro lugar para a diferença nos valores de coeficiente de variação. Enquanto as superfícies sem o defeito característico apresentam variações menores que 10%, para aquelas com defeito este valor é de 100%. Portanto, a presença dos defeitos afeta em muito uma característica de superfície retificada, que é a anisotropia.

Se alguém considerar ainda que o parâmetro Str, com valores próximos ou superiores a 0,3 indicariam isotropia completa (Dong *et al*, 1994), em algum momento o valor de Str = 0,2 foi determinado, indicando uma significativa alteração quando da presença do defeito característico.

De fato, a amostra MV.R5.a13.APt apresentou Str até maior: 0,4, sendo que uma imagem desta superfície é apresentada para fins de comparação na Figura 68.



**Figura 68 – Imagem 3D de topografia da amostra com o defeito recorrente MV.R5.a13.APt**  
Fonte: UTFPR

Ao analisar a Figura 68 da amostra com o defeito recorrente verifica-se visível diferença de textura entre as regiões que cercam a ondulação e a região distante da mesma. Para caracterizar este fato, nesta mesma amostra, foram realizadas análises de topografia novamente, porém para duas sub-regiões separadas conforme posições indicadas na Figura 68 de tamanho 0,5 x 0,2 mm. Ao comparar os parâmetros obtidos para estas 2 regiões verificou-se que o parâmetro de textura Str apresentava valores muito distintos. Os valores destes parâmetros são apresentados na Tabela 16.

**Tabela 16 - Parâmetros Str para as duas sub-regiões analisada**

	<b>Str</b>
Sub-região 1	<b>0,08</b>
Sub-região 2	<b>0,43</b>
Diferença (%)	<b>82%</b>

Verifica-se na sub-região 2, um valor do parâmetro Str muito alto para uma superfície fortemente anisotrópica (Dong, Sullivan e Stout, 1994), assim evidenciando-se que o sulcamento realizado pelos grãos durante a retificação foi mal executado nas regiões adjacentes à esta ondulação, indicada por “a” e “b” na Figura 68, não garantindo uma direcionalidade bem definida no corte do material, assim elevando muito o valor de Str para a superfície analisada.

Em seguida, a análise de comparação entre as amostras com o sem o defeito recorrente relativo à variância dos valores medidos dentro de cada grupo necessitou ser realizada. Para apoiar esta análise utilizou-se um teste de igualdade do tipo F com 95% de confiança para as variâncias dos valores obtidos para os parâmetros conforme Tabela 15. Estas análises foram realizadas utilizando-se o *software* MiniTab17, os gráficos obtidos são mostrados no Apêndice 3.

O teste F para Ssk e Sku mostrou que as variâncias entre as amostras com e sem o defeito recorrente são significativamente iguais.

Já para o parâmetro Sq as variâncias mostraram-se significativamente diferentes no teste de igualdade do tipo F. Devido a sua essência quadrática, este parâmetro é mais suscetível às pequenas variações de rugosidade. Isto mostrou que amostras com o defeito recorrente possuem maior variação entre si do que as sem o defeito, ou seja, há maior variação no processo de retificação, em termos de rugosidade quando o fenômeno relativo ao defeito recorrente está presente.

Em relação ao parâmetro Str, o teste de igualdade do tipo F mostrou também que há diferença significativa entre as variâncias dos grupos com e sem defeito recorrente, assim evidenciando mais uma vez que as texturas das amostras com o defeito apresentam maior variação.

#### 4.5 Avaliação da topografia 3D das amostras retificadas

As amostras separadas para a avaliação de topografia 3D utilizando-se o interferômetro óptico conforme o critério de maior e menor Pt em cada ensaio do experimento são mostradas na Tabela 17. Infelizmente, para as peças de maior Pt sem o fator de ruído ocorreu um erro durante o corte das amostras e as mesmas foram inutilizadas. Sendo assim, separou-se a segunda peça com o maior valor de Pt de cada ensaio realizado com o motor do dressador novo, verificou-se que estes dois conjuntos de amostras possuíam valores de Pt e Wt muito parecidos. Nesta tabela também é descrito quais amostras apresentaram o defeito característico após análise do perfil primário 2D de cada amostra. Observa-se uma incidência maior de amostras com o defeito característico quando da utilização de motor do dressador no fim da vida útil (motor “velho” na Tabela 17) e é possível observar também que não ocorreu o defeito característico para amostras selecionadas com o Pt mais baixo em cada ensaio, o que faz sentido, uma vez que valores altos para os parâmetros Pt e Wt indicam alta probabilidade da presença do defeito característico e valores baixos normalmente são apresentados em peças que não possuem o defeito.

**Tabela 17 - Amostras avaliadas no interferômetro óptico**

	Motor novo				Motor “velho”			
	Baixo Pt		Alto Pt		Baixo Pt		Alto Pt	
	Amostra	Defeito recorrente?	Amostra	Defeito recorrente?	Amostra	Defeito recorrente?	Amostra	Defeito recorrente?
Ensaio 1	14	Não	20	Não	4	Não	12	Não
Ensaio 2	9	Não	7	Não	4	Não	9	Sim
Ensaio 3	6	Não	13	Não	2	Não	20	Sim
Ensaio 4	1	Não	14	Sim	17	Não	13	Sim
Ensaio 5	8	Não	17	Não	1	Não	13	Sim
Ensaio 6	7	Não	18	Não	5	Não	17	Não
Ensaio 7	17	Não	2	Não	15	Não	18	Não
Ensaio 8	19	Não	2	Não	3	Não	17	Sim
Ensaio 9	2	Não	11	Não	2	Não	9	Não

Objetivou-se diferenciar as amostras com (total de 6 peças) e sem o defeito recorrente (total de 30 peças) conforme mostrado na Tabela 17. Para tal propósito, realizou-se uma análise de variação de média e desvio padrão dos parâmetros de topografia obtidos comparando-se as amostras com e sem o defeito recorrente. Tais resultados completos para os parâmetros de rugosidade 3D estão disponíveis no

Apêndice 2. Os parâmetros Sq, Ssk, Sku e Str, essenciais à caracterização da superfície, foram discutidos na seção 4.4.

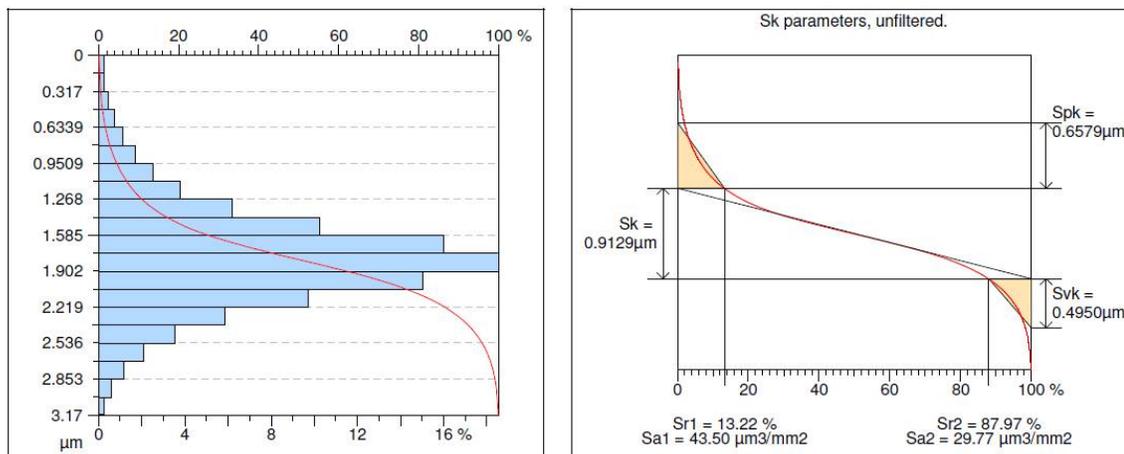
Assim, observou-se que os parâmetros de planeza, em especial FLTq, apresentaram contraste significativo conforme mostrado na Tabela 18.

**Tabela 18 - Parâmetros de planeza obtidos**

	FLTq			FLTv			FLTp			FLTt		
	Média	Desvio padrão	CV	Média	Desvio padrão	CV	Média	Desvio padrão	CV	Média	Desvio padrão	CV
<b>Amostras com o defeito recorrente</b>	0,22	0,09	<b>0,41</b>	0,7	0,2	0,29	0,8	0,3	0,38	1,4	0,5	0,36
<b>Amostras sem o defeito recorrente</b>	0,14	0,02	0,14	0,5	0,1	0,20	0,6	0,2	0,33	1,2	0,3	0,25
<b>Diferença entre as médias (%)</b>	<b>36%</b>			17%			19%			18%		
<b>CV = Coeficiente de variação (desvio/média)</b>												

Ao avaliar os dados da Tabela 18 torna-se evidente a diferença grande para os valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação para os parâmetros de planeza, em especial, o parâmetro FLTq, entre as amostras com o sem o defeito recorrente. Além disto, o parâmetro FLTq se mostrou mais estável que os demais, ou seja, o mesmo pode ser considerado mais confiável para a caracterização da superfície das amostras.

Em seguida, utilizou-se a amostra com o defeito recorrente MV.R5.a13.APt como representativa, esta seleção também considerou o fato desta amostra apresentar um valor de Str maior que as demais com o defeito recorrente, conforme apresentado na seção anterior. A Figura 69 mostra os gráficos de análise de curva do material e a curva de Abbott-Firestone desta amostra.



**Figura 69 - Curva de análise de material e gráfico de Abbott-Firestone da amostra MV.R5.a13.APt (gráfico de parâmetros Sk)**

Fonte: UTFPR

Verificando-se as curvas da Figura 69 e comparando-se com as curvas da amostra MN.R8.a19.bPt contidas na Figura 66 (utilizada na caracterização da seção anterior), evidencia-se que as mesmas são muito similares. Elas possuem características de superfície com distribuição de alturas Gaussianas, típicas de superfícies retificadas. Porém, quando se compara os parâmetros de planeza das amostras, em especial o parâmetro FLTq, conforme mostrado na Tabela 19, torna-se evidente uma grande diferença entre as mesmas em termos de planeza na superfície.

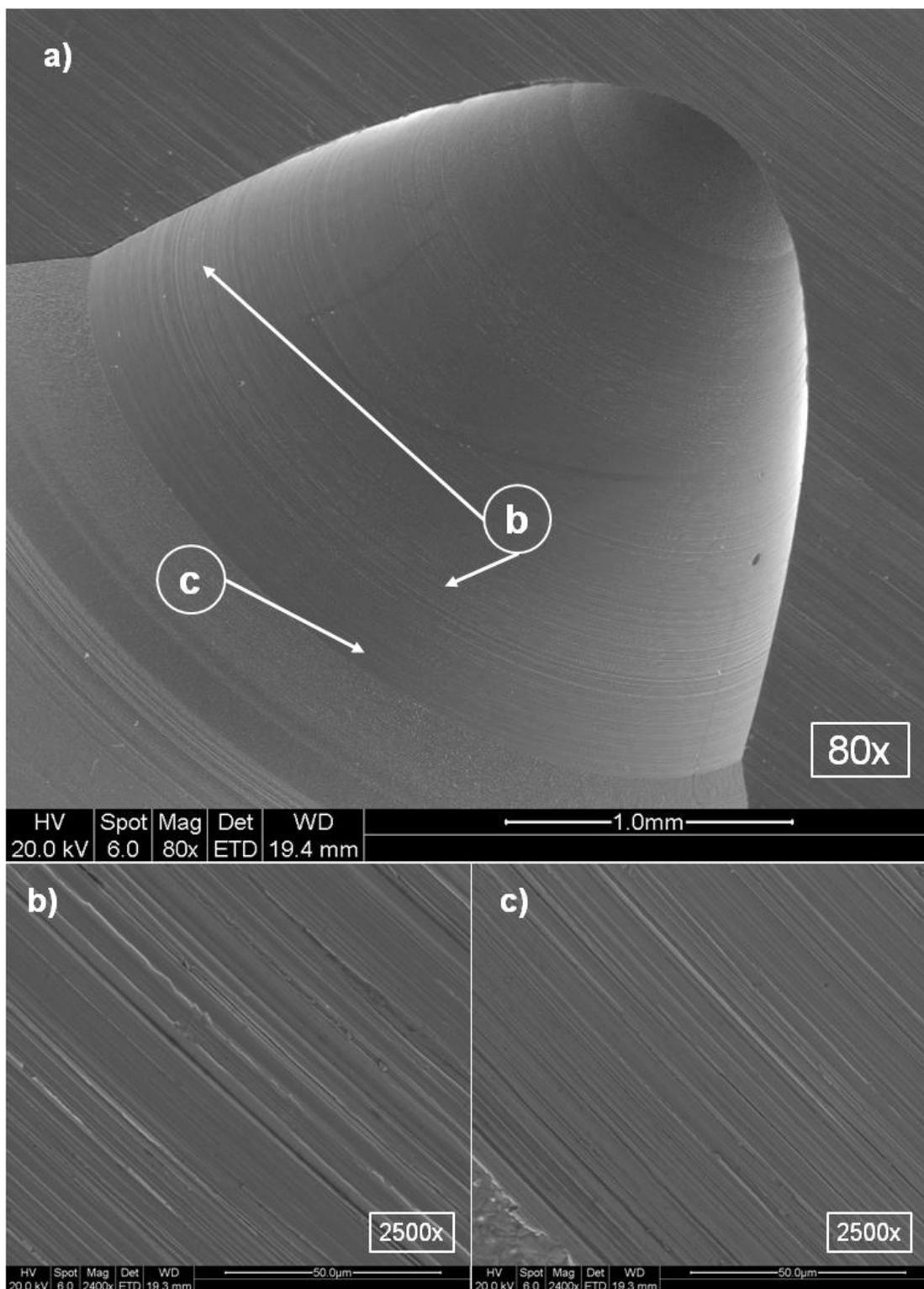
Isto é claramente visível quando se compara os gráficos de topografia 3D das mesmas conforme mostrado nas Figuras 67 e 68. Desta maneira, fica evidente que a amostra com o defeito recorrente apresenta uma ondulação aproximadamente na terceira porção da sede da mesma, ou seja, o defeito recorrente em estudo nesta dissertação é de fato uma ondulação na superfície e não um pico de rugosidade na topografia da mesma.

**Tabela 19 - Parâmetros de planeza para as duas amostras significativas com o sem o defeito recorrente**

	FLTq	FLTv	FLTp	FLTt
MV.R5.a13.Apt	<b>0,38</b>	0,99	1,3	2,3
MN.R8.a19.bPt	<b>0,12</b>	0,47	0,53	0,99
Diferença entre as médias(%)	<b>67%</b>	52%	60%	57%

Ao final, segregou-se a amostra significativa MV.R5.a13.APt na mesma condição na qual a peça foi analisada no interferômetro, e examinou-se visualmente a superfície retificada da sede utilizando-se o MEV para se comparar com os resultados obtidos nas medições de topografia 2D e 3D. As imagens obtidas são mostradas na Figura 70. Diferentemente do que foi realizado na caracterização inicial do defeito recorrente utilizando-se o MEV (conforme seção 4.1), no qual se posicionou a sede das amostras em um ângulo de 90° em relação ao detector do MEV, desta vez posicionou-se a amostra em ângulo aproximado de 45° (imagem superior da Figura 70), com o intuito de possibilitar a visualização simultânea da ondulação e o sulcamento deficiente nas adjacências, isto aproximadamente na terceira parte da sede da amostra.

Nas imagens é possível visualizar que de fato há diferença no acabamento superficial ou sulcamento adequado entre a posição aproximada da terceira porção da sede, indicada na posição “b”, e para as demais regiões, como por exemplo, a região indicada como “c”. Ao comparar diretamente as duas imagens com aumento igual de 2500x, é notável a diferença de rugosidade. Na imagem da posição “b” verificam-se mais variação no formato dos sulcos e mais material não uniformemente distribuído nas bordas de cada sulco, o que mais uma vez torna evidente o corte não idealmente realizado pelo rebolo nesta área. A ondulação pode ser visualizada de forma suave na imagem com aumento de 80x, uma vez que se trata de uma ondulação com aproximadamente 3 µm de altura, contudo na região mais próxima ao corte longitudinal realizado na amostra para tornar a sede aparente, conforme indicado pela seta na imagem com aumento de 80x, a ondulação torna-se mais visível.



**Figura 70 - Imagens da sede, obtidas através do MEV, da amostra MV.R5.a13.APt. a) Visão geral da sede com aplicação de 80x, b) Imagem ampliada da região b com aplicação de 2500x e c) Imagem ampliada da região c com aplicação de 2500x**

**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

Outro aspecto interessante é que regiões com melhor e pior acabamento se alternam na superfície da sede da amostra analisada, avaliando-se novamente a Figura 58 que contém o gráfico de topografia 2D desta amostra, verifica-se que isto aparece na forma de pequenas ondulações. Isto corrobora a hipótese proposta na subseção 4.2, ou seja, de que algum tipo de vibração esteja gerando processos de dressagens inadequados de forma aleatória. Porém, isto não se tornou absolutamente claro no gráfico de perfil de topografia 3D, conforme mostrado na Figura 68, isto se atribuí ao fato do comprimento da área de análise no interferômetro ser menor que o comprimento de análise da topografia 2D.

#### **4.6 Correlação entre a topografia da sede e a pressão de abertura**

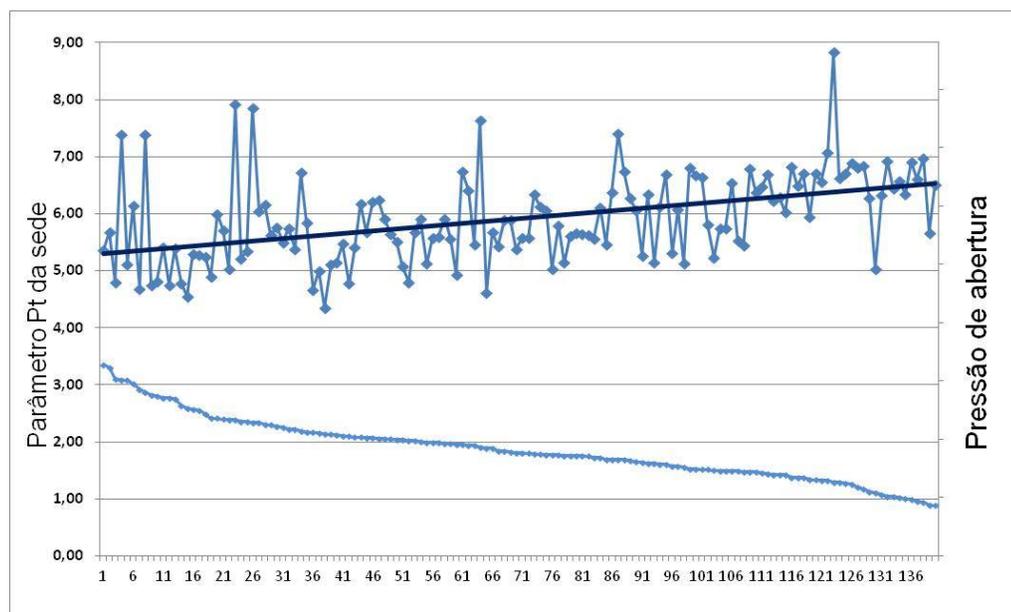
O correlacionamento entre a pressão de abertura dos bicos injetores Diesel geração EURO5 e a topografia da sede do corpo foi realizada para 150 amostras de forma a comprovar a importância da topografia superficial da sede para o comportamento funcional do bico injetor.

Foi revelado que, para os dados analisados, os parâmetros de rugosidade  $R_z$  e  $R_{max}$  têm pouca relação com a pressão de abertura, ou seja, não foi encontrada nenhuma correlação entre eles, por isto, estes resultados não são apresentados.

Porém para os parâmetros  $P_t$  e  $W_t$ , que representam a altura entre o maior pico e o vale mais profundo no perfil primário e a ondulação da superfície avaliada respectivamente, verificou-se o oposto, conforme mostrado nos gráficos das Figuras 71 e 72. Nestes gráficos têm-se os dois conjuntos de dados: pressão de abertura x  $P_t$  e pressão de abertura x  $W_t$  ordenados do maior para o menor em relação aos parâmetros. No gráfico da pressão de abertura foi adicionada uma linha de tendência por extrapolação linear calculada pelo *software* Excel para facilitar a visualização da tendência.

Ao avaliar estes gráficos observa-se que grandes ondulações, representadas por altos valores de  $W_t$  e grandes diferenças de altura entre o vale mais profundo e o pico mais alto, avaliadas pelo  $P_t$ , acabam por gerar uma pressão de abertura menor. Da mesma forma, superfícies menos onduladas e com picos e vales de menor tamanho contribuem para uma pressão de abertura maior. Isto ocorre, pois as variações na

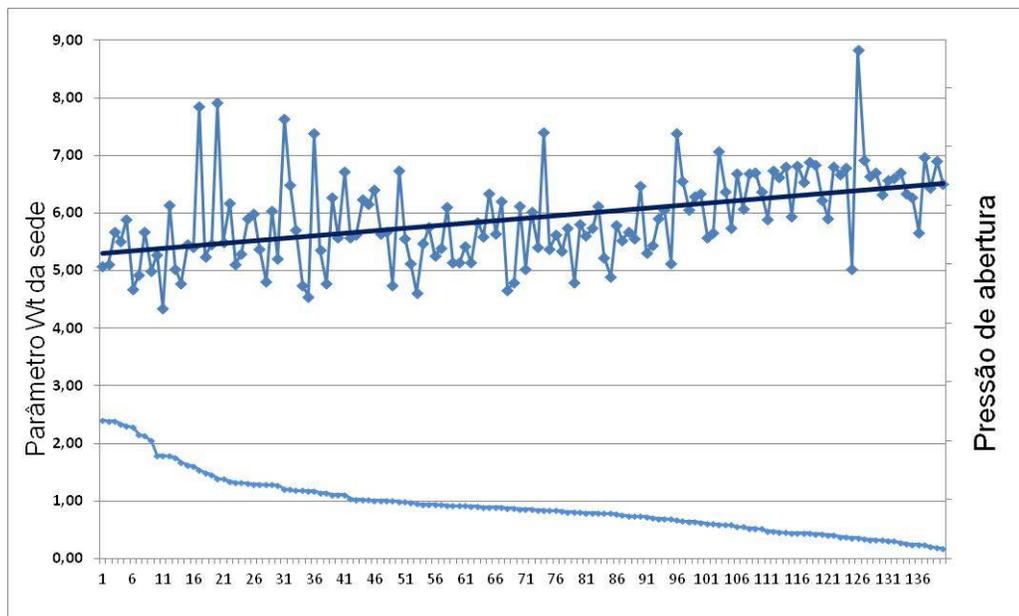
topografia da superfície, em especial na área de vedação entre o corpo e agulha conforme ilustrado na Figura 1, alteram o comportamento de vedação adequado desta região, o que por sua vez, modifica o valor obtido para a pressão de abertura.



**Figura 71 - Relação entre o parâmetro primário Pt ( $\mu\text{m}$ ) (curva inferior) e a pressão de abertura para as 150 amostras analisadas**

**Fonte: Autoria própria**

Assim, esclarece-se a importância da topografia da sede do corpo de bicos injetores Diesel geração EURO5, representada nesta análise de correlação através dos parâmetros Pt e Wt, para variação do parâmetro funcional pressão de abertura. Através da análise dos gráficos gerados é possível afirmar que há uma forte relação, aproximadamente linear, entre os parâmetros topográficos supracitados e o parâmetro funcional pressão de abertura.



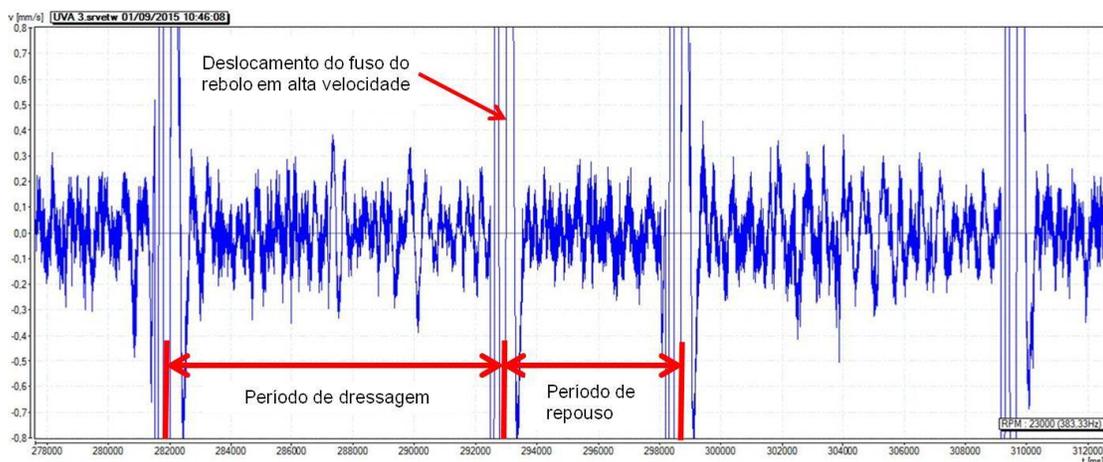
**Figura 72- Relação entre o parâmetro de ondulação Wt ( $\mu\text{m}$ ) (curva inferior) e a pressão de abertura para as 150 amostras analisadas**

**Fonte: Autoria própria**

#### **4.7 Teste adicional da causa do defeito recorrente**

Devido às informações obtidas que evidenciam que a causa do defeito recorrente se encontra no processo de dressagem e das evidências encontradas quanto à possibilidade de haver um problema de vibrações no processo, foi planejado e executado um ensaio adicional de vibrações durante uma sequência de dressagens. Aproximadamente 100 dressagens foram acompanhadas através da filmagem da tela do equipamento de controle de intensidade acústica (conforme foi ilustrado na Figura 27) e através da medição de vibrações em termos da amplitude utilizando o equipamento do fabricante *Prüftechnik*, modelo *VIBXpert II*.

Através dos gráficos de tempo (s) x amplitude (mm/s) obtidos comparou-se os períodos de dressagem e os períodos em repouso, ou seja, períodos no qual ocorreu a dressagem e períodos no qual o rebolo permaneceu rotacionando em uma posição distante do dressador. Um gráfico deste é mostrado na Figura 73.

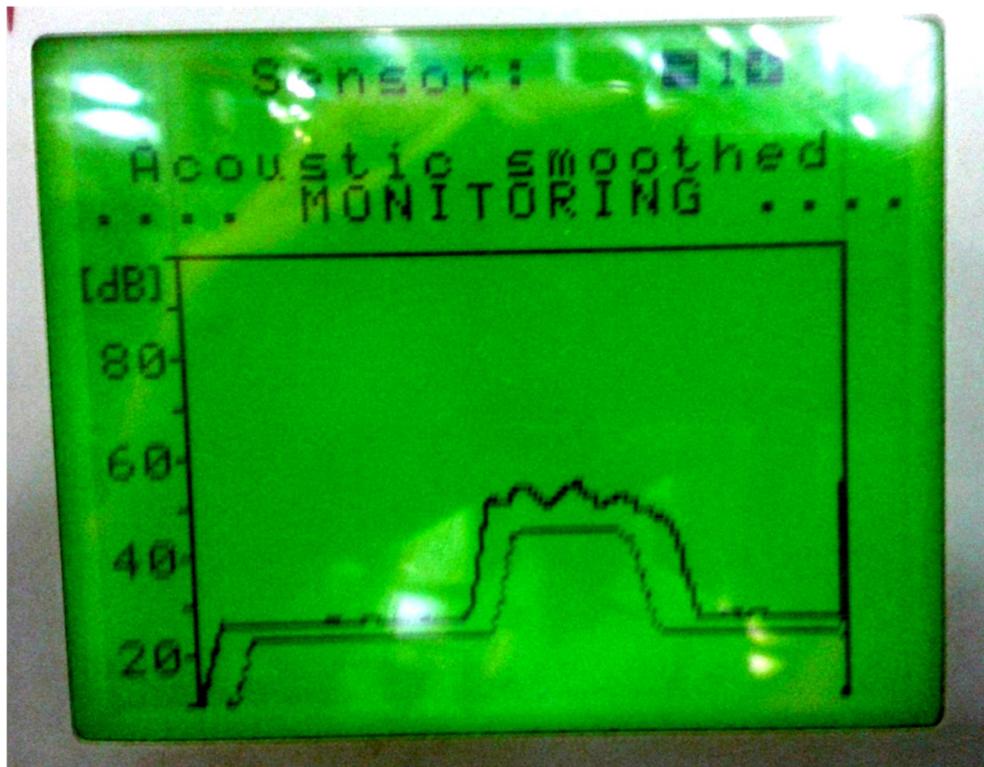


**Figura 73 – Gráfico da amplitude (mm/s) pelo tempo (s) mostrando um período completo de dressagem e repouso**

**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

Analisando os dados obtidos, não foi possível identificar diferenças significativas na amplitude das vibrações entre as dressagens e também entre os períodos de dressagem e os períodos de repouso. As amplitudes máximas observadas em todos os momentos de dressagem e repouso permaneceram muito similares em todo o ensaio. Observaram-se grandes amplitudes somente nos momentos de deslocamento em alta velocidade do fuso do rebolo entre as posições de dressagem e de repouso.

Os gráficos (dB x tempo) registrados na tela do equipamento de medição de intensidade acústica da máquina de retificação também não mostraram variações significativas. Um destes gráficos é ilustrado na Figura 74.



**Figura 74 – Intensidade sonora (dB) por tempo registrado durante ensaio**  
**Fonte: Empresa parceira deste projeto**

Desta forma, o ensaio adicional realizado não detectou variações em termos de vibrações (amplitude) e intensidade sonora durante as dressagens avaliadas.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 Conclusões

O defeito característico e recorrente na terceira parte da superfície retificada da sede dos bicos injetores Diesel geração EURO5 consiste em uma ondulação, não um pico na topografia da superfície. Este defeito gera altos valores para o parâmetro de planeza 3D FLTq. No arredor do defeito o corte ou sulcamento do material é feito de forma não adequada pelo rebolo durante o processo, o que gera uma superfície com textura mais isotrópica e sulcos disformes, o que não é adequado para uma superfície retificada.

O fenômeno causador do defeito recorrente do processo encontra-se no processo de dressagem. Grandes variações topográficas ocorreram na sede de corpos de bicos injetores retificados entre uma dressagem e outra de forma aleatória. Há maior incidência deste comportamento quando é utilizado motor de acionamento do dressador no fim da vida útil, sendo este o fator de ruído escolhido conforme método de Taguchi.

É possível indicar que vibrações ou até mesmo ressonância no sistema de dressagem (rebolo de retificação, dressador, seus respectivos fusos e acionamentos) tem alta probabilidade de gerar uma dressagem com pequenas vibrações que podem comprometer o perfil dressado do rebolo e conseqüentemente da peça retificada, desta forma gerando variações de ondulação na superfície da mesma. Um ensaio adicional de vibrações utilizando o dispositivo que capta a emissão acústica durante dressagem na máquina de retificação e um equipamento externo de medição de vibrações no domínio da amplitude não puderem detectar vibrações significativas em um ensaio com 100 dressagens realizadas.

Para a redução da incidência do defeito característico no processo sugere-se a modificação da distribuição de massa do sistema de dressagem e a modificação do ângulo de contato entre dressador e rebolo para que seja realizada uma dressagem de topo, ou seja, com um ângulo de 90° entre dressador e a superfície do rebolo. Estas

modificações visam reduzir a amplitude de possíveis vibrações durante a dressagem devido ao contato frontal entre rebolo e dressador.

O problema de vibração durante dressagem e as ações sugeridas podem ser estendidas a outros processos de retificação interna com ocorrências similares, inclusive neste mesmo processo estudado aplicado à outras gerações de bicos injetores. Vibrações excessivas representam um problema que pode acometer quaisquer outros processos de retificação, em especial os com pequenas dimensões e restrição de espaço.

A topografia da superfície da sede do corpo dos bicos injetores Diesel geração EURO5 possui impacto direto na variação do parâmetro funcional pressão de abertura deste produto. Existe uma relação aproximadamente linear e inversamente proporcional entre a pressão de abertura e os parâmetros de topografia 2D Pt e Wt.

Dentre os principais elementos do processo de retificação foco deste estudo: o dressador, o rebolo de retificação e os cavacos gerados, apenas o dressador apresentou problemas na inspeção visual de integridade utilizando-se o MEV. Trincas foram observadas tanto em um dressador após o fim da sua vida útil quanto em outra ferramenta no meio da sua vida útil. Estas trincas podem estar correlacionadas com uma dressagem menos eficiente.

Corpos dos bicos injetores Diesel analisados neste estudo, na terceira parte da sede após o processo de retificação, não apresentaram queima e retempera, o que evidencia que não houve superaquecimento nesta região.

Existem níveis ótimos para os parâmetros de processo na retificação interna cônica de forma a reduzir a média e dispersão dos parâmetros de topografia 2D Pt e Wt, conforme resultados obtidos através do experimento utilizando o método de Taguchi. Estes níveis ótimos determinados não são os mesmos utilizados na produção em série na empresa parceira deste estudo para todos os parâmetros avaliados, desta forma, há oportunidade de otimização do processo de retificação.

A superfície da sede dos corpos dos bicos injetores analisados apresenta características de topografia 3D típicas de superfícies retificadas, os parâmetros Ssk, Sku e Str obtidos indicam isto.

## 5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Ao final deste estudo, recomenda-se para futuros trabalhos:

a) Planejar e realizar novos ensaios para verificar o nível ótimo para a velocidade de dressagem mais próximo ao nível de 100 mm/min em relação à topografia da superfície da sede dos corpos dos bicos injetores;

b) Realiza estudo modificando-se a distribuição de massa do sistema de dressagem, ou seja, mudar a geometria do suporte do dressador e estudar se isto tem impacto nas vibrações durante dressagem e conseqüentemente na topografia superficial das peças retificadas em termos dos parâmetros de topografia 2D Pt e Wt, além do parâmetro 3D de planeza FLTq;

c) Fazer estudo mudando-se o ângulo de contato do dressador com o rebolo durante dressagem de forma a reduzir vibrações durante este processo, da mesma maneira, seria possível avaliar o impacto na topografia superficial das peças retificadas em termos dos parâmetros de topografia 2D Pt e Wt, além do parâmetro 3D de planeza FLTq;

d) Desenvolver estudo utilizando-se rebolo de material diferente, com maior tenacidade, ou seja, grãos abrasivos com dureza ligeiramente menor e um ligante que absorva mais facilmente possíveis impactos ou vibrações. Neste caso recomendar-se-ia também testar uma maior velocidade de corte durante dressagem (acima de 150 mm/min) para minimizar a amplitude de possíveis vibrações durante dressagem. É recomendada a mesma análise de topografia superficial como descrito nos itens anteriores;

e) Realizar estudo de vibrações durante dressagem medindo frequência e amplitude com equipamento de maior resolução e precisão, comparar variações de vibrações com variações de topografia nas peças usinadas;

f) Realizar estudo de dressagem de rebolos de CBN cônicos comparando diferentes ângulos de contato do dressador de diamante vitrificado com o rebolo;

g) Realizar estudo detalhado da relação da presença de trincas no dressador com a topografia gerada nas peças retificadas. Verificar em qual momento da vida útil do dressador as trincas surgem e buscar as causas deste fenômeno;

h) Fazer estudo da causa da profundidade de material removido em retificação cônica ter grande influência no parâmetro primário 2D Pt e pequena influência na ondulação superficial, representada pelo parâmetro de ondulação Wt;

i) Planejar e realizar ensaios e estudos de entendimento do corte deficiente de material pelos grãos do rebolo nas regiões adjacentes ao defeito recorrente caracterizado neste presente estudo;

j) Realizar estudo para verificar a influência de impurezas presentes na sede oriundas de processos anteriores, em especial, do processo de tratamento térmico.

## REFERÊNCIAS

ABDULLAH, Syed Z., BÉRUBÉ, Pierre R., HORNE, Derrick J., **SEM imaging of membranes: Importance of sample preparation and imaging parameters**, Journal of Membrane Science, Volume 463, p. 113-125, 2014.

ALONSO, U., ORTEGA, N., SANCHEZ, J.A., POMBO, I., IZQUIERDO, B., PLAZA, S., **Hardness control of grind-hardening and finishing grinding by means of area-based specific energy**, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 88, 2015.

AMARAL, Daniel, **DOE (Design of experiments)**. Disponível em: < [http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos\\_port/pag\\_conhec/DOE.html](http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/DOE.html)>. Acesso em 24 jul.2014.

BEHRENS, Arno, GILJUM, Stefan, KOVANDA, Jan, NIZA, Samuel, **The material basis of the global economy: Worldwide patterns of natural resource extraction and their implications for sustainable resource use policies**, Ecological Economics, Volume 64, Issue 2, p. 444-453, 2007.

BELTRÃO, P. A. C., **Analysis of the Potential for Ductile Mode Machining of Ferroelectric Ceramic Materials**. Cranfield: Cranfield University, 1998.

BENAJES, J., MOLINA, S., GONZÁLEZ, C., DONDE, R. **The role of nozzle convergence in diesel combustion**, Fuel, Volume 87, Issues 10–11, P. 1849-1858, 2008.

BHUSHAN, Bharat. **Modern Tribology Handbook**, Two Volume Set. CRC Press, 2010.

CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, quinta edição, LTC editora, 2002.

CANEVAROLO, Jr. S. V., **Técnicas de caracterização de polímeros**, Artliber Editora Ltda, 2003.

CHIAVERINI, Vicente, **Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos**, 7. Ed. Ampl. e ver., São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2002.

DANESHI, A., JANDAGHI, N., TAWAKOLI, T., **Effect of Dressing on Internal Cylindrical Grinding**, Procedia CIRP, Volume 14, p. 37-41, 2014.

DAVIM, J.Paulo, **Design of optimisation of cutting parameters for turning metal matrix composites based on the orthogonal arrays**, Journal of Materials Processing Technology, Volume 132, Issues 1–3, p. 340-344, 2003.

DAVIM, J.Paulo, **Surface Integrity in Machining**, edição 01, Springer-Verlag London, 2010.

DELTOMBE, R., KUBIAK, K. J., BIGERELLE, M., **How to Select the Most Relevant 3D Roughness Parameters of a Surface**. Scanning, Volume 36, p.150-160, 2011.

DIESELNET. Disponível em: <<http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php>>. Acesso em 10 abr.2013.

DONG, W.P., SULLIVAN, P.J., STOUT, K.J. **Comprehensive study of parameters for characterising three- dimensional surface topography: III: Parameters for characterising amplitude and some functional properties**, Wear, Volume 178, Issues 1–2, p. 29-43, 1994.

DONG, W.P., SULLIVAN, P.J., STOUT, K.J., **Comprehensive study of parameters for characterising three-dimensional surface topography: IV: Parameters for characterising spatial and hybrid properties**, Wear, Volume 178, Issues 1–2, 1994.

EDELSTAHLWERKE, **Catálogo do aço 1.5920: DIN 18CrNi8**, Deutsche Edelstahlwerke GmbH, Cr-Ni-legierter Einsatzstahl, 2011. Disponível em: <[http://www.dew-stahl.com/fileadmin/files/dew-stahl.com/documents/Publikationen/Werkstoffdatenblaetter/Baustahl/1.5920\\_de.pdf](http://www.dew-stahl.com/fileadmin/files/dew-stahl.com/documents/Publikationen/Werkstoffdatenblaetter/Baustahl/1.5920_de.pdf)>. Acesso em 11 Jan.2015.

EMPRESA PARCEIRA DESTE PROJETO, Robert Bosch Ltda, **Manual operacional retificadora UVA U88**, 2010.

EMPRESA PARCEIRA DESTE PROJETO, Robert Bosch Ltda, **Redução do custo de refugo – pressão de abertura bicos EURO5 (apresentação do Microsoft Power Point)**, Equipe de redução de custos de refugo, 2013.

GADELMAWLA, E.S., KOURA, M.M., T.M.A., MAKSOUD, I.M. ELEWA, H.H. Soliman, **Roughness parameters**, Journal of Materials Processing Technology, Volume 123, Issue 1, p. 133-145, 2002.

GODOY, W., **Notas de aula**, 2014, Disponível em: <<http://wfisico.wix.com/godoi#!ppgem/cefc>>. Acesso em 20 ago.2014.

HADAD, Mohammadjafar, **An experimental investigation of the effects of machining parameters on environmentally friendly grinding process**, Journal of Cleaner Production, Volume 108, Part A, 2015.

HAHN, R.S., **3<sup>rd</sup> MTDR Conf.**, Birmingham, 1962.

HECKER, Rogelio L., LIANG, Steven Y., **Predictive modeling of surface roughness in grinding**, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 43, Issue 8, p. 755-761, 2003.

HINO, S. **O Pensamento Toyota: Princípios de Gestão para um Crescimento Duradouro**, Editora Bookman, 2009.

HUANG, Han. **Effects of truing/dressing intensity on truing/dressing efficiency and grinding performance of vitrified diamond wheels**, Journal of Materials Processing Technology, Volume 117, Issues 1–2, p. 9-14, 2001.

HUANG, Weidi, WU, Zhijun, GAO, Ya, Huifeng, GONG, Zongjie, HU, Liguang LI and ZHUANG, Furu, **The Influence of Diesel Nozzle Structure on Internal Flow Characteristics**. SAE-China and FISITA (eds.), Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress, Lecture Notes in Electrical Engineering 189, 2013.

IBAMA, INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores — Proconve/Promot/Ibama, 3 ed.** — Brasília: Ibama/Diqua, 2011. 584 p. (Coleção Meio Ambiente. Série Diretrizes — Gestão Ambiental, n.º 3). Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/programaproconve>>. Acesso em: 10 abr.2013.

INNES, James, INNES, Ann, LEEUWENDAL, Robert, **Making know-how drive top-line growth**, Plastics, Additives and Compounding, Volume 11, Issue 4, p. 22-25, 2009.

IPCC, **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Climate change 2007: The Physical Science Basis. Summary for policy makers. Formally Approved at the 10th Session of Working Group I of the IPCC. IPCC, Paris, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **Geometrical Products Specifications (GPS) – Flatness – Part 1: Vocabulary and parameters of flatness**, ISO/TS 12781-1, 2003.

JÄÄSKELÄINEN, Hannu. **Diesel Fuel Injector nozzles**. Dieselnets, 2011. Disponível em: <[http://www.dieselnets.com/tech/engine\\_fi\\_nozzle.php](http://www.dieselnets.com/tech/engine_fi_nozzle.php)>. Acesso em: 14 abr.2013 (via acesso da empresa parceira deste projeto).

JIANG, X. Jane, WHITEHOUSE, David J., **Technological shifts in surface metrology**, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 61, Issue 2, p. 815-836, 2012.

JIRUŠE, Jaroslav, HAVELKA, Miloslav, LOPOUR, Filip, **Novel field emission SEM column with beam deceleration technology**, Ultramicroscopy, Volume 146, p. 27-32, 2014.

JOENATHAN, C., TORROBA, R., HENAO, R., **Surface roughness effects in dual beam illumination speckle interferometers: Theoretical study**, Optik - International Journal for Light and Electron Optics, Volume 112, Issue 4, p. 163-168, 2001.

JUDONG, Liu, WEI, Yuan, SONGWEI, Huang, ZHILONG, Xu. **Experimental Study on Grinding-hardening of 1060 Steel**, Energy Procedia, Volume 16, Part A, 2012.

KWAK, Jae-Seob, **Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process**, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 45, Issue 3, 2005.

LIU, Mei, NGUYE, Thai, ZHANG, Liangchi, WU, Qiong, SUN, Dale, **Effect of grinding-induced cyclic heating on the hardened layer generation in the plunge grinding of a cylindrical component**, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 89, 2015.

LIU, C.H., CHEN, Adrian, C.-C.A. WANG, Chen, Yin-Tien, **Grinding force control in an automatic surface finishing system**, Journal of Materials Processing Technology, Volume 170, Issues 1–2, 2005.

LI, Xun, CHEN, Zhitong, CHEN, Wuyi, **Suppression of Surface Burn in Grinding of Titanium Alloy TC4 Using a Self-inhaling Internal Cooling Wheel**, Chinese Journal of Aeronautics, Volume 24, Issue 1, 2011.

MAGHSOODLOO, Saeed, OZDEMIR, Guttekin, JORDAN, Victoria, HUANG, Chen-Hsiu. **Strengths and limitations of taguchi's contributions to quality, manufacturing, and process engineering**. Journal of Manufacturing Systems, Volume 23, Issue 2, p. 73–126, 2004.

MAHR, B. **Future and potential of diesel injection systems**. Conference on thermo and fluid dynamic processes in diesel engines, THIESEL, Valencia, 2002.

MAHR GMBH, **Perthometer: Surface texture parameters, new standards, DIN EN ISO / ASME**. Mahr GmbH, Germany, 09/01/99. Disponível em: <[http://lab.fs.uni-lj.si/lat/uploads/metrologija/o\\_hrapavosti\\_Mahr\\_publicacija.pdf](http://lab.fs.uni-lj.si/lat/uploads/metrologija/o_hrapavosti_Mahr_publicacija.pdf)>. Acesso em 29 Nov.2014.

MALKIN, S., Guo, C., **Thermal Analysis of Grinding**, Anais do CIRP, 57/2, p.760, 2007.

MARIS, M., SNOEYS, R., PETERS, J. **Analysis of plunge grinding operations**, Annals of the CIRP, s. 225-230, 1975.

MICHLER, G. H., **Electron Microscopy of Polymers**, Springer Laboratory, Berlin Heidelberg, 87-120, 2008.

MICHIGAN METROLOGY, **Glossary of Texture Parameters**, Disponível em: <<http://www.michmet.com/emailrequestglossary.htm>>. Acesso em 16 jun.2015.

MONTGOMERY, Douglas C., **Design and analysis of experiments**, - 5<sup>th</sup> ed. ISBN 0-471-31649-0, Arizona, USA, John Wiley and Sons Inc., 1997.

MOURA, Eduardo C., **Manual: Engenharia robusta usando métodos Taguchi**, São Paulo: Qualiplus excelência empresarial, ASI Brasil, 2001.

NADOLNY, K., KAPŁONEK, W., **Analysis of Flatness Deviations for Austenitic Stainless Steel Workpieces after Efficient Surface Machining.** Measurement Science Review, 14(4), pp. 204-212, 2014.

NADOLNY, K, SIENICKI, W, WOJTEWICZ, M., **The effect upon the grinding wheel active surface condition when impregnating with non-metallic elements during internal cylindrical grinding of titanium,** Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2014.

NADOLNY, K., WOJTEWICZ, M., SIENICKI, W., HERMAN, D., **An analysis of centrifugal MQL supply system potential in the internal cylindrical grinding process,** Archives of Civil and Mechanical Engineering, Volume 15, Issue 3, 2015.

OLIVEIRA, J.F.G., SILVA, E.J., GUO, C., HASHIMOTO, F., **Industrial challenges in grinding,** CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 58, Issue 2, p. 663-680, 2009.

PAYRI, F., BERMÚDEZ, V., PAYRI, R., SALVADOR, F.J.. **The influence of cavitation on the internal flow and the spray characteristics in diesel injection nozzles Fuel,** Volume 83, Issues 4–5, p. 419–431, 2004.

PINTAÚDE, G., AMARAL, P. L. F., TAKEHARA, G., **Statistical analysis of functional roughness parameters obtained for ground surfaces of steels,** 68<sup>th</sup> ABM international annual congress, Conference paper, 2013.

PUERTO, P., FERNÁNDEZ, R., MADARIAGA, J., ARANA, J., GALLEGU, I., **Evolution of Surface Roughness in Grinding and its Relationship with the Dressing Parameters and the Radial Wear,** Procedia Engineering, Volume 63, 2013.

RAJA, J., MURALIKRISHNAN, B., **Inference engine for process diagnostics and functional correlation in surface metrology,** Wear, Volume 257, Issue 12, p. 1257-1263, 2004.

ROSA, J.L., ROBIN, A., SILVA, M.B., BALDAN, C.A., PERES, M.P., **Electrodeposition of copper on titanium wires: Taguchi experimental design approach,** Journal of Materials Processing Technology, Volume 209, Issue 3, p. 1181-1188, 2009.

ROSS, Philip J., **Aplicações das técnicas de Taguchi na engenharia de qualidade**, tradução Regina Cláudia Loverri, revisão técnica José Carlos de Castro Waeny. – São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991.

ROVANI, Ana Cheila, **Rugosidade – Técnicas de caracterização - Notas de aula**, Disponível em: <<http://ppgem.geppg.ct.utfpr.edu.br/bscw/bscw.cgi/198796>>. Acesso em 05 nov.2014 via BSCW da UTFPR, 2014.

SEDLAČEK, Marko, PODGORNIK, Bojan, VIŽINTIN, Jože, **Correlation between standard roughness parameters skewness and kurtosis and tribological behaviour of contact surfaces**, Tribology International, Volume 48, P. 102-112, 2012.

SHAW, Milton C., **Principles of abrasive processing**, Claredon Press - Oxford Science Publications, 1996.

SILVA, H. A., SILVA, M. B. **Aplicação de um projeto de experimentos (DOE) na soldagem de tubos de zircaloy-4**, Produção & Engenharia, Volume 1, n. 1, p. 41-52, 2008.

SNOEYS, R., MARIS, M., PETERS, J., **Thermally Induced Damage in Grinding**, Anais do CIRP, p. 571-581, 1978

STEMMER, C.E. **Ferramentas de corte I**, 4.ed., Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.

STEMMER, C.E. **Ferramentas de corte II**, 4.ed., Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.

STOETERAU, Rodrigo Lima, **Processos de Usinagem com Ferramentas de Geometria Não Definida**, Notas de aula – USP, Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/PMR2202-AULA%20RS3.pdf>>. Acesso em 10 jan.2015.

TAYLOR ROBSON, **CCI Rounness – Advanced 3D non-contact high speed cone measurement**, Catálogo do fabricante Taylor Robson no format “.pdf”, Copyright©, Taylor Hobson, 2013.

TAWAKOLI, T., RASIFARD, A., RABIEY, M., **High-efficiency internal cylindrical grinding with a new kinematic**, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 47, Issue 5, 2007.

WEGENER, K., HOFFMEISTER, H.-W, KARPUSCHEWSKI, B., KUSTER, F., HAHMANN, W.-C., RABIEY, M., **Conditioning and monitoring of grinding wheels**, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 60, Issue 2, p. 757-777, 2011.

WILLE, Guillaume, BOURRAT, Xavier, MAUBEC, Nicolas, LAHFID, Abdeltif, **Raman-in-SEM, a multimodal and multiscale analytical tool: Performance for materials and expertise**, Micron, Volume 67, p. 50-64, 2014.

WHITEHOUSE, D.J. **Function Maps and the Role of Surfaces**, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 41(13–14):1847–1861, 2001.

WOLFF, Jairo Muller. **A influência do substrato na aderência de filmes finos DLC**. 2007. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

YANG, Zhensheng, , YU, Zhonghua, XIE, Chao, HUANG, Youfang, **Application of Hilbert–Huang Transform to acoustic emission signal for burn feature extraction in surface grinding process**, Measurement, Volume 47, 2014.

ZHOU, Nian, PENG, Ru Lin, PETTERSSON, Rachel, **Surface integrity of 2304 duplex stainless steel after different grinding operations**, Journal of Materials Processing Technology, Volume 229, 2016.

## APÊNDICE 1 - RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE TOPOGRAFIA 2D

Motor novo - Ensaio 1																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,47	0,44	0,55	0,49	1	0,41	0,40	0,43	0,41	1	1,12	1,01	1,23	1,12	1	0,66	0,76	0,74	0,72
2	0,57	0,67	0,55	0,60	2	0,44	0,48	0,45	0,46	2	0,92	1,04	1,08	1,01	2	0,54	0,50	0,52	0,52
3	0,48	0,44	0,50	0,47	3	0,41	0,42	0,42	0,42	3	0,97	0,96	1,19	1,04	3	0,57	0,57	0,54	0,56
4	0,51	0,48	0,55	0,51	4	0,40	0,43	0,46	0,43	4	0,92	1,07	1,03	1,01	4	0,51	0,58	0,61	0,57
5	0,54	0,73	0,60	0,62	5	0,41	0,47	0,45	0,45	5	1,04	1,26	1,01	1,10	5	0,58	0,92	0,55	0,68
6	0,58	0,53	0,47	0,53	6	0,43	0,42	0,42	0,42	6	0,89	1,06	1,09	1,01	6	0,56	0,73	0,59	0,63
7	0,48	0,50	0,53	0,50	7	0,43	0,45	0,49	0,46	7	0,91	1,02	1,21	1,05	7	0,53	0,83	0,59	0,65
8	0,67	0,83	0,60	0,70	8	0,55	0,65	0,55	0,58	8	1,27	1,23	1,19	1,23	8	0,59	0,70	0,76	0,68
9	0,65	0,80	0,69	0,71	9	0,54	0,63	0,50	0,56	9	1,20	1,26	1,15	1,20	9	0,54	0,66	0,60	0,60
10	0,78	0,81	0,63	0,74	10	0,60	0,62	0,50	0,57	10	1,18	1,19	1,06	1,14	10	0,73	0,60	0,64	0,65
11	0,67	0,63	0,65	0,65	11	0,61	0,55	0,58	0,58	11	1,16	1,22	1,35	1,24	11	0,60	0,65	0,72	0,66
12	0,72	0,71	0,66	0,69	12	0,59	0,62	0,60	0,60	12	1,21	1,28	1,24	1,24	12	0,58	0,65	0,62	0,62
13	0,77	0,78	0,70	0,75	13	0,62	0,62	0,64	0,62	13	1,12	1,23	1,30	1,22	13	0,55	0,68	0,78	0,67
14	0,72	0,67	0,70	0,70	14	0,63	0,62	0,61	0,62	14	0,14	1,28	1,49	0,97	14	0,59	0,66	0,64	0,63
15	0,79	0,73	0,69	0,74	15	0,68	0,61	0,64	0,64	15	1,21	1,27	1,35	1,28	15	0,59	0,66	0,66	0,64
16	0,76	0,73	0,84	0,78	16	0,58	0,55	0,61	0,58	16	1,13	1,02	1,10	1,08	16	0,56	0,65	0,67	0,62
17	0,61	0,56	0,78	0,65	17	0,56	0,49	0,58	0,54	17	1,02	1,07	1,04	1,05	17	0,72	0,63	0,54	0,63
18	0,55	0,51	0,77	0,61	18	0,46	0,45	0,54	0,48	18	1,00	1,16	1,09	1,08	18	0,64	0,69	0,97	0,77
19	0,57	0,59	0,53	0,56	19	0,47	0,45	0,45	0,45	19	0,97	1,13	1,20	1,10	19	0,59	0,69	0,69	0,65
20	0,63	0,59	0,63	0,62	20	0,53	0,50	0,48	0,51	20	1,30	1,21	1,24	1,25	20	0,78	0,63	0,65	0,69
<b>Média</b>	<b>0,63</b>			<b>0,63</b>	<b>Média</b>	<b>0,52</b>			<b>0,52</b>	<b>Média</b>	<b>1,12</b>			<b>1,12</b>	<b>Média</b>	<b>0,64</b>			<b>0,64</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,11</b>			<b>0,09</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,08</b>			<b>0,08</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,18</b>			<b>0,10</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,09</b>			<b>0,06</b>
<b>Máximo</b>	<b>0,84</b>			<b>0,78</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,68</b>			<b>0,64</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,49</b>			<b>1,28</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,97</b>			<b>0,77</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,44</b>			<b>0,47</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,40</b>			<b>0,41</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,14</b>			<b>0,97</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,50</b>			<b>0,52</b>

Motor novo - Ensaio 2																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,63	0,64	0,79	0,69	1	0,54	0,53	0,58	0,55	1	1,14	1,14	1,22	1,17	1	0,54	0,58	0,78	0,63
2	0,64	0,74	0,55	0,64	2	0,52	0,53	0,49	0,51	2	1,11	1,16	1,11	1,12	2	0,45	0,48	0,67	0,53
3	0,72	0,72	0,85	0,76	3	0,53	0,55	0,62	0,57	3	1,22	1,51	2,01	1,58	3	0,52	0,54	0,87	0,64
4	0,63	0,70	0,59	0,64	4	0,56	0,55	0,54	0,55	4	1,18	1,09	1,21	1,16	4	0,45	0,55	0,60	0,53
5	0,70	0,60	0,86	0,72	5	0,55	0,53	0,61	0,56	5	1,27	1,24	1,38	1,30	5	0,53	0,53	0,62	0,56
6	0,75	0,70	0,78	0,74	6	0,58	0,57	0,62	0,59	6	1,55	1,37	1,53	1,48	6	0,65	0,57	0,76	0,66
7	0,92	0,79	0,76	0,82	7	0,62	0,57	0,57	0,59	7	1,55	1,60	1,53	1,56	7	0,59	0,59	0,57	0,58
8	0,64	0,69	0,58	0,64	8	0,48	0,55	0,52	0,52	8	1,18	1,33	1,35	1,29	8	0,58	0,57	0,73	0,63
9	0,55	0,54	0,65	0,58	9	0,51	0,49	0,54	0,51	9	0,93	0,98	0,96	0,96	9	0,39	0,45	0,43	0,42
10	0,62	0,64	0,63	0,63	10	0,55	0,58	0,56	0,56	10	1,01	1,19	1,28	1,16	10	0,43	0,44	0,52	0,46
11	0,60	0,61	0,67	0,63	11	0,54	0,52	0,61	0,56	11	0,99	1,21	0,93	1,04	11	0,43	0,62	0,54	0,53
12	0,57	0,49	0,57	0,54	12	0,51	0,47	0,50	0,49	12	1,03	0,96	1,02	1,01	12	0,42	0,46	0,49	0,46
13	0,62	0,71	0,73	0,69	13	0,58	0,54	0,61	0,57	13	1,04	1,02	0,99	1,02	13	0,38	0,53	0,44	0,45
14	0,68	0,67	0,60	0,65	14	0,56	0,56	0,54	0,55	14	1,11	1,00	0,99	1,03	14	0,52	0,49	0,44	0,48
15	0,60	0,68	0,65	0,64	15	0,53	0,52	0,53	0,53	15	0,93	1,15	1,06	1,05	15	0,49	0,59	0,57	0,55
16	0,69	0,69	0,63	0,67	16	0,54	0,58	0,56	0,56	16	1,20	1,17	1,11	1,16	16	0,54	0,52	0,55	0,54
17	0,70	0,77	0,85	0,77	17	0,57	0,63	0,67	0,62	17	1,12	1,56	1,30	1,33	17	0,67	0,73	0,79	0,73
18	0,72	0,86	0,74	0,77	18	0,61	0,63	0,60	0,61	18	1,26	1,60	1,37	1,41	18	0,60	0,71	0,75	0,68
19	0,74	0,72	0,79	0,75	19	0,60	0,61	0,62	0,61	19	1,41	1,34	1,56	1,44	19	0,64	0,80	0,83	0,76
20	0,83	0,66	0,83	0,77	20	0,68	0,57	0,69	0,65	20	1,54	1,20	1,34	1,36	20	0,67	0,67	0,70	0,68
<b>Média</b>	<b>0,69</b>			<b>0,69</b>	<b>Média</b>	<b>0,56</b>			<b>0,56</b>	<b>Média</b>	<b>1,23</b>			<b>1,23</b>	<b>Média</b>	<b>0,58</b>			<b>0,58</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,09</b>			<b>0,07</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,05</b>			<b>0,04</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,22</b>			<b>0,19</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,12</b>			<b>0,10</b>
<b>Máximo</b>	<b>0,92</b>			<b>0,82</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,69</b>			<b>0,65</b>	<b>Máximo</b>	<b>2,01</b>			<b>1,58</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,87</b>			<b>0,76</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,49</b>			<b>0,54</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,47</b>			<b>0,49</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,93</b>			<b>0,96</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,38</b>			<b>0,42</b>

Motor novo - Ensaio 3																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,80	0,83	0,91	0,85	1	0,62	0,68	0,62	0,64	1	1,09	1,29	1,25	1,21	1	0,40	0,35	0,35	0,36
2	0,78	0,98	0,87	0,88	2	0,64	0,77	0,66	0,69	2	1,16	1,18	1,11	1,15	2	0,41	0,35	0,39	0,38
3	0,78	0,84	0,79	0,80	3	0,66	0,67	0,66	0,66	3	1,11	1,13	1,07	1,10	3	0,40	0,37	0,40	0,39
4	0,91	1,03	0,76	0,90	4	0,64	0,65	0,63	0,64	4	0,96	1,16	1,05	1,05	4	0,39	0,48	0,35	0,41
5	0,80	0,83	0,84	0,82	5	0,61	0,62	0,61	0,61	5	1,16	0,98	1,05	1,07	5	0,37	0,31	0,36	0,35
6	0,83	0,83	0,77	0,81	6	0,69	0,66	0,65	0,67	6	0,98	1,00	1,09	1,02	6	0,32	0,36	0,43	0,37
7	0,93	0,96	0,85	0,91	7	0,68	0,66	0,66	0,67	7	1,19	0,98	1,15	1,11	7	0,38	0,36	0,32	0,35
8	0,94	0,79	0,83	0,85	8	0,67	0,62	0,69	0,66	8	1,05	1,08	0,98	1,04	8	0,32	0,40	0,39	0,37
9	0,85	0,52	0,58	0,65	9	0,64	0,50	0,53	0,56	9	1,18	1,03	1,19	1,13	9	0,69	0,68	0,65	0,67
10	1,21	0,79	0,77	0,92	10	0,88	0,67	0,64	0,73	10	1,94	1,26	1,32	1,51	10	0,68	0,80	0,77	0,75
11	0,85	0,79	0,95	0,86	11	0,72	0,70	0,73	0,72	11	1,29	1,20	1,34	1,28	11	0,68	0,79	0,70	0,72
12	0,88	0,83	0,75	0,82	12	0,71	0,66	0,68	0,68	12	1,37	1,53	1,67	1,52	12	0,78	0,83	0,81	0,81
13	0,74	0,76	0,78	0,76	13	0,66	0,68	0,66	0,67	13	1,68	1,54	1,40	1,54	13	0,86	0,81	0,77	0,82
14	0,95	0,87	0,78	0,87	14	0,75	0,70	0,71	0,72	14	1,46	1,39	1,45	1,44	14	0,84	0,80	0,72	0,79
15	1,12	0,79	0,76	0,89	15	0,88	0,72	0,68	0,76	15	1,58	1,28	1,51	1,45	15	0,78	0,84	0,76	0,80
16	0,76	0,84	0,64	0,75	16	0,73	0,65	0,58	0,65	16	1,58	1,56	1,55	1,56	16	0,76	0,79	0,90	0,81
17	0,73	0,76	0,80	0,76	17	0,59	0,64	0,62	0,62	17	1,43	1,28	1,15	1,29	17	0,68	0,80	0,65	0,71
18	0,94	0,87	0,95	0,92	18	0,66	0,71	0,68	0,68	18	1,53	1,37	1,25	1,39	18	0,70	0,64	0,65	0,66
19	0,72	0,86	0,78	0,79	19	0,63	0,71	0,63	0,66	19	1,39	1,48	1,34	1,40	19	0,67	0,69	0,70	0,69
20	0,78	0,80	0,71	0,76	20	0,62	0,68	0,55	0,62	20	1,21	1,26	1,26	1,24	20	0,61	0,51	0,51	0,54
<b>Média</b>	<b>0,83</b>			<b>0,83</b>	<b>Média</b>	<b>0,66</b>			<b>0,66</b>	<b>Média</b>	<b>1,28</b>			<b>1,28</b>	<b>Média</b>	<b>0,59</b>			<b>0,59</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,11</b>			<b>0,07</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,06</b>			<b>0,05</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,21</b>			<b>0,19</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,19</b>			<b>0,19</b>
<b>Máximo</b>	<b>1,21</b>			<b>0,92</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,88</b>			<b>0,76</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,94</b>			<b>1,56</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,90</b>			<b>0,82</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,52</b>			<b>0,65</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,50</b>			<b>0,56</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,96</b>			<b>1,02</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,31</b>			<b>0,35</b>

Motor novo - Ensaio 4																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,70	0,64	0,57	0,64	1	0,57	0,49	0,48	0,51	1	0,94	0,82	0,82	0,86	1	0,30	0,25	0,26	0,27
2	0,68	0,68	0,55	0,64	2	0,58	0,47	0,46	0,50	2	1,08	0,82	0,89	0,93	2	0,33	0,40	0,51	0,41
3	0,66	0,77	0,77	0,73	3	0,59	0,54	0,62	0,58	3	1,03	0,95	1,12	1,03	3	0,37	0,34	0,32	0,34
4	0,73	0,80	0,77	0,76	4	0,64	0,65	0,60	0,63	4	1,12	1,05	1,12	1,10	4	0,40	0,36	0,37	0,37
5	0,70	0,85	0,74	0,76	5	0,56	0,61	0,56	0,58	5	1,04	0,97	1,08	1,03	5	0,39	0,35	0,35	0,36
6	0,84	0,82	0,85	0,84	6	0,66	0,59	0,64	0,63	6	1,16	1,23	1,17	1,18	6	0,39	0,31	0,42	0,37
7	0,97	0,92	0,81	0,90	7	0,63	0,61	0,59	0,61	7	1,31	1,16	1,33	1,27	7	0,38	0,36	0,32	0,35
8	0,95	0,75	0,85	0,85	8	0,70	0,64	0,58	0,64	8	1,22	1,23	1,16	1,20	8	0,33	0,46	0,40	0,40
9	1,03	0,91	1,02	0,99	9	0,69	0,71	0,71	0,71	9	1,93	2,00	1,89	1,94	9	1,13	1,07	1,03	1,08
10	0,83	0,71	0,82	0,79	10	0,61	0,61	0,61	0,61	10	1,93	2,00	2,11	2,01	10	1,17	1,10	1,11	1,13
11	0,80	0,83	0,81	0,81	11	0,63	0,60	0,61	0,61	11	1,95	2,06	1,88	1,96	11	1,16	1,13	1,06	1,12
12	0,66	0,76	0,66	0,69	12	0,58	0,51	0,54	0,54	12	2,00	1,72	1,81	1,84	12	1,14	1,03	0,99	1,05
13	1,09	1,02	1,02	1,04	13	0,75	0,73	0,68	0,72	13	2,07	1,92	1,93	1,97	13	1,14	1,06	1,04	1,08
14	0,83	0,85	0,84	0,84	14	0,62	0,67	0,61	0,63	14	2,11	1,92	1,99	2,00	14	1,21	1,15	1,09	1,15
15	0,98	0,79	0,88	0,88	15	0,71	0,65	0,72	0,69	15	1,91	2,01	2,06	1,99	15	1,16	1,05	1,04	1,08
16	0,93	0,72	1,00	0,89	16	0,71	0,66	0,73	0,70	16	1,87	1,88	1,89	1,88	16	1,18	1,17	1,07	1,14
17	0,90	0,81	0,92	0,88	17	0,66	0,64	0,68	0,66	17	1,40	1,37	1,42	1,39	17	0,68	0,70	0,63	0,67
18	0,80	0,82	0,76	0,80	18	0,64	0,67	0,62	0,64	18	1,36	1,52	1,80	1,56	18	0,73	0,66	0,65	0,68
19	0,76	0,73	1,06	0,85	19	0,67	0,65	0,74	0,69	19	1,62	1,23	1,33	1,39	19	0,74	0,67	0,66	0,69
20	0,88	0,65	0,75	0,76	20	0,69	0,60	0,65	0,65	20	1,51	1,44	1,41	1,45	20	0,71	0,71	0,64	0,69
<b>Média</b>	<b>0,82</b>			<b>0,82</b>	<b>Média</b>	<b>0,63</b>			<b>0,63</b>	<b>Média</b>	<b>1,50</b>			<b>1,50</b>	<b>Média</b>	<b>0,72</b>			<b>0,72</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,12</b>			<b>0,10</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,07</b>			<b>0,06</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,42</b>			<b>0,41</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,34</b>			<b>0,34</b>
<b>Máximo</b>	<b>1,09</b>			<b>1,04</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,75</b>			<b>0,72</b>	<b>Máximo</b>	<b>2,11</b>			<b>2,01</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,21</b>			<b>1,15</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,55</b>			<b>0,64</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,46</b>			<b>0,50</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,82</b>			<b>0,86</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,25</b>			<b>0,27</b>

Motor novo - Ensaio 5																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,81	0,83	0,82	0,82	1	0,57	0,61	0,60	0,59	1	1,16	1,26	1,21	1,21	1	0,66	0,60	0,54	0,60
2	1,04	0,92	1,07	1,01	2	0,62	0,59	0,62	0,61	2	1,31	1,18	1,35	1,28	2	0,63	0,54	0,63	0,60
3	1,15	0,99	1,01	1,05	3	0,67	0,62	0,65	0,65	3	1,23	1,21	1,24	1,23	3	0,63	0,58	0,56	0,59
4	0,97	1,14	1,01	1,04	4	0,66	0,64	0,70	0,67	4	1,31	1,23	1,33	1,29	4	0,59	0,58	0,63	0,60
5	1,30	1,32	1,02	1,21	5	0,70	0,71	0,67	0,69	5	1,33	1,35	1,33	1,33	5	0,66	0,68	0,52	0,62
6	1,29	0,91	1,11	1,10	6	0,77	0,60	0,76	0,71	6	1,36	1,25	1,21	1,27	6	0,68	0,72	0,62	0,67
7	1,17	0,90	1,09	1,05	7	0,67	0,63	0,65	0,65	7	1,29	1,32	1,32	1,31	7	0,66	0,60	0,59	0,62
8	1,08	1,34	1,16	1,19	8	0,71	0,73	0,68	0,71	8	1,41	1,50	1,22	1,38	8	0,63	0,63	0,57	0,61
9	0,61	0,55	0,62	0,59	9	0,51	0,46	0,48	0,48	9	1,15	1,18	1,47	1,27	9	0,52	0,59	0,65	0,59
10	0,64	0,72	0,64	0,67	10	0,50	0,58	0,57	0,55	10	1,37	1,27	1,17	1,27	10	0,63	0,48	0,55	0,55
11	0,56	0,68	0,63	0,62	11	0,52	0,53	0,53	0,53	11	1,47	1,09	1,30	1,29	11	0,70	0,44	0,53	0,56
12	0,63	0,60	0,73	0,66	12	0,55	0,48	0,52	0,51	12	1,35	1,22	1,35	1,30	12	0,58	0,51	0,63	0,57
13	0,63	0,74	0,62	0,66	13	0,58	0,65	0,54	0,59	13	1,29	1,41	1,32	1,34	13	0,65	0,60	0,69	0,64
14	0,63	0,79	0,82	0,75	14	0,55	0,64	0,58	0,59	14	1,28	1,18	1,09	1,18	14	0,54	0,31	0,44	0,43
15	0,69	0,64	0,76	0,70	15	0,61	0,51	0,63	0,59	15	1,21	1,08	1,11	1,13	15	0,47	0,47	0,40	0,45
16	0,81	0,76	0,84	0,80	16	0,56	0,62	0,63	0,61	16	1,26	1,26	1,23	1,25	16	0,66	0,48	0,46	0,53
17	0,63	0,66	0,71	0,67	17	0,54	0,58	0,58	0,57	17	1,02	1,16	0,99	1,06	17	0,53	0,47	0,40	0,47
18	0,64	0,69	0,75	0,69	18	0,57	0,53	0,59	0,56	18	1,16	0,95	1,09	1,06	18	0,69	0,49	0,53	0,57
19	0,79	0,72	0,67	0,73	19	0,58	0,57	0,62	0,59	19	1,02	0,97	0,94	0,98	19	0,56	0,43	0,36	0,45
20	0,77	0,71	0,67	0,71	20	0,68	0,60	0,58	0,62	20	1,13	1,25	1,08	1,15	20	0,56	0,48	0,54	0,53
<b>Média</b>	<b>0,84</b>			<b>0,84</b>	<b>Média</b>	<b>0,60</b>			<b>0,60</b>	<b>Média</b>	<b>1,23</b>			<b>1,23</b>	<b>Média</b>	<b>0,56</b>			<b>0,56</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,22</b>			<b>0,21</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,07</b>			<b>0,06</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,13</b>			<b>0,11</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,09</b>			<b>0,07</b>
<b>Máximo</b>	<b>1,34</b>			<b>1,21</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,77</b>			<b>0,71</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,50</b>			<b>1,38</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,72</b>			<b>0,67</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,55</b>			<b>0,59</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,46</b>			<b>0,48</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,94</b>			<b>0,98</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,31</b>			<b>0,43</b>

Motor novo - Ensaio 6																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,67	0,75	0,63	0,68	1	0,57	0,58	0,55	0,57	1	1,02	1,00	1,05	1,02	1	0,34	0,36	0,32	0,34
2	0,83	0,84	0,75	0,81	2	0,68	0,65	0,62	0,65	2	1,18	1,11	1,14	1,14	2	0,35	0,35	0,40	0,36
3	0,73	0,71	0,76	0,73	3	0,62	0,59	0,62	0,61	3	1,16	0,96	1,17	1,09	3	0,37	0,32	0,33	0,34
4	0,69	0,70	0,84	0,74	4	0,64	0,57	0,58	0,60	4	1,22	1,04	1,02	1,09	4	0,41	0,38	0,41	0,40
5	0,94	0,70	0,84	0,82	5	0,68	0,60	0,62	0,64	5	1,26	1,02	1,08	1,12	5	0,43	0,37	0,36	0,38
6	0,91	0,79	0,81	0,84	6	0,69	0,66	0,62	0,66	6	1,13	1,30	1,14	1,19	6	0,37	0,38	0,38	0,38
7	0,77	0,77	0,70	0,75	7	0,61	0,61	0,64	0,62	7	1,01	1,00	1,05	1,02	7	0,43	0,37	0,35	0,38
8	0,68	0,72	0,73	0,71	8	0,54	0,58	0,55	0,55	8	1,44	1,29	1,34	1,36	8	0,78	0,75	0,58	0,71
9	0,80	0,82	0,74	0,79	9	0,68	0,64	0,56	0,62	9	1,42	1,41	1,34	1,39	9	0,72	0,64	0,70	0,69
10	0,85	0,84	0,90	0,86	10	0,65	0,62	0,67	0,64	10	1,14	1,13	1,24	1,17	10	0,42	0,35	0,44	0,40
11	0,80	0,76	0,71	0,76	11	0,65	0,59	0,60	0,61	11	1,35	1,27	1,34	1,32	11	0,70	0,73	0,75	0,72
12	0,72	0,66	0,57	0,65	12	0,63	0,51	0,53	0,56	12	1,42	1,34	1,22	1,33	12	0,80	0,78	0,76	0,78
13	0,63	0,64	0,63	0,63	13	0,46	0,57	0,56	0,53	13	1,14	1,55	1,34	1,34	13	0,69	0,76	0,73	0,73
14	0,71	0,73	0,77	0,74	14	0,63	0,56	0,58	0,59	14	1,41	1,50	1,51	1,47	14	0,81	0,68	0,69	0,72
15	0,74	0,46	0,51	0,57	15	0,56	0,44	0,42	0,47	15	1,27	1,15	1,11	1,18	15	0,64	0,67	0,67	0,66
16	0,73	0,69	0,89	0,77	16	0,54	0,59	0,65	0,60	16	1,68	1,41	1,49	1,53	16	0,72	0,74	0,72	0,73
17	0,78	0,53	0,89	0,73	17	0,59	0,46	0,65	0,57	17	1,63	1,62	1,49	1,58	17	1,01	0,89	0,72	0,87
18	0,85	0,66	0,61	0,71	18	0,66	0,59	0,50	0,58	18	1,74	1,57	1,62	1,65	18	1,03	1,02	0,95	1,00
19	0,61	0,65	0,68	0,65	19	0,57	0,57	0,55	0,56	19	1,52	1,63	1,59	1,58	19	1,01	0,96	0,97	0,98
20	0,67	0,83	0,66	0,72	20	0,59	0,68	0,60	0,62	20	1,71	1,74	1,64	1,69	20	0,98	0,99	1,03	1,00
<b>Média</b>	<b>0,73</b>			<b>0,73</b>	<b>Média</b>	<b>0,59</b>			<b>0,59</b>	<b>Média</b>	<b>1,31</b>			<b>1,31</b>	<b>Média</b>	<b>0,63</b>			<b>0,63</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,10</b>			<b>0,07</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,06</b>			<b>0,05</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,22</b>			<b>0,21</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,24</b>			<b>0,24</b>
<b>Máximo</b>	<b>0,94</b>			<b>0,86</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,69</b>			<b>0,66</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,74</b>			<b>1,69</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,03</b>			<b>1,00</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,46</b>			<b>0,57</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,42</b>			<b>0,47</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,96</b>			<b>1,02</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,32</b>			<b>0,34</b>

Motor novo - Ensaio 7																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	1,11	0,88	0,88	0,96	1	0,96	0,73	0,78	0,82	1	1,96	1,64	1,94	1,85	1	0,95	0,96	0,90	0,94
2	0,79	0,94	1,18	0,97	2	0,70	0,77	0,89	0,79	2	1,80	1,76	2,63	2,06	2	1,07	1,06	1,09	1,07
3	0,88	0,86	0,91	0,88	3	0,70	0,72	0,69	0,70	3	1,81	1,65	1,70	1,72	3	1,07	1,02	1,00	1,03
4	1,01	1,10		1,06	4	0,64	0,64		0,64	4	10,83	10,90			4	11,53	11,45	11,36	
5	1,00	0,90	0,84	0,91	5	0,73	0,81	0,75	0,76	5	1,92	1,76	1,94	1,87	5	1,08	1,02	1,06	1,05
6	0,92	0,91	0,88	0,90	6	0,75	0,75	0,65	0,72	6	1,65	1,65	1,66	1,65	6	0,98	1,07	1,00	1,02
7	1,21	1,10	0,88	1,06	7	0,81	0,74	0,81	0,78	7	1,96	1,69	1,71	1,78	7	1,04	1,06	1,01	1,04
8	1,15	1,02	0,87	1,02	8	0,76	0,85	0,70	0,77	8	1,83	1,85	1,76	1,81	8	1,08	1,03	1,05	1,05
9	0,87	0,72	0,85	0,81	9	0,62	0,60	0,59	0,60	9	1,37	1,34	1,35	1,35	9	0,66	0,69	0,67	0,67
10	0,82	0,81	0,75	0,79	10	0,67	0,65	0,67	0,66	10	1,47	1,65	1,52	1,55	10	0,75	0,74	0,76	0,75
11	0,82	0,77	0,88	0,83	11	0,65	0,67	0,67	0,66	11	1,45	1,53	1,38	1,45	11	0,71	0,72	0,70	0,71
12	0,91	0,89	0,91	0,90	12	0,78	0,75	0,68	0,73	12	1,69	1,60	1,61	1,63	12	0,72	0,73	0,71	0,72
13	1,17	0,77	0,85	0,93	13	0,67	0,61	0,61	0,63	13	1,65	1,37	1,50	1,50	13	0,68	0,67	0,58	0,64
14	0,81	0,78	0,83	0,81	14	0,67	0,64	0,67	0,66	14	1,77	1,59	1,56	1,64	14	0,75	0,74	0,68	0,72
15	0,92	0,92	0,88	0,91	15	0,74	0,69	0,78	0,73	15	1,64	1,61	1,61	1,62	15	0,68	0,68	0,67	0,68
16	0,83	0,92	0,82	0,86	16	0,70	0,75	0,71	0,72	16	1,56	1,58	1,53	1,56	16	0,63	0,64	0,70	0,66
17	0,63	0,66	0,70	0,66	17	0,52	0,53	0,51	0,52	17	1,11	1,28	1,32	1,24	17	0,64	0,65	0,71	0,67
18	0,75	0,67	0,67	0,70	18	0,59	0,55	0,61	0,58	18	1,41	1,35	1,39	1,38	18	0,72	0,75	0,71	0,73
19	0,56	0,67	0,80	0,67	19	0,48	0,57	0,57	0,54	19	1,35	1,38	1,34	1,36	19	0,76	0,69	0,72	0,72
20	0,56	0,56	0,54	0,55	20	0,49	0,47	0,46	0,48	20	1,35	1,28	1,32	1,31	20	0,76	0,82	0,88	0,82
<b>Média</b>	<b>0,86</b>			<b>0,86</b>	<b>Média</b>	<b>0,68</b>			<b>0,68</b>	<b>Média</b>	<b>1,91</b>			<b>1,60</b>	<b>Média</b>	<b>1,36</b>			<b>0,83</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,15</b>			<b>0,13</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,10</b>			<b>0,10</b>	<b>DesvPad</b>	<b>1,71</b>			<b>0,22</b>	<b>DesvPad</b>	<b>2,34</b>			<b>0,17</b>
<b>Máximo</b>	<b>1,21</b>			<b>1,06</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,96</b>			<b>0,82</b>	<b>Máximo</b>	<b>10,90</b>			<b>2,06</b>	<b>Máximo</b>	<b>11,53</b>			<b>1,07</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,54</b>			<b>0,55</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,46</b>			<b>0,48</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1,11</b>			<b>1,24</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,58</b>			<b>0,64</b>

Motor novo - Ensaio 8																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,84	0,89	0,96	0,90	1	0,66	0,63	0,68	0,66	1	1,74	2,32	2,13	2,06	1	1,07	1,48	0,84	1,13
2	0,80	0,85	0,77	0,81	2	0,63	0,58	0,59	0,60	2	1,76	1,50	1,66	1,64	2	0,86	0,86	0,89	0,87
3	1,16	1,06	0,97	1,06	3	0,71	0,68	0,68	0,69	3	1,86	1,55	1,47	1,62	3	0,85	0,82	0,81	0,83
4	0,79	0,85	0,85	0,83	4	0,65	0,64	0,66	0,65	4	1,53	1,56	1,47	1,52	4	0,86	0,87	1,03	0,92
5	1,12	0,74	0,81	0,89	5	0,73	0,63	0,68	0,68	5	1,75	1,50	1,69	1,65	5	0,83	0,89	0,91	0,87
6	0,89	0,91	0,84	0,88	6	0,73	0,66	0,66	0,68	6	1,76	1,67	1,57	1,67	6	0,88	0,99	0,87	0,91
7	0,97	0,95	0,96	0,96	7	0,65	0,70	0,69	0,68	7	1,68	1,69	1,72	1,70	7	1,00	0,89	0,87	0,92
8	0,86	0,80	0,67	0,78	8	0,68	0,71	0,62	0,67	8	1,51	1,46	1,37	1,45	8	0,82	0,75	0,94	0,84
9	0,87	0,84	0,99	0,90	9	0,70	0,63	0,75	0,69	9	1,46	1,28	1,40	1,38	9	0,83	0,74	0,75	0,77
10	0,89	0,97	0,86	0,90	10	0,71	0,65	0,65	0,67	10	1,43	1,22	1,46	1,37	10	0,72	0,66	0,74	0,70
11	1,09	0,75	0,88	0,90	11	0,78	0,62	0,65	0,68	11	1,54	1,49	1,38	1,47	11	0,76	0,81	0,82	0,80
12	0,97	1,25	1,05	1,09	12	0,75	0,72	0,71	0,73	12	1,56	1,36	1,64	1,52	12	0,79	0,71	0,85	0,78
13	1,14	0,98	0,89	1,00	13	0,70	0,73	0,70	0,71	13	1,55	1,52	1,50	1,52	13	0,83	0,79	0,79	0,80
14	0,85	0,88	1,10	0,95	14	0,72	0,71	0,77	0,73	14	1,44	1,49	1,69	1,54	14	0,79	0,76	0,89	0,81
15	1,01	1,02	1,07	1,03	15	0,71	0,70	0,67	0,69	15	1,53	1,51	1,57	1,54	15	0,87	0,84	0,86	0,86
16	0,59	0,67	0,58	0,61	16	0,49	0,54	0,49	0,51	16	1,44	0,84	0,92	1,07	16	0,43	0,36	0,50	0,43
17	0,69	0,57	0,61	0,62	17	0,58	0,52	0,51	0,54	17	1,45	1,10	1,10	1,22	17	0,39	0,37	0,32	0,36
18	0,63	0,67	0,66	0,66	18	0,52	0,55	0,53	0,53	18	1,08	1,11	1,04	1,08	18	0,50	0,49	0,51	0,50
19	0,60	0,66	0,68	0,64	19	0,56	0,53	0,56	0,55	19	0,95	0,94	1,08	0,99	19	0,45	0,45	0,49	0,46
20	0,81	0,67	0,79	0,75	20	0,65	0,54	0,62	0,61	20	0,98	0,97	1,04	1,00	20	0,61	0,46	0,38	0,48
<b>Média</b>	<b>0,86</b>			<b>0,86</b>	<b>Média</b>	<b>0,65</b>			<b>0,65</b>	<b>Média</b>	<b>1,45</b>			<b>1,45</b>	<b>Média</b>	<b>0,75</b>			<b>0,75</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,16</b>			<b>0,14</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,07</b>			<b>0,07</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,29</b>			<b>0,27</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,21</b>			<b>0,20</b>
<b>Máximo</b>	<b>1,25</b>			<b>1,09</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,78</b>			<b>0,73</b>	<b>Máximo</b>	<b>2,32</b>			<b>2,06</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,48</b>			<b>1,13</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,57</b>			<b>0,61</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,49</b>			<b>0,51</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,84</b>			<b>0,99</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,32</b>			<b>0,36</b>

<b>Motor novo - Ensaio 9</b>																			
<b>Rmax (<math>\mu\text{m}</math>)</b>					<b>Rz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>					<b>Pt (<math>\mu\text{m}</math>)</b>					<b>Wt (<math>\mu\text{m}</math>)</b>				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,66	0,97	0,55	0,73	1	0,56	0,55	0,51	0,54	1	1,22	1,17	1,14	1,18	1	0,51	0,53	0,69	0,58
2	0,78	0,60	0,71	0,70	2	0,56	0,50	0,58	0,54	2	1,17	1,06	0,97	1,06	2	0,45	0,48	0,43	0,45
3	0,72	0,74	0,71	0,72	3	0,56	0,59	0,57	0,57	3	1,04	1,08	1,13	1,08	3	0,49	0,47	0,47	0,47
4	0,83	0,74	0,69	0,75	4	0,59	0,60	0,54	0,58	4	1,25	1,03	1,05	1,11	4	0,51	0,44	0,50	0,49
5	0,89	0,81	0,78	0,83	5	0,69	0,67	0,65	0,67	5	1,24	1,14	1,26	1,21	5	0,48	0,49	0,47	0,48
6	0,72	0,64	0,77	0,71	6	0,63	0,57	0,60	0,60	6	1,13	1,10	1,20	1,14	6	0,48	0,43	0,49	0,46
7	0,71	0,73	0,73	0,72	7	0,58	0,58	0,57	0,58	7	1,14	1,14	1,26	1,18	7	0,48	0,45	0,50	0,47
8	0,76	0,82	0,86	0,81	8	0,63	0,65	0,70	0,66	8	1,10	1,29	1,04	1,14	8	0,43	0,36	0,37	0,39
9	0,88	0,72	0,89	0,83	9	0,73	0,57	0,61	0,63	9	1,62	1,36	1,50	1,49	9	0,99	0,90	0,85	0,91
10	0,81	0,79	0,83	0,81	10	0,63	0,57	0,66	0,62	10	1,75	1,81	1,82	1,79	10	0,88	0,98	0,97	0,94
11	0,97	0,81	0,80	0,86	11	0,65	0,74	0,64	0,67	11	1,79	1,52	1,61	1,64	11	1,07	0,91	0,99	0,99
12	0,89	0,73	0,72	0,78	12	0,66	0,51	0,60	0,59	12	1,66	1,54	1,50	1,57	12	0,98	0,96	0,96	0,97
13	0,81	1,05	0,73	0,86	13	0,68	0,86	0,64	0,73	13	1,62	1,77	1,37	1,59	13	1,00	0,88	0,89	0,92
14	0,75	0,84	0,71	0,77	14	0,52	0,68	0,61	0,60	14	1,47	1,59	1,42	1,50	14	1,03	0,98	0,90	0,97
15	0,75	0,82	0,71	0,76	15	0,66	0,71	0,64	0,67	15	1,64	1,54	1,41	1,53	15	0,97	0,95	0,97	0,96
16	0,81	1,11	1,37	1,10	16	0,68	0,80	0,89	0,79	16	1,52	1,57	1,62	1,57	16	0,97	0,96	0,93	0,95
17	0,60	0,66	0,68	0,65	17	0,51	0,52	0,51	0,51	17	1,27	1,12	1,13	1,17	17	0,67	0,68	0,69	0,68
18	0,78	0,71	0,87	0,79	18	0,56	0,58	0,64	0,59	18	1,14	1,18	1,21	1,18	18	0,63	0,67	0,51	0,60
19	0,84	0,66	0,83	0,78	19	0,67	0,57	0,63	0,62	19	1,40	1,33	1,08	1,27	19	0,67	0,63	0,65	0,65
20	0,75	0,79	0,85	0,80	20	0,57	0,55	0,55	0,55	20	1,34	1,29	1,39	1,34	20	0,64	0,58	0,61	0,61
<b>Média</b>	<b>0,79</b>			<b>0,79</b>	<b>Média</b>	<b>0,62</b>			<b>0,62</b>	<b>Média</b>	<b>1,34</b>			<b>1,34</b>	<b>Média</b>	<b>0,70</b>			<b>0,70</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,13</b>			<b>0,09</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,08</b>			<b>0,07</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,23</b>			<b>0,22</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,22</b>			<b>0,22</b>
<b>Máximo</b>	<b>1,37</b>			<b>1,10</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,89</b>			<b>0,79</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,82</b>			<b>1,79</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,07</b>			<b>0,99</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,55</b>			<b>0,65</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,50</b>			<b>0,51</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,97</b>			<b>1,06</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,36</b>			<b>0,39</b>

Motor "velho" - Ensaio 1																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,70	0,66	0,68	0,68	1	0,55	0,57	0,53	0,55	1	1,19	1,47	1,29	1,32	1	0,63	0,87	0,69	0,73
2	0,72	0,71	0,60	0,68	2	0,57	0,58	0,55	0,56	2	1,24	1,24	1,13	1,20	2	0,65	0,96	0,73	0,78
3	0,70	0,78	0,71	0,73	3	0,59	0,56	0,54	0,57	3	1,41	1,60	1,52	1,51	3	0,75	0,84	0,84	0,81
4	0,62	0,71	0,65	0,66	4	0,53	0,63	0,58	0,58	4	1,21	1,14	1,13	1,16	4	0,71	0,77	0,82	0,76
5	0,81	0,80	0,83	0,81	5	0,59	0,59	0,56	0,58	5	1,87	1,64	1,35	1,62	5	0,81	1,00	0,84	0,88
6	0,93	0,91	0,83	0,89	6	0,60	0,64	0,60	0,61	6	1,52	1,25	1,39	1,39	6	0,89	0,87	0,76	0,84
7	0,80	0,87	0,88	0,85	7	0,65	0,55	0,64	0,61	7	1,33	1,77	1,82	1,64	7	0,76	0,92	0,87	0,85
8	0,90	0,75	0,71	0,79	8	0,66	0,62	0,60	0,63	8	1,43	1,52	1,27	1,41	8	0,77	0,79	0,88	0,81
9	0,60	0,49	0,66	0,58	9	0,51	0,42	0,55	0,49	9	2,65	2,41	2,46	2,50	9	1,53	1,55	1,61	1,56
10	0,65	0,66	0,64	0,65	10	0,56	0,60	0,54	0,56	10	2,83	2,67	2,38	2,62	10	1,71	1,64	1,51	1,62
11	0,80	0,66	0,63	0,70	11	0,67	0,51	0,52	0,57	11	2,65	2,47	2,44	2,52	11	1,64	1,55	2,19	1,79
12	0,71	0,70	0,66	0,69	12	0,59	0,57	0,52	0,56	12	2,78	2,65	2,68	2,70	12	1,62	1,80	1,51	1,64
13	0,88	0,59	0,67	0,71	13	0,65	0,55	0,54	0,58	13	2,60	2,51	2,53	2,55	13	1,63	1,64	1,57	1,61
14	0,61	0,65	0,67	0,65	14	0,54	0,57	0,49	0,53	14	2,64	2,48	2,57	2,56	14	1,65	1,69	1,59	1,64
15	0,67	0,59	0,87	0,71	15	0,58	0,50	0,62	0,57	15	2,72	2,90	2,40	2,67	15	1,71	1,68	1,59	1,66
16	0,64	0,72	0,78	0,71	16	0,56	0,59	0,52	0,56	16	2,54	2,36	2,51	2,47	16	2,14	1,60	1,62	1,79
17	0,74	0,79	0,73	0,75	17	0,60	0,57	0,58	0,58	17	1,81	1,72	1,69	1,74	17	1,19	1,17	1,37	1,25
18	0,84	0,82	0,77	0,81	18	0,62	0,63	0,60	0,62	18	1,69	1,58	1,48	1,58	18	1,16	1,16	1,04	1,12
19	0,83	0,77	0,78	0,79	19	0,62	0,66	0,60	0,63	19	1,88	1,86	1,87	1,87	19	1,17	1,22	1,17	1,19
20	0,79	0,69	0,76	0,75	20	0,66	0,56	0,63	0,62	20	1,89	1,82	1,84	1,85	20	1,30	1,07	1,13	1,17
<b>Média</b>	<b>0,73</b>			<b>0,73</b>	<b>Média</b>	<b>0,58</b>			<b>0,58</b>	<b>Média</b>	<b>1,94</b>			<b>1,94</b>	<b>Média</b>	<b>1,23</b>			<b>1,23</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,09</b>			<b>0,08</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,05</b>			<b>0,03</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,56</b>			<b>0,56</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,41</b>			<b>0,40</b>
<b>Máximo</b>	<b>0,93</b>			<b>0,89</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,67</b>			<b>0,63</b>	<b>Máximo</b>	<b>2,90</b>			<b>2,70</b>	<b>Máximo</b>	<b>2,19</b>			<b>1,79</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,49</b>			<b>0,58</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,42</b>			<b>0,49</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1,13</b>			<b>1,16</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,63</b>			<b>0,73</b>

Motor "velho" - Ensaio 2																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,78	0,62	0,60	0,67	1	0,58	0,48	0,51	0,53	1	1,58	1,54	1,60	1,57	1	0,86	0,85	0,90	0,87
2	0,82	0,69	0,69	0,73	2	0,60	0,53	0,59	0,57	2	1,47	1,32	1,51	1,44	2	0,86	0,79	0,79	0,81
3	0,68	0,71	0,60	0,66	3	0,55	0,60	0,57	0,57	3	1,54	1,43	1,38	1,45	3	0,86	0,88	0,80	0,85
4	0,68	0,76	0,73	0,72	4	0,59	0,63	0,55	0,59	4	1,43	1,49	1,34	1,42	4	0,88	0,85	0,81	0,85
5	0,70	0,80	0,62	0,71	5	0,65	0,64	0,58	0,62	5	1,45	1,48	1,57	1,50	5	0,85	0,90	0,87	0,87
6	0,85	0,73	0,65	0,74	6	0,59	0,57	0,55	0,57	6	1,55	1,64	1,41	1,53	6	0,91	0,98	0,84	0,91
7	0,76	0,60	0,73	0,70	7	0,68	0,55	0,59	0,60	7	1,71	1,25	1,39	1,45	7	0,96	0,80	0,88	0,88
8	0,65	0,70	0,60	0,65	8	0,60	0,60	0,54	0,58	8	1,62	1,61	1,64	1,62	8	0,94	0,83	0,88	0,88
9	0,93	0,77	0,74	0,81	9	0,70	0,62	0,57	0,63	9	2,65	2,10	2,07	2,27	9	1,25	1,14	1,16	1,19
10	0,80	0,80	0,83	0,81	10	0,58	0,62	0,60	0,60	10	1,85	1,85	1,99	1,90	10	1,03	1,03	1,04	1,03
11	0,72	0,71	0,88	0,77	11	0,56	0,55	0,67	0,60	11	1,71	1,70	2,24	1,88	11	1,07	1,00	1,03	1,03
12	1,01	0,79	0,96	0,92	12	0,71	0,57	0,66	0,65	12	1,92	1,84	2,09	1,95	12	1,06	1,01	1,04	1,04
13	0,88	0,86	0,89	0,88	13	0,63	0,64	0,66	0,64	13	1,74	1,68	1,80	1,74	13	1,03	0,97	1,01	1,00
14	0,97	0,78	0,94	0,89	14	0,72	0,66	0,64	0,67	14	1,98	1,75	2,09	1,94	14	1,07	0,94	1,02	1,01
15	0,87	0,95	0,95	0,92	15	0,71	0,71	0,61	0,68	15	2,01	2,00	1,78	1,93	15	1,08	0,99	1,02	1,03
16	0,96	0,91	0,82	0,89	16	0,70	0,64	0,67	0,67	16	2,10	1,80	1,77	1,89	16	1,01	1,05	1,02	1,03
17	1,00	0,82	0,81	0,88	17	0,73	0,71	0,96	0,80	17	1,68	1,53	1,60	1,60	17	0,78	0,64	0,63	0,69
18	0,72	0,90	0,69	0,77	18	0,60	0,65	0,55	0,60	18	1,65	1,59	1,47	1,57	18	0,76	0,68	0,71	0,72
19	0,83	0,73	0,80	0,79	19	0,63	0,67	0,62	0,64	19	1,68	1,40	1,59	1,56	19	0,72	0,73	0,72	0,72
20	0,77	0,69	0,75	0,74	20	0,66	0,59	0,65	0,63	20	1,62	1,50	1,43	1,52	20	0,72	0,72	0,71	0,71
<b>Média</b>	<b>0,78</b>			<b>0,78</b>	<b>Média</b>	<b>0,62</b>			<b>0,62</b>	<b>Média</b>	<b>1,69</b>			<b>1,69</b>	<b>Média</b>	<b>0,91</b>			<b>0,91</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,11</b>			<b>0,09</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,07</b>			<b>0,06</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,26</b>			<b>0,24</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,14</b>			<b>0,14</b>
<b>Máximo</b>	<b>1,01</b>			<b>0,92</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,96</b>			<b>0,80</b>	<b>Máximo</b>	<b>2,65</b>			<b>2,27</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,25</b>			<b>1,19</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,60</b>			<b>0,65</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,48</b>			<b>0,53</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1,25</b>			<b>1,42</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,63</b>			<b>0,69</b>

Motor "velho" - Ensaio 3																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,86	0,74	0,81	0,80	1	0,74	0,64	0,76	0,71	1	1,13	1,03	1,07	1,08	1	0,36	0,35	0,38	0,36
2	0,92	0,91	0,81	0,88	2	0,75	0,74	0,71	0,74	2	1,07	1,01	0,98	1,02	2	0,35	0,35	0,33	0,34
3	0,97	0,87	0,96	0,93	3	0,72	0,69	0,84	0,75	3	1,36	1,11	1,11	1,19	3	0,38	0,32	0,36	0,35
4	0,88	0,70	0,89	0,82	4	0,77	0,65	0,70	0,71	4	1,36	1,01	1,19	1,19	4	0,41	0,36	0,39	0,39
5	1,03	0,66	0,92	0,87	5	0,80	0,59	0,66	0,69	5	1,26	1,05	1,30	1,20	5	0,38	0,39	0,34	0,37
6	0,79	0,79	0,73	0,77	6	0,62	0,63	0,56	0,60	6	0,95	1,13	0,99	1,02	6	0,34	0,39	0,34	0,36
7	0,88	0,92	0,90	0,90	7	0,70	0,68	0,72	0,70	7	1,31	1,06	1,21	1,19	7	0,40	0,37	0,37	0,38
8	0,65	0,91	0,73	0,76	8	0,60	0,67	0,63	0,63	8	1,07	1,16	1,11	1,11	8	0,39	0,40	0,43	0,41
9	0,94	0,83	0,91	0,89	9	0,75	0,73	0,62	0,70	9	1,64	1,59	1,57	1,60	9	0,71	0,68	0,62	0,67
10	0,89	0,77	0,83	0,83	10	0,70	0,64	0,67	0,67	10	1,59	1,46	1,54	1,53	10	0,75	0,67	0,73	0,71
11	0,94	0,77	0,77	0,83	11	0,78	0,67	0,70	0,72	11	1,67	1,58	1,56	1,60	11	0,71	0,64	0,68	0,68
12	1,02	0,99	0,81	0,94	12	0,75	0,70	0,68	0,71	12	1,75	1,62	1,81	1,73	12	0,71	0,72	0,73	0,72
13	0,59	0,65	0,78	0,67	13	0,54	0,59	0,60	0,58	13	1,41	1,71	1,47	1,53	13	0,69	0,71	0,72	0,71
14	0,68	0,68	1,05	0,80	14	0,61	0,59	0,83	0,68	14	1,54	1,45	1,83	1,61	14	0,74	0,69	0,73	0,72
15	0,62	0,76	0,63	0,67	15	0,58	0,56	0,58	0,57	15	1,54	1,53	1,41	1,49	15	0,73	0,69	0,70	0,71
16	0,67	0,73	0,68	0,69	16	0,59	0,59	0,59	0,59	16	1,38	1,68	1,42	1,49	16	0,69	0,74	0,68	0,70
17	1,18	1,17	1,22	1,19	17	0,78	0,75	0,78	0,77	17	2,62	2,47	2,63	2,58	17	1,74	1,73	1,72	1,73
18	1,10	1,10	0,92	1,04	18	0,83	0,79	0,73	0,78	18	2,74	2,67	2,72	2,71	18	1,85	1,78	1,74	1,79
19	1,01	0,95	1,13	1,03	19	0,73	0,69	0,76	0,73	19	2,96	2,68	2,64	2,76	19	1,86	1,87	1,85	1,86
20	1,52	1,23	1,28	1,34	20	0,81	0,77	0,76	0,78	20	2,86	2,84	2,97	2,89	20	1,90	1,85	1,85	1,86
<b>Média</b>	<b>0,88</b>			<b>0,88</b>	<b>Média</b>	<b>0,69</b>			<b>0,69</b>	<b>Média</b>	<b>1,63</b>			<b>1,63</b>	<b>Média</b>	<b>0,79</b>			<b>0,79</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,19</b>			<b>0,17</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,08</b>			<b>0,06</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,61</b>			<b>0,61</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,54</b>			<b>0,55</b>
<b>Máximo</b>	<b>1,52</b>			<b>1,34</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,84</b>			<b>0,78</b>	<b>Máximo</b>	<b>2,97</b>			<b>2,89</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,90</b>			<b>1,86</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,59</b>			<b>0,67</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,54</b>			<b>0,57</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,95</b>			<b>1,02</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,32</b>			<b>0,34</b>

Motor "velho" - Ensaio 4																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,78	0,70	0,77	0,75	1	0,61	0,54	0,64	0,60	1	1,59	1,33	1,33	1,42	1	0,88	0,81	0,86	0,85
2	0,77	0,76	0,60	0,71	2	0,59	0,56	0,54	0,56	2	1,41	1,50	1,43	1,45	2	0,94	0,87	0,95	0,92
3	0,98	0,91	0,68	0,86	3	0,70	0,63	0,59	0,64	3	1,91	1,80	1,71	1,81	3	0,90	0,84	1,05	0,93
4	0,81	0,93	0,87	0,87	4	0,66	0,65	0,63	0,65	4	1,81	1,68	1,69	1,73	4	0,96	0,83	0,96	0,92
5	0,86	0,70	0,80	0,78	5	0,69	0,57	0,57	0,61	5	1,59	1,51	1,75	1,62	5	0,90	0,83	0,95	0,89
6	0,78	0,79	0,91	0,83	6	0,54	0,57	0,59	0,57	6	1,47	1,66	1,62	1,58	6	0,99	1,02	1,08	1,03
7	0,86	0,66	0,80	0,77	7	0,61	0,54	0,58	0,58	7	1,55	1,46	1,45	1,49	7	0,98	0,83	0,95	0,92
8	0,79	0,87	0,69	0,78	8	0,63	0,67	0,53	0,61	8	1,64	1,47	1,53	1,54	8	1,19	0,87	0,99	1,02
9	0,99	0,98	0,95	0,97	9	0,75	0,68	0,66	0,70	9	1,85	2,01	2,05	1,97	9	1,24	1,23	1,27	1,24
10	1,28	1,11	1,20	1,20	10	0,79	0,68	0,74	0,74	10	2,22	1,91	2,25	2,12	10	1,31	1,23	1,23	1,26
11	1,08	1,00	1,27	1,12	11	0,78	0,75	0,82	0,78	11	2,16	2,12	2,23	2,17	11	1,31	1,33	1,37	1,33
12	0,85	1,15	0,86	0,96	12	0,64	0,68	0,73	0,68	12	2,16	2,08	1,97	2,07	12	1,30	1,25	1,26	1,27
13	1,23	1,21	1,08	1,17	13	0,73	0,74	0,65	0,71	13	2,17	2,23	2,17	2,19	13	1,31	1,27	1,28	1,28
14	0,94	1,24	0,75	0,98	14	0,75	0,76	0,66	0,72	14	2,08	2,13	2,35	2,18	14	1,30	1,32	1,45	1,36
15	1,04	0,86	0,89	0,93	15	0,73	0,71	0,74	0,73	15	2,20	1,96	2,04	2,07	15	1,35	1,31	1,25	1,30
16	0,86	0,84	0,81	0,84	16	0,70	0,74	0,71	0,72	16	2,22	2,04	1,97	2,07	16	1,32	1,33	1,31	1,32
17	0,65	0,70	0,62	0,65	17	0,61	0,60	0,53	0,58	17	1,19	1,05	1,07	1,10	17	0,75	0,64	0,67	0,69
18	0,77	0,66	0,63	0,69	18	0,66	0,57	0,61	0,61	18	1,44	1,11	1,08	1,21	18	0,89	0,79	0,78	0,82
19	0,76	0,67	0,69	0,71	19	0,69	0,64	0,65	0,66	19	1,13	1,18	1,27	1,19	19	0,76	0,80	0,75	0,77
20	0,71	0,76	0,74	0,74	20	0,66	0,65	0,67	0,66	20	1,17	1,24	1,12	1,18	20	0,71	0,78	0,69	0,73
<b>Média</b>	<b>0,86</b>			<b>0,86</b>	<b>Média</b>	<b>0,65</b>			<b>0,65</b>	<b>Média</b>	<b>1,71</b>			<b>1,71</b>	<b>Média</b>	<b>1,04</b>			<b>1,04</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,18</b>			<b>0,16</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,07</b>			<b>0,06</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,38</b>			<b>0,38</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,23</b>			<b>0,23</b>
<b>Máximo</b>	<b>1,28</b>			<b>1,20</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,82</b>			<b>0,78</b>	<b>Máximo</b>	<b>2,35</b>			<b>2,19</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,45</b>			<b>1,36</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,60</b>			<b>0,65</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,53</b>			<b>0,56</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1,05</b>			<b>1,10</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,64</b>			<b>0,69</b>

Motor "velho" - Ensaio 5																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,73	0,70	0,64	0,69	1	0,54	0,60	0,54	0,56	1	1,36	1,25	1,35	1,32	1	0,63	0,65	0,72	0,67
2	0,85	0,73	0,66	0,75	2	0,57	0,60	0,59	0,59	2	1,45	1,58	1,39	1,47	2	0,69	0,68	0,66	0,68
3	0,72	0,65	0,67	0,68	3	0,60	0,56	0,57	0,58	3	1,42	1,38	1,35	1,38	3	0,72	0,73	0,74	0,73
4	0,69	0,63	0,68	0,67	4	0,63	0,55	0,60	0,59	4	1,40	1,27	1,42	1,36	4	0,73	0,75	0,73	0,74
5	0,79	0,74	0,71	0,75	5	0,63	0,58	0,61	0,61	5	1,64	1,28	1,33	1,41	5	0,77	0,76	0,75	0,76
6	0,80	0,80	0,74	0,78	6	0,65	0,62	0,62	0,63	6	1,49	1,34	1,38	1,40	6	0,74	0,72	0,71	0,72
7	0,80	0,84	0,61	0,75	7	0,68	0,65	0,54	0,62	7	1,70	1,66	1,65	1,67	7	0,80	0,81	0,78	0,80
8	0,63	0,70	0,72	0,68	8	0,54	0,59	0,56	0,56	8	1,35	1,35	1,36	1,35	8	0,75	0,73	0,78	0,75
9	1,32	1,35	1,32	1,33	9	0,77	0,77	0,79	0,78	9	3,24	3,12	3,43	3,26	9	1,90	1,84	1,90	1,88
10	1,01	1,29	1,33	1,21	10	0,74	0,86	0,82	0,81	10	3,33	3,38	3,26	3,32	10	2,00	1,88	1,82	1,90
11	0,99	1,29	1,31	1,20	11	0,72	0,79	0,84	0,78	11	3,21	3,27	3,43	3,30	11	1,87	1,94	1,84	1,88
12	1,17	1,11	1,26	1,18	12	0,83	0,80	0,86	0,83	12	3,50	3,18	3,32	3,34	12	1,94	1,89	1,91	1,91
13	1,08	1,07	1,37	1,17	13	0,75	0,76	0,86	0,79	13	3,39	3,32	3,50	3,40	13	1,94	1,98	1,93	1,95
14	1,33	1,48	1,36	1,39	14	0,78	0,83	0,84	0,82	14	3,19	3,23	3,22	3,21	14	1,97	1,93	1,91	1,94
15	1,23	0,92	1,11	1,09	15	0,82	0,72	0,84	0,79	15	3,28	3,15	3,17	3,20	15	1,97	1,87	1,93	1,92
16	1,49	1,18	1,25	1,30	16	0,84	0,75	0,84	0,81	16	3,39	3,21	3,33	3,31	16	2,03	1,90	1,95	1,96
17	0,65	0,71	0,95	0,77	17	0,55	0,54	0,64	0,58	17	1,40	1,57	1,58	1,52	17	0,79	0,91	0,76	0,82
18	0,77	0,60	0,90	0,76	18	0,64	0,52	0,60	0,59	18	1,37	1,38	1,52	1,42	18	0,81	0,71	0,88	0,80
19	0,70	0,60	0,81	0,70	19	0,60	0,53	0,66	0,59	19	1,55	1,50	1,30	1,45	19	0,88	0,94	0,83	0,88
20	0,71	0,59	0,71	0,67	20	0,58	0,51	0,60	0,57	20	1,36	1,43	1,30	1,36	20	0,81	0,88	0,71	0,80
<b>Média</b>	<b>0,93</b>			<b>0,93</b>	<b>Média</b>	<b>0,67</b>			<b>0,67</b>	<b>Média</b>	<b>2,17</b>			<b>2,17</b>	<b>Média</b>	<b>1,22</b>			<b>1,22</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,28</b>			<b>0,27</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,11</b>			<b>0,11</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,93</b>			<b>0,94</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,58</b>			<b>0,58</b>
<b>Máximo</b>	<b>1,49</b>			<b>1,39</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,86</b>			<b>0,83</b>	<b>Máximo</b>	<b>3,50</b>			<b>3,40</b>	<b>Máximo</b>	<b>2,03</b>			<b>1,96</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,59</b>			<b>0,67</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,51</b>			<b>0,56</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1,25</b>			<b>1,32</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,63</b>			<b>0,67</b>

Motor "velho" - Ensaio 6																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,73	0,70	0,64	0,69	1	0,54	0,60	0,54	0,56	1	1,36	1,25	1,35	1,32	1	0,63	0,65	0,72	0,67
2	0,79	0,61	0,62	0,67	2	0,63	0,53	0,56	0,57	2	1,57	1,38	1,40	1,45	2	0,97	0,92	0,95	0,95
3	0,80	0,81	0,77	0,79	3	0,62	0,63	0,63	0,62	3	1,42	1,42	1,36	1,40	3	0,99	0,91	0,92	0,94
4	0,84	0,73	0,78	0,78	4	0,60	0,50	0,51	0,54	4	1,65	1,43	1,39	1,49	4	1,04	1,02	0,99	1,02
5	0,69	0,78	0,71	0,73	5	0,56	0,59	0,60	0,58	5	1,63	1,39	1,49	1,50	5	1,01	0,95	0,98	0,98
6	0,75	0,59	0,65	0,67	6	0,55	0,51	0,53	0,53	6	1,53	1,46	1,42	1,47	6	1,09	0,99	0,99	1,02
7	0,63	0,80	0,61	0,68	7	0,51	0,55	0,51	0,52	7	1,36	1,50	1,37	1,41	7	1,03	0,99	0,94	0,99
8	0,77	0,67	0,79	0,74	8	0,56	0,53	0,58	0,56	8	1,68	1,29	1,50	1,49	8	1,12	0,96	1,00	1,03
9	0,59	0,57	0,59	0,58	9	0,51	0,45	0,45	0,47	9	1,02	0,87	1,18	1,02	9	0,69	0,62	0,62	0,64
10	0,53	0,55	0,56	0,55	10	0,48	0,45	0,50	0,48	10	1,11	1,08	0,95	1,05	10	0,68	0,66	0,56	0,63
11	0,70	0,66	0,76	0,71	11	0,58	0,55	0,54	0,56	11	1,18	1,17	1,03	1,13	11	0,75	0,75	0,63	0,71
12	0,60	0,67	0,62	0,63	12	0,52	0,53	0,49	0,51	12	0,99	1,13	1,08	1,07	12	0,91	0,88	0,64	0,81
13	0,59	0,59	0,56	0,58	13	0,51	0,50	0,49	0,50	13	1,25	1,21	1,08	1,18	13	0,69	0,79	0,67	0,71
14	0,61	0,52	0,68	0,60	14	0,50	0,44	0,47	0,47	14	1,12	1,30	1,06	1,16	14	0,74	1,02	0,66	0,81
15	0,68	0,71	0,62	0,67	15	0,51	0,53	0,47	0,50	15	1,17	1,08	0,94	1,06	15	0,65	0,73	0,55	0,64
16	0,71	0,74	0,61	0,69	16	0,54	0,52	0,52	0,53	16	1,06	1,13	1,19	1,12	16	0,71	0,60	0,56	0,62
17	0,57	0,66	0,53	0,58	17	0,44	0,42	0,44	0,43	17	0,75	0,78	0,78	0,77	17	0,37	0,32	0,34	0,34
18	0,59	0,52	0,50	0,53	18	0,46	0,40	0,41	0,42	18	0,92	0,79	0,82	0,84	18	0,36	0,36	0,35	0,36
19	0,50	0,53	0,62	0,55	19	0,41	0,44	0,44	0,43	19	0,87	0,98	0,90	0,92	19	0,39	0,38	0,36	0,38
20	0,47	0,43	0,49	0,46	20	0,40	0,39	0,39	0,39	20	0,81	0,82	0,85	0,83	20	0,37	0,40	0,38	0,38
<b>Média</b>	<b>0,64</b>			<b>0,64</b>	<b>Média</b>	<b>0,51</b>			<b>0,51</b>	<b>Média</b>	<b>1,18</b>			<b>1,18</b>	<b>Média</b>	<b>0,73</b>			<b>0,73</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,10</b>			<b>0,09</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,06</b>			<b>0,06</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,25</b>			<b>0,24</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,24</b>			<b>0,24</b>
<b>Máximo</b>	<b>0,84</b>			<b>0,79</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,63</b>			<b>0,62</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,68</b>			<b>1,50</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,12</b>			<b>1,03</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,43</b>			<b>0,46</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,39</b>			<b>0,39</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,75</b>			<b>0,77</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,32</b>			<b>0,34</b>

Motor "velho" - Ensaio 7																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,94	0,94	0,80	0,89	1	0,70	0,76	0,65	0,70	1	1,30	1,34	1,16	1,27	1	0,64	0,66	0,48	0,59
2	1,27	0,97	1,26	1,17	2	0,80	0,75	0,88	0,81	2	1,50	1,47	1,45	1,47	2	0,66	0,69	0,72	0,69
3	1,30	1,12	0,93	1,12	3	0,94	0,83	0,73	0,83	3	1,78	1,45	1,30	1,51	3	0,81	0,69	0,73	0,75
4	1,31	1,04	1,12	1,16	4	0,86	0,82	0,74	0,80	4	1,47	1,51	1,42	1,47	4	0,74	0,76	0,80	0,77
5	1,36	0,93	1,31	1,20	5	0,83	0,67	0,83	0,78	5	1,67	1,39	1,43	1,50	5	0,67	0,80	0,74	0,74
6	1,41	1,00	1,03	1,14	6	0,82	0,80	0,85	0,82	6	1,56	1,56	1,59	1,57	6	0,86	0,84	0,87	0,86
7	1,20	1,36	0,69	1,08	7	0,89	0,91	0,59	0,79	7	1,60	1,59	1,54	1,57	7	0,83	0,74	0,72	0,76
8	1,46	1,08	0,64	1,06	8	0,92	0,87	0,59	0,79	8	1,55	1,58	1,48	1,54	8	0,88	0,86	0,79	0,84
9	0,84	0,66	0,75	0,75	9	0,69	0,59	0,66	0,65	9	1,44	1,44	1,74	1,54	9	0,65	0,75	0,76	0,72
10	0,71	0,81	0,64	0,72	10	0,66	0,65	0,59	0,63	10	1,61	1,52	1,51	1,55	10	0,74	0,71	0,78	0,74
11	1,03	0,89	0,78	0,90	11	0,74	0,65	0,58	0,66	11	1,59	1,70	1,71	1,67	11	0,66	0,68	0,82	0,72
12	0,67	0,70	1,10	0,82	12	0,63	0,67	0,78	0,69	12	1,78	1,50	1,57	1,62	12	0,78	0,75	0,82	0,78
13	0,69	0,60	0,80	0,70	13	0,54	0,54	0,68	0,58	13	1,64	1,49	1,70	1,61	13	0,81	0,72	0,77	0,77
14	0,88	0,75	1,09	0,91	14	0,68	0,64	0,81	0,71	14	1,65	1,62	1,90	1,72	14	0,69	0,76	0,83	0,76
15	1,01	0,91	0,63	0,85	15	0,72	0,70	0,56	0,66	15	1,96	1,79	1,45	1,73	15	0,67	0,68	0,60	0,65
16	0,89	0,90	0,74	0,84	16	0,71	0,69	0,59	0,66	16	1,77	1,57	1,16	1,50	16	0,74	0,71	0,60	0,68
17	0,72	0,67	0,64	0,68	17	0,60	0,60	0,56	0,58	17	1,36	1,26	1,25	1,29	17	0,60	0,65	0,64	0,63
18	0,76	0,56	0,85	0,72	18	0,63	0,52	0,66	0,60	18	1,30	1,10	1,22	1,20	18	0,66	0,52	0,63	0,60
19	0,77	0,79		0,78	19	0,65	0,58		0,62	19	1,43	1,22		1,33	19	0,71	0,61		0,66
20	0,94	0,68		0,81	20	0,69	0,58		0,64	20	1,40	1,28		1,34	20	0,67	0,68		0,67
<b>Média</b>	<b>0,92</b>			<b>0,91</b>	<b>Média</b>	<b>0,70</b>			<b>0,70</b>	<b>Média</b>	<b>1,50</b>			<b>1,50</b>	<b>Média</b>	<b>0,72</b>			<b>0,72</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,24</b>			<b>0,18</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,11</b>			<b>0,09</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,19</b>			<b>0,15</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,08</b>			<b>0,07</b>
<b>Máximo</b>	<b>1,46</b>			<b>1,20</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,94</b>			<b>0,83</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,96</b>			<b>1,73</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,88</b>			<b>0,86</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,56</b>			<b>0,68</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,52</b>			<b>0,58</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1,10</b>			<b>1,20</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,48</b>			<b>0,59</b>

Motor "velho" - Ensaio 8																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,73	0,86	0,66	0,75	1	0,61	0,65	0,60	0,62	1	1,36	1,20	1,37	1,31	1	0,81	0,63	0,65	0,70
2	0,80	0,78	0,65	0,74	2	0,63	0,61	0,54	0,59	2	1,43	1,37	1,24	1,34	2	0,61	0,59	0,61	0,60
3	0,75	0,76	0,79	0,77	3	0,58	0,62	0,59	0,60	3	1,25	1,06	1,09	1,13	3	0,60	0,59	0,56	0,59
4	0,76	0,71	0,68	0,71	4	0,56	0,57	0,57	0,57	4	1,14	1,08	1,23	1,15	4	0,55	0,69	0,62	0,62
5	0,66	0,61	0,77	0,68	5	0,60	0,54	0,59	0,58	5	1,10	1,15	1,24	1,16	5	0,60	0,73	0,62	0,65
6	0,66	0,63	0,65	0,65	6	0,59	0,52	0,53	0,54	6	1,27	1,05	1,09	1,14	6	0,67	0,79	0,68	0,71
7	0,60	0,69	0,66	0,65	7	0,51	0,52	0,54	0,52	7	1,16	1,16	1,25	1,19	7	0,65	0,60	0,54	0,60
8	0,65	0,65	0,57	0,62	8	0,49	0,58	0,52	0,53	8	1,12	1,29	1,00	1,14	8	0,75	0,90	0,59	0,75
9	0,97	0,95	0,90	0,94	9	0,66	0,63	0,64	0,64	9	1,23	1,25	1,15	1,21	9	0,46	0,51	0,51	0,49
10	0,88	0,81	0,80	0,83	10	0,63	0,64	0,64	0,64	10	1,23	1,22	1,22	1,22	10	0,53	0,59	0,54	0,55
11	0,75	0,68	0,68	0,71	11	0,60	0,61	0,55	0,59	11	1,33	1,29	1,17	1,27	11	0,51	0,49	0,51	0,50
12	0,69	0,59	0,62	0,63	12	0,61	0,52	0,49	0,54	12	1,25	1,25	1,26	1,25	12	0,57	0,56	0,52	0,55
13	0,72	0,68	0,62	0,67	13	0,61	0,57	0,55	0,58	13	1,19	1,27	1,18	1,22	13	0,54	0,52	0,51	0,52
14	0,75	0,73	1,06	0,85	14	0,62	0,57	0,65	0,62	14	1,19	1,19	1,25	1,21	14	0,52	0,57	0,47	0,52
15	0,86	0,77	0,80	0,81	15	0,70	0,62	0,62	0,65	15	1,40	1,22	1,33	1,32	15	0,58	0,53	0,58	0,57
16	0,88	0,89	0,88	0,88	16	0,61	0,66	0,69	0,65	16	1,31	1,18	1,24	1,24	16	0,53	0,51	0,57	0,54
17	0,92	0,73	0,83	0,83	17	0,63	0,52	0,59	0,58	17	1,88	1,38	1,88	1,71	17	0,82	0,83	0,83	0,83
18	0,87	0,76	0,80	0,81	18	0,65	0,61	0,63	0,63	18	1,67	1,53	1,60	1,60	18	0,93	0,74	0,73	0,80
19	0,93	0,78	0,78	0,83	19	0,60	0,62	0,64	0,62	19	1,81	1,51	1,65	1,65	19	0,79	0,76	0,78	0,78
20	1,13	0,96	0,86	0,98	20	0,66	0,62	0,64	0,64	20	2,00	1,34	1,67	1,67	20	0,74	0,66	0,64	0,68
<b>Média</b>	<b>0,77</b>			<b>0,77</b>	<b>Média</b>	<b>0,60</b>			<b>0,60</b>	<b>Média</b>	<b>1,31</b>			<b>1,31</b>	<b>Média</b>	<b>0,63</b>			<b>0,63</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,12</b>			<b>0,10</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,05</b>			<b>0,04</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,21</b>			<b>0,19</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,11</b>			<b>0,10</b>
<b>Máximo</b>	<b>1,13</b>			<b>0,98</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,70</b>			<b>0,65</b>	<b>Máximo</b>	<b>2,00</b>			<b>1,71</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,93</b>			<b>0,83</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,57</b>			<b>0,62</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,49</b>			<b>0,52</b>	<b>Mínimo</b>	<b>1,00</b>			<b>1,13</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,46</b>			<b>0,49</b>

Motor "velho" - Ensaio 9																			
Rmax ( $\mu\text{m}$ )					Rz ( $\mu\text{m}$ )					Pt ( $\mu\text{m}$ )					Wt ( $\mu\text{m}$ )				
Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média	Amostra	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Média
1	0,63	0,76	0,69	0,69	1	0,51	0,58	0,51	0,53	1	0,93	0,97	0,90	0,93	1	0,40	0,38	0,37	0,38
2	0,54	0,55	0,55	0,54	2	0,49	0,47	0,44	0,47	2	0,81	0,87	0,81	0,83	2	0,39	0,41	0,38	0,39
3	0,67	0,65	0,59	0,64	3	0,53	0,51	0,48	0,51	3	1,10	0,97	0,85	0,97	3	0,44	0,43	0,38	0,42
4	0,74	0,71	0,52	0,65	4	0,58	0,55	0,47	0,53	4	1,11	0,99	1,00	1,03	4	0,47	0,37	0,54	0,46
5	0,66	0,64	0,74	0,68	5	0,55	0,53	0,57	0,55	5	1,14	1,01	1,04	1,06	5	0,46	0,38	0,36	0,40
6	0,79	0,73	0,69	0,74	6	0,61	0,61	0,57	0,59	6	1,29	1,11	1,00	1,13	6	0,46	0,41	0,50	0,45
7	0,85	0,55	0,63	0,67	7	0,70	0,49	0,53	0,57	7	1,15	1,13	1,01	1,10	7	0,44	0,48	0,39	0,44
8	0,69	0,71	0,63	0,68	8	0,56	0,56	0,52	0,55	8	1,10	0,98	1,08	1,05	8	0,46	0,37	0,44	0,43
9	0,80	0,68	0,79	0,75	9	0,65	0,61	0,62	0,63	9	1,88	2,38	2,69	2,31	9	1,12	1,08	1,13	1,11
10	0,64	0,75	0,65	0,68	10	0,59	0,57	0,49	0,55	10	2,02	2,00	1,83	1,95	10	1,10	1,07	1,05	1,07
11	0,77	0,69	0,83	0,76	11	0,68	0,63	0,62	0,64	11	2,20	1,98	2,04	2,07	11	1,19	1,25	1,19	1,21
12	0,86	0,73	0,70	0,76	12	0,67	0,63	0,58	0,63	12	1,82	1,91	1,85	1,86	12	1,12	1,06	1,09	1,09
13	0,69	0,72	0,79	0,73	13	0,59	0,63	0,64	0,62	13	1,88	1,85	2,01	1,92	13	1,20	1,11	1,11	1,14
14	0,92	0,81	0,70	0,81	14	0,71	0,69	0,63	0,68	14	2,16	1,84	1,87	1,96	14	1,16	1,06	1,09	1,10
15	0,81	0,76	0,77	0,78	15	0,72	0,69	0,69	0,70	15	2,00	1,86	1,96	1,94	15	1,14	1,05	1,10	1,09
16	0,67	0,78	0,80	0,75	16	0,60	0,68	0,67	0,65	16	2,07	2,21	2,20	2,16	16	1,18	1,15	1,12	1,15
17	0,81	0,83	0,92	0,85	17	0,65	0,63	0,72	0,66	17	1,21	1,21	1,28	1,24	17	0,46	0,43	0,42	0,44
18	0,86	0,82	0,79	0,82	18	0,68	0,62	0,61	0,63	18	1,19	1,23	1,17	1,20	18	0,42	0,45	0,46	0,45
19	0,69	0,76	0,88	0,78	19	0,61	0,64	0,64	0,63	19	1,18	1,17	1,24	1,20	19	0,48	0,42	0,39	0,43
20	0,79	0,83	0,70	0,78	20	0,56	0,60	0,57	0,58	20	1,26	1,19	1,20	1,22	20	0,45	0,46	0,52	0,48
<b>Média</b>	<b>0,73</b>			<b>0,73</b>	<b>Média</b>	<b>0,59</b>			<b>0,59</b>	<b>Média</b>	<b>1,46</b>			<b>1,46</b>	<b>Média</b>	<b>0,71</b>			<b>0,71</b>
<b>DesvPad</b>	<b>0,09</b>			<b>0,07</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,07</b>			<b>0,06</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,49</b>			<b>0,49</b>	<b>DesvPad</b>	<b>0,35</b>			<b>0,35</b>
<b>Máximo</b>	<b>0,92</b>			<b>0,85</b>	<b>Máximo</b>	<b>0,72</b>			<b>0,70</b>	<b>Máximo</b>	<b>2,69</b>			<b>2,31</b>	<b>Máximo</b>	<b>1,25</b>			<b>1,21</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,52</b>			<b>0,54</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,44</b>			<b>0,47</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,81</b>			<b>0,83</b>	<b>Mínimo</b>	<b>0,36</b>			<b>0,38</b>

## APÊNDICE 2 - RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE TOPOGRAFIA 3D

Categoria	Ensaio	Defeito recorrente	Parâmetros de altura							Parâmetros funcionais			Parâmetros espaciais		
			<i>Sq</i>	<i>Ssk</i>	<i>Sku</i>	<i>Sp</i>	<i>Sv</i>	<i>Sz</i>	<i>Sa</i>	<i>Smr</i>	<i>Smc</i>	<i>Sxp</i>	<i>Sal</i>	<i>Str</i>	<i>Std</i>
Motor Novo maior Pt	1	Não	0,4187	0,3342	4,9020	1,7790	1,4500	3,2290	0,2990	4,5590	0,4896	0,8644	0,001432	0,0773	92,51
Motor Novo maior Pt	2	Não	0,4676	0,2186	3,5950	1,6580	1,3860	3,0440	0,3553	8,7320	0,5933	0,9219	0,001572	0,0739	91,78
Motor Novo maior Pt	3	Não	0,4702	0,1944	3,6280	1,7110	1,4150	3,1260	0,3581	7,0780	0,5909	0,9372	0,001714	0,0791	87,47
Motor Novo maior Pt	4	Sim	0,4587	0,2796	3,7740	1,8050	1,3270	3,1330	0,3476	5,1720	0,5732	0,8978	0,001824	0,0752	92,53
Motor Novo maior Pt	5	Não	0,4477	0,2252	3,8040	1,7050	1,3580	3,0620	0,3380	6,3930	0,5539	0,8936	0,001681	0,0714	87,48
Motor Novo maior Pt	6	Não	0,4538	0,1855	3,6510	1,7330	1,3880	3,1200	0,3467	5,9660	0,5693	0,9007	0,001841	0,0877	87,24
Motor Novo maior Pt	7	Não	0,4441	-0,0127	3,4120	1,4950	1,4480	2,9430	0,3433	12,1400	0,5512	0,9220	0,001830	0,1089	87,99
Motor Novo maior Pt	8	Não	0,4505	0,07142	3,5200	1,6070	1,4160	3,0220	0,3455	8,7650	0,5633	0,9175	0,001789	0,0780	92,75
Motor Novo maior Pt	9	Não	0,4500	0,1225	3,6550	1,6070	1,4320	3,0400	0,3425	8,6370	0,5612	0,9107	0,001760	0,0917	92,53
Motor Novo menor Pt	1	Não	0,4764	0,2073	3,5340	1,6760	1,4350	3,1120	0,3655	8,1360	0,6068	0,9296	0,001990	0,0876	92,52
Motor Novo menor Pt	2	Não	0,4334	0,1622	3,6720	1,5860	1,3280	2,9130	0,3308	8,4290	0,5331	0,8743	0,001895	0,0830	92,51
Motor Novo menor Pt	3	Não	0,4535	0,2281	3,6530	1,7460	1,3570	3,1030	0,3476	5,6540	0,5666	0,8892	0,001901	0,0735	92,51
Motor Novo menor Pt	4	Não	0,4362	0,2817	3,9560	1,7310	1,3040	3,0350	0,3289	5,3810	0,5290	0,8660	0,001810	0,0783	92,51
Motor Novo menor Pt	5	Não	0,4509	0,1653	3,9600	1,8410	1,3630	3,2030	0,3445	3,9230	0,5618	0,9057	0,001916	0,0881	92,52
Motor Novo menor Pt	6	Não	0,4451	0,1617	3,5910	1,6180	1,3610	2,9790	0,3402	8,2500	0,5568	0,8909	0,001896	0,0809	92,52
Motor Novo menor Pt	7	Não	0,4679	0,1564	3,6980	1,7230	1,4710	3,1950	0,3564	6,4920	0,5712	0,9438	0,001861	0,0781	92,52
Motor Novo menor Pt	8	Não	0,4378	0,1131	3,4710	1,6280	1,3190	2,9470	0,3380	7,6060	0,5471	0,8765	0,001808	0,1028	92,51
Motor Novo menor Pt	9	Não	0,4452	0,2613	3,8330	1,7110	1,3160	3,0280	0,3361	6,7210	0,5487	0,8807	0,001710	0,0893	92,53

Categoria	Ensaio	Defeito recorrente	Parâmetros híbridos		Parametros de volume					
			Sdq	Sdr	Vm	Vv	Vmp	Vmc	Vvc	Vvv
Motor Novo maior Pt	1	Não	0,5678	13,77	0,0000334	0,0005230	0,0000334	0,0002949	0,0004670	0,0000560
Motor Novo maior Pt	2	Não	0,6234	16,57	0,0000298	0,0006231	0,0000298	0,0003823	0,0005667	0,0000563
Motor Novo maior Pt	3	Não	0,6100	15,96	0,0000298	0,0006207	0,0000298	0,0003856	0,0005643	0,0000565
Motor Novo maior Pt	4	Sim	0,5802	14,50	0,0000307	0,0006039	0,0000307	0,0003732	0,0005500	0,0000540
Motor Novo maior Pt	5	Não	0,5795	14,49	0,0000298	0,0005837	0,0000298	0,0003624	0,0005291	0,0000546
Motor Novo maior Pt	6	Não	0,5747	14,39	0,0000283	0,0005976	0,0000283	0,0003749	0,0005433	0,0000543
Motor Novo maior Pt	7	Não	0,5789	14,81	0,0000248	0,0005759	0,0000248	0,0003799	0,0005209	0,0000550
Motor Novo maior Pt	8	Não	0,5829	14,87	0,0000264	0,0005897	0,0000264	0,0003760	0,0005339	0,0000559
Motor Novo maior Pt	9	Não	0,5806	14,66	0,0000278	0,0005890	0,0000278	0,0003657	0,0005326	0,0000564
Motor Novo menor Pt	1	Não	0,5796	14,52	0,0000293	0,0006361	0,0000293	0,0003924	0,0005799	0,0000562
Motor Novo menor Pt	2	Não	0,5364	12,60	0,0000276	0,0005607	0,0000276	0,0003567	0,0005078	0,0000529
Motor Novo menor Pt	3	Não	0,5512	13,14	0,0000286	0,0005953	0,0000286	0,0003758	0,0005421	0,0000532
Motor Novo menor Pt	4	Não	0,5455	12,92	0,0000302	0,0005593	0,0000302	0,0003499	0,0005062	0,0000531
Motor Novo menor Pt	5	Não	0,5531	13,30	0,0000277	0,0005895	0,0000277	0,0003742	0,0005351	0,0000544
Motor Novo menor Pt	6	Não	0,5526	13,37	0,0000276	0,0003682	0,0000276	0,0036820	0,0005306	0,0000538
Motor Novo menor Pt	7	Não	0,5862	14,80	0,0000307	0,0006019	0,0000307	0,0003855	0,0005448	0,0000571
Motor Novo menor Pt	8	Não	0,5552	13,57	0,0000258	0,0005730	0,0000258	0,0003700	0,0005205	0,0000525
Motor Novo menor Pt	9	Não	0,5733	14,20	0,0000305	0,0005792	0,0000305	0,0003577	0,0005257	0,0000535

Categoria	Ensaio	Defeito recorrente	Parâmetros especiais					Parâmetros Euro 15178N				
			Spd	Spc	S10z	S5p	S5v	Sk	Spk	Svk	Sr1	Sr2
Motor Novo maior Pt	1	Não	22568	1337	3,507	1,816	1,691	0,7555	0,6682	0,5661	14,35	87,05
Motor Novo maior Pt	2	Não	26737	1442	3,286	1,787	1,499	0,8661	0,7270	0,5427	13,79	87,04
Motor Novo maior Pt	3	Não	27763	1363	3,553	1,989	1,564	0,8757	0,7074	0,5290	14,11	87,71
Motor Novo maior Pt	4	Sim	26222	1350	3,416	1,952	1,463	0,8338	0,7207	0,5118	14,09	87,74
Motor Novo maior Pt	5	Não	27165	1329	3,558	1,897	1,662	0,8001	0,7061	0,5266	14,05	86,85
Motor Novo maior Pt	6	Não	28529	1292	3,414	1,949	1,465	0,8130	0,6665	0,5323	14,31	87,16
Motor Novo maior Pt	7	Não	30649	1223	3,044	1,657	1,388	0,8697	0,5357	0,5344	12,61	87,16
Motor Novo maior Pt	8	Não	29892	1258	3,187	1,705	1,481	0,8738	0,5631	0,5594	12,91	87,16
Motor Novo maior Pt	9	Não	27720	1262	3,353	1,765	1,588	0,8457	0,6042	0,5898	13,51	87,11
Motor Novo menor Pt	1	Não	26802	1288	3,231	1,812	1,419	0,8673	0,6839	0,5321	13,90	87,85
Motor Novo menor Pt	2	Não	26797	1201	3,322	1,961	1,361	0,8199	0,6450	0,4879	14,01	87,66
Motor Novo menor Pt	3	Não	25344	1270	3,336	1,843	1,493	0,8672	0,6756	0,4661	13,66	88,36
Motor Novo menor Pt	4	Não	25257	1272	3,243	1,931	1,312	0,7974	0,7062	0,4647	14,10	87,50
Motor Novo menor Pt	5	Não	25041	1236	3,419	1,955	1,464	0,8322	0,6366	0,5383	13,79	87,19
Motor Novo menor Pt	6	Não	26883	1231	3,484	1,988	1,496	0,8320	0,6488	0,4892	14,38	87,73
Motor Novo menor Pt	7	Não	26413	1298	3,707	2,100	1,606	0,7915	0,7079	0,5710	14,85	86,35
Motor Novo menor Pt	8	Não	28314	1232	3,292	1,744	1,548	0,8552	0,5891	0,5194	13,17	87,32
Motor Novo menor Pt	9	Não	27092	1284	3,286	1,898	1,389	0,7954	0,7133	0,5122	14,65	87,10

Categoria	Ensaio	Defeito recorrente	Outros Parâmetros				Parâmetros de planeza			
			Sds	Ssc	Sfd	Sdc	FLTt	FLTp	FLTv	FLTq
Motor Novo maior Pt	1	Não	63981	836,9	2,797	0,8493	0,9218	0,4432	0,4787	0,112
Motor Novo maior Pt	2	Não	64625	948,1	2,842	0,9490	0,9742	0,5224	0,4517	0,109
Motor Novo maior Pt	3	Não	64933	936,9	2,820	0,9498	1,0880	0,4371	0,6513	0,1318
Motor Novo maior Pt	4	Sim	63889	897,2	2,810	0,9232	1,2310	0,6927	0,538	0,1391
Motor Novo maior Pt	5	Não	64639	890,1	2,805	0,8915	0,9446	0,4282	0,5064	0,126
Motor Novo maior Pt	6	Não	64047	903,4	2,821	0,9182	1,4990	1,021	0,4774	0,1457
Motor Novo maior Pt	7	Não	61165	916,3	2,858	0,9008	0,9078	0,4263	0,4815	0,1292
Motor Novo maior Pt	8	Não	63456	921,0	2,829	0,9099	1,0380	0,5522	0,4857	0,1357
Motor Novo maior Pt	9	Não	63608	882,5	2,825	0,8983	0,8937	0,4816	0,4121	0,1326
Motor Novo menor Pt	1	Não	63237	890,4	2,820	0,9723	1,9970	1,16	0,8367	0,1721
Motor Novo menor Pt	2	Não	59342	852,1	2,814	0,8645	0,9576	0,445	0,5126	0,1293
Motor Novo menor Pt	3	Não	63292	854,6	2,805	0,9179	1,6570	1,118	0,5382	0,1577
Motor Novo menor Pt	4	Não	61241	846,0	2,810	0,8560	0,8821	0,4233	0,4588	0,1273
Motor Novo menor Pt	5	Não	60363	840,2	2,803	0,9093	1,5010	1,064	0,4371	0,1444
Motor Novo menor Pt	6	Não	60700	870,4	2,824	0,8987	1,0040	0,4782	0,5257	0,1394
Motor Novo menor Pt	7	Não	62807	891,1	2,807	0,9303	1,1600	0,5724	0,5874	0,1591
Motor Novo menor Pt	8	Não	61349	879,6	2,833	0,8904	0,9877	0,5163	0,4714	0,1243
Motor Novo menor Pt	9	Não	61967	891,0	2,821	0,8833	1,0300	0,5183	0,5114	0,1271

Categoria	Ensaio	Defeito recorrente	Parâmetros de altura							Parâmetros funcionais			Parâmetros espaciais		
			Sq	Ssk	Sku	Sp	Sv	Sz	Sa	Smr	Smc	Sxp	Sal	Str	Std
Motor Antigo maior Pt	1	Não	0,4362	0,1520	3,7640	1,7140	1,3300	3,0440	0,3321	5,4660	0,5293	0,8863	0,001756	0,0827	85,76
Motor Antigo maior Pt	2	Sim	0,4631	0,0856	3,5300	1,6890	1,4700	3,1590	0,3588	6,5350	0,5667	0,9333	0,002495	0,0413	92,79
Motor Antigo maior Pt	3	Sim	0,4933	0,0540	3,7180	2,0510	1,7360	3,7870	0,3787	2,1650	0,6069	1,0040	0,001891	0,0953	92,51
Motor Antigo maior Pt	4	Sim	0,5094	0,2693	4,2670	2,5690	1,9210	4,4890	0,3861	0,4167	0,6384	0,9776	0,001745	0,0841	87,50
Motor Antigo maior Pt	5	Sim	0,5948	0,2276	3,2920	2,1010	1,7650	3,8650	0,4638	4,2200	0,7810	1,1120	0,004621	0,4057	87,24
Motor Antigo maior Pt	6	Não	0,4323	0,2468	3,9220	1,6210	1,3390	2,9600	0,3242	7,7600	0,5356	0,8624	0,001667	0,0822	92,29
Motor Antigo maior Pt	7	Não	0,4734	0,2401	3,4960	1,8140	1,3590	3,1740	0,3656	5,2480	0,6002	0,9081	0,001851	0,0588	92,53
Motor Antigo maior Pt	8	Sim	0,4963	0,1677	3,2990	1,7490	1,4890	3,2390	0,3888	6,9160	0,6325	0,9465	0,004134	0,0391	92,52
Motor Antigo maior Pt	9	Não	0,4625	0,1270	3,3890	1,8440	1,3490	3,1940	0,3611	3,8020	0,5824	0,9114	0,002249	0,0908	87,25
Motor Antigo menor Pt	1	Não	0,4511	0,1595	3,5140	1,5860	1,3930	2,9790	0,3467	9,4070	0,5668	0,8910	0,001756	0,0934	92,30
Motor Antigo menor Pt	2	Não	0,4372	0,1997	3,7400	1,6640	1,3500	3,0140	0,3324	6,7850	0,5435	0,8673	0,001672	0,0782	87,48
Motor Antigo menor Pt	3	Não	0,4383	0,1070	3,5600	1,7300	1,3260	3,0560	0,3376	5,1500	0,5434	0,8847	0,001921	0,1258	87,23
Motor Antigo menor Pt	4	Não	0,4425	0,2026	3,6890	1,7190	1,3210	3,0400	0,3378	5,7200	0,5468	0,8794	0,001745	0,0869	92,52
Motor Antigo menor Pt	5	Não	0,4344	0,0174	3,8960	1,7090	1,5910	3,3000	0,3291	5,4820	0,5348	0,9012	0,001922	0,1342	87,48
Motor Antigo menor Pt	6	Não	0,4417	0,1447	3,7010	1,7150	1,3570	3,0720	0,3362	5,8060	0,5491	0,8951	0,001673	0,0864	92,51
Motor Antigo menor Pt	7	Não	0,4423	0,1407	3,7150	1,5980	1,4170	3,0140	0,3357	8,6650	0,5524	0,8936	0,001702	0,0876	86,52
Motor Antigo menor Pt	8	Não	0,4667	0,2254	3,5670	1,7670	1,3860	3,1530	0,3590	5,7090	0,5901	0,9008	0,002131	0,0483	94,24
Motor Antigo menor Pt	9	Não	0,4497	0,1330	3,7420	1,6370	1,4410	3,0780	0,3410	7,7970	0,5547	0,9137	0,001720	0,0694	92,75

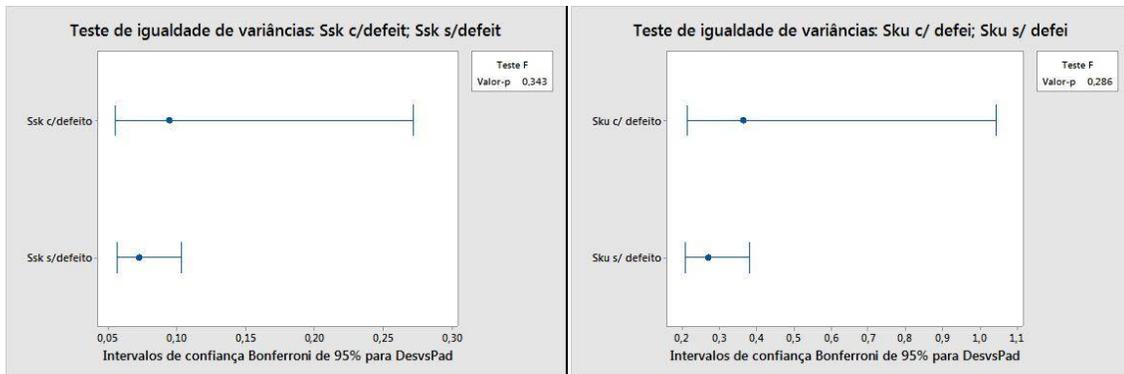
Categoria	Ensaio	Defeito recorrente	Parâmetros híbridos		Parâmetros de volume					
			Sdq	Sdr	Vm	Vv	Vmp	Vmc	Vvc	Vvv
Motor Antigo maior Pt	1	Não	0,5384	12,59	0,0000282	0,0005575	0,0000282	0,0003565	0,0005036	0,0000539
Motor Antigo maior Pt	2	Sim	0,5332	12,42	0,0000273	0,0005940	0,0000273	0,0003934	0,0005384	0,0000556
Motor Antigo maior Pt	3	Sim	0,6644	19,10	0,0000285	0,0006353	0,0000285	0,0004172	0,0005743	0,0000610
Motor Antigo maior Pt	4	Sim	0,6906	20,33	0,0000319	0,0006703	0,0000319	0,0004150	0,0006102	0,0000600
Motor Antigo maior Pt	5	Sim	0,5974	15,47	0,0000336	0,0008145	0,0000336	0,0005086	0,0007495	0,0000650
Motor Antigo maior Pt	6	Não	0,5594	13,56	0,0000294	0,0005651	0,0000294	0,0003418	0,0005117	0,0000534
Motor Antigo maior Pt	7	Não	0,5925	15,12	0,0000293	0,0006295	0,0000293	0,0003943	0,0005753	0,0000542
Motor Antigo maior Pt	8	Sim	0,5756	14,42	0,0000282	0,0006607	0,0000282	0,0004264	0,0006052	0,0000556
Motor Antigo maior Pt	9	Não	0,5640	14,09	0,0000258	0,0006082	0,0000258	0,0003991	0,0005546	0,0000536
Motor Antigo menor Pt	1	Não	0,5827	14,84	0,0000275	0,0005944	0,0000275	0,0003762	0,0005406	0,0000537
Motor Antigo menor Pt	2	Não	0,5565	13,43	0,0000280	0,0005715	0,0000280	0,0003576	0,0005188	0,0000527
Motor Antigo menor Pt	3	Não	0,5520	13,47	0,0000260	0,0005694	0,0000260	0,0003676	0,0005162	0,0000532
Motor Antigo menor Pt	4	Não	0,5652	13,91	0,0000282	0,0005750	0,0000282	0,0003650	0,0005216	0,0000534
Motor Antigo menor Pt	5	Não	0,5393	12,81	0,0000260	0,0005608	0,0000260	0,0003507	0,0005046	0,0000562
Motor Antigo menor Pt	6	Não	0,5758	14,39	0,0000275	0,0005766	0,0000275	0,0003608	0,0005218	0,0000547
Motor Antigo menor Pt	7	Não	0,5733	14,24	0,0000276	0,0005800	0,0000276	0,0003574	0,0005249	0,0000551
Motor Antigo menor Pt	8	Não	0,5605	13,57	0,0000288	0,0006189	0,0000288	0,0003889	0,0005650	0,0000539
Motor Antigo menor Pt	9	Não	0,5759	14,26	0,0000287	0,0005834	0,0000287	0,0003683	0,0005280	0,0000554

Categoria	Ensaio	Defeito recorrente	Parâmetros especiais					Parâmetros Euro 15178N				
			<i>Spd</i>	<i>Spc</i>	<i>S10z</i>	<i>S5p</i>	<i>S5v</i>	Sk	Spk	Svk	Sr1	Sr2
Motor Antigo maior Pt	1	Não	26837	1182	3,296	1,864	1,432	0,7943	0,6700	0,5124	13,96	87,61
Motor Antigo maior Pt	2	Sim	26181	1207	3,377	1,781	1,596	0,7923	0,6486	0,4922	13,52	87,42
Motor Antigo maior Pt	3	Sim	29418	1597	4,337	2,253	2,083	0,9242	0,5832	0,5902	12,45	86,80
Motor Antigo maior Pt	4	Sim	25841	1841	4,806	2,712	2,094	0,9023	0,7138	0,5598	14,11	87,41
Motor Antigo maior Pt	5	Sim	25551	1387	3,564	2,037	1,526	0,9045	0,6541	0,5050	13,55	88,00
Motor Antigo maior Pt	6	Não	25933	1298	3,155	1,744	1,411	0,7723	0,6930	0,5227	14,60	87,05
Motor Antigo maior Pt	7	Não	27260	1349	3,102	1,760	1,342	0,8324	0,7035	0,4927	14,58	87,88
Motor Antigo maior Pt	8	Sim	27137	1315	3,332	1,795	1,537	0,8661	0,6408	0,5035	13,55	87,60
Motor Antigo maior Pt	9	Não	29050	1218	3,188	1,743	1,445	0,8933	0,5518	0,4947	12,59	87,64
Motor Antigo menor Pt	1	Não	29850	1293	3,205	1,695	1,510	0,8644	0,6293	0,4872	13,50	87,95
Motor Antigo menor Pt	2	Não	26866	1238	3,355	1,819	1,537	0,8486	0,6494	0,5097	13,56	87,76
Motor Antigo menor Pt	3	Não	30137	1228	3,085	1,690	1,395	0,8585	0,5975	0,4742	13,05	88,05
Motor Antigo menor Pt	4	Não	28416	1283	3,546	1,937	1,609	0,8554	0,6675	0,4590	13,58	87,83
Motor Antigo menor Pt	5	Não	24540	1189	3,202	1,668	1,534	0,7849	0,5670	0,5550	13,43	87,08
Motor Antigo menor Pt	6	Não	27786	1271	3,103	1,668	1,435	0,8372	0,6101	0,5511	13,87	87,12
Motor Antigo menor Pt	7	Não	26940	1258	3,390	1,826	1,564	0,8215	0,6347	0,5489	13,59	87,14
Motor Antigo menor Pt	8	Não	26812	1302	3,423	1,994	1,429	0,8251	0,6924	0,4674	14,14	88,09
Motor Antigo menor Pt	9	Não	26618	1263	3,571	1,836	1,734	0,8115	0,6393	0,5704	13,72	86,72

Categoria	Ensaio	Defeito recorrente	Outros Parâmetros				Parâmetros de planeza			
			Sds	Ssc	Sfd	Sdc	FLTt	FLTp	FLTv	FLTq
Motor Antigo maior Pt	1	Não	64799	822,3	2,799	0,8601	1,017	0,4792	0,5379	0,1462
Motor Antigo maior Pt	2	Sim	61934	836,6	2,786	0,9318	1,265	0,6385	0,6264	0,2141
Motor Antigo maior Pt	3	Sim	66259	1107,0	2,806	0,9915	1,253	0,6414	0,6116	0,1649
Motor Antigo maior Pt	4	Sim	66271	1166,0	2,776	1,0250	1,074	0,5958	0,4778	0,1623
Motor Antigo maior Pt	5	Sim	62551	950,0	2,801	1,2580	2,298	1,306	0,9919	0,3767
Motor Antigo maior Pt	6	Não	64615	919,9	2,824	0,9696	1,124	0,5692	0,5547	0,1824
Motor Antigo maior Pt	7	Não	68630	1038,0	2,822	0,9376	1,114	0,5984	0,5161	0,1292
Motor Antigo maior Pt	8	Sim	63512	907,2	2,817	1,0320	1,47	0,7464	0,7237	0,246
Motor Antigo maior Pt	9	Não	62551	896,5	2,837	0,9537	1,537	0,9905	0,5461	0,1762
Motor Antigo menor Pt	1	Não	64496	933,2	2,842	0,9168	1,126	0,4516	0,6749	0,137
Motor Antigo menor Pt	2	Não	63876	857,9	2,812	0,8764	0,9072	0,4561	0,451	0,1147
Motor Antigo menor Pt	3	Não	64443	903,8	2,821	0,8838	0,9972	0,4623	0,535	0,1432
Motor Antigo menor Pt	4	Não	62344	911,1	2,828	0,8866	1,33	0,798	0,5315	0,1285
Motor Antigo menor Pt	5	Não	57686	819,9	2,801	0,8553	2,151	1,128	1,023	0,1248
Motor Antigo menor Pt	6	Não	63264	885,4	2,821	0,8826	1,084	0,5815	0,5023	0,1155
Motor Antigo menor Pt	7	Não	63701	868,1	2,820	0,8823	1,025	0,5589	0,4659	0,1286
Motor Antigo menor Pt	8	Não	63603	887,1	2,805	0,9539	1,269	0,5682	0,7007	0,1988
Motor Antigo menor Pt	9	Não	64110	863,4	2,807	0,8963	1,167	0,5762	0,5906	0,1544

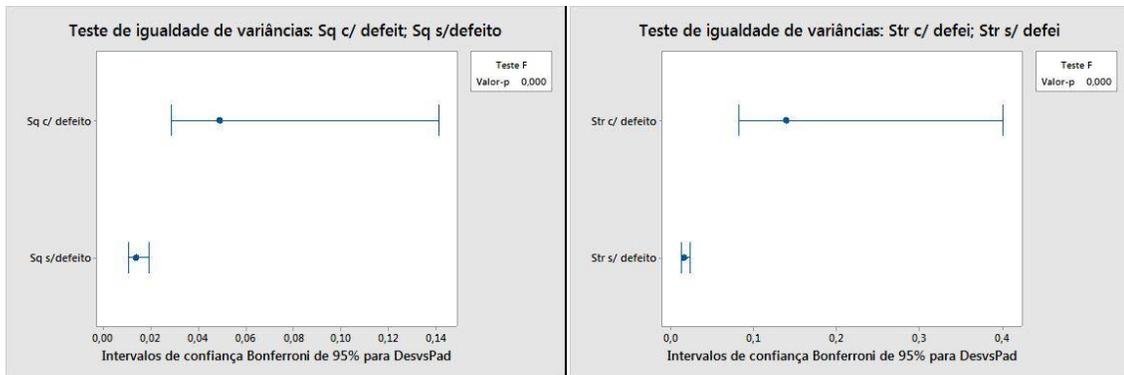
### APÊNDICE 3 - FIGURAS DO TESTE F PARA COMPARAR AS VARIÂNCIAS DOS PARAMETROS SSK, SKU E STR

Nestas Figuras a sobreposição dos segmentos significa que as variâncias são significativamente iguais e segmentos não sobrepostos mostram variâncias significativamente diferentes.



**Figura 75 - Teste de igualdade tipo F para variâncias entre as amostras com e sem o defeito característico para os parâmetros Ssk e Sku**

Fonte: Autoria própria



**Figura 76 – Teste de igualdade tipo F para variâncias entre as amostras com e sem o defeito característico para os parâmetros Sq e Str**

Fonte: Autoria própria