

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

***ESTUDO DA MEDIÇÃO DA TEXTURA DE SUPERFÍCIES COM
SONDAS MECÂNICAS E COM SONDAS ÓPTICAS TIPO SEGUIDOR***

TESE SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR
EM ENGENHARIA MECÂNICA

LUCIANO BET

FLORIANÓPOLIS, NOVEMBRO DE 1999

**ESTUDO DA MEDIÇÃO DA TEXTURA DE SUPERFÍCIES COM
SONDAS MECÂNICAS E COM SONDAS ÓPTICAS TIPO SEGUIDOR**

LUCIANO BET

ESTA TESE FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

DOUTOR EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA EM SUA FORMA
FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Lourival Boehs, Dr. Eng. Mec. – Orientador



Prof. Júlio César Passos, Dr. – Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA



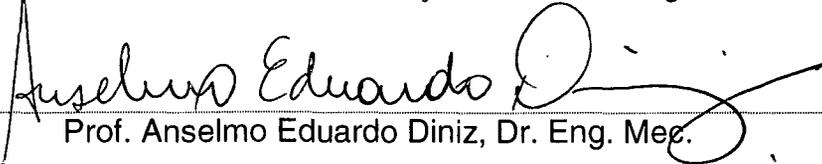
Prof. Lourival Boehs, Dr. Eng. Mec. – Presidente



Prof. Walter Lindolfo Weingaertner, Dr. Ing.



Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr. Eng. Mec.



Prof. Anselmo Eduardo Diniz, Dr. Eng. Mec.



Profª. Noemia Gomes de Mattos de Mesquita, Dra. Eng. Mec.

À minha esposa Ana Lúcia, pelo amor, incentivo e cobrança sincera.

Aos meus filhos Roberto e Felipe, pela paciência na longa espera de mais tempo em comum.

Aos meus pais Giuseppe e Maria e ao meu irmão Roberto, pelo apoio incansável e incondicional.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Lourival Boehs, sempre disposto a auxiliar e a incentivar o trabalho com seu conhecimento e experiência. Ouvinte atento, raramente deixou uma questão sem resposta e jamais deixou uma inquietação sem um conselho pertinente.

Ao Prof. Walter Lindolfo Weingaertner, pelas inúmeras vezes que colocou a disposição o seu conhecimento e o LMP para enriquecer este trabalho.

Aos técnicos do GRUCON/USICON Sérgio e Renato (In Memoriam) pelo treinamento no uso de equipamentos e de máquinas e pela ajuda na confecção dos corpos de prova.

Aos bolsistas Gilmar C. Vicentin, Mário Henrique S. S. Lima e Gustavo Renê Mostiack, pela seriedade e presteza com que apoiaram todos os passos no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os amigos do LMP, técnicos, graduandos e pós-graduandos, que muito contribuíram com opiniões relevantes e apoio logístico nas tarefas experimentais e na organização deste trabalho.

Aos amigos doutorandos, Isnardo Gonzales e Luiz Airton, sempre com opiniões lúcidas e pertinentes.

Aos amigos do DEM/UFRN Prof. Cláudio Romero, Prof. João Telésforo, Prof. José Alberto e Prof.^o Neyde Tomazzin, pela compreensão na ausência, apoio incondicional e incentivo nos momentos mais críticos.

À CAPES, pelo auxílio financeiro na forma de quatro anos de bolsa de doutorado.

A UFRN por ter me dado a oportunidade de me afastar temporariamente para cursar o doutorado em outra instituição.

A todos aqueles da UFRN e da UFSC, que de maneira direta ou indireta tornaram possível a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	ix
SIMBOLOGIA	x
BIOGRAFIA DO AUTOR	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS DO TRABALHO	5
2.1 Objetivo geral	5
2.2 Objetivos específicos	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1 Tecnologia de superfície	7
3.2 Textura de uma superfície	9
3.2.1 Metrologia de superfície	10
3.2.2 Descrição de uma superfície para efeito da textura	13
3.2.3 Elementos de textura	16
3.3 Relação entre a textura e a função	20
3.3.1 Funções de uma superfície técnica	21
3.3.2 Estudo da relação textura/função	22
3.3.3 Exemplos de superfícies com funções tecnológicas	26

3.3.4	Comparação e caracterização de superfícies	34
3.3.5	Comentários finais sobre o trinômio textura-função-fabricação .	36
3.4	Medição da textura	37
3.4.1	Sistemas de medição	38
3.4.2	Medição bidimensional versus medição tridimensional	45
3.4.3	Filtragem de sinais	47
3.4.4	Metodologia para a medição da textura	54
3.4.5	Comentários gerais	57
3.5	Instrumentos para medição da textura	57
3.5.1	Classificação dos instrumentos para medição da textura	59
3.5.2	Princípio básico de funcionamento de um rugosímetro	61
3.5.3	Sondas com apalpadores do tipo estilete	62
3.5.4	Sonda óptica do tipo seguidor	67
3.5.6	Comparação entre estilete e sonda óptica	72
3.5.7	Instrumentos capacitivos	75
3.5.8	Instrumentos ópticos	78
3.5.9	Microscópio de varredura por tunelamento	82
3.5.10	Microscópio de força atômica	84
3.5.11	Outros métodos	86
3.5.12	Considerações gerais	88
3.6	Parâmetros para a caracterização da textura de superfícies	89
3.6.1	Generalidades	90
3.6.2	Parâmetros verticais	94
3.6.3	Parâmetros horizontais	99

3.6.4 Parâmetros para ângulos e declives	101
3.6.5 Parâmetros híbridos	101
3.6.6 Parâmetros de forma	102
3.6.7 Função de auto-correlação	111
3.6.8 Parâmetros tridimensionais	112
3.6.9 Outros parâmetros	115
3.6.10 Comentários	116
3.7 Programas computacionais para rugosímetros	118
3.7.1 Exigências	119
3.7.2 Comentários	122
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	123
4.1. Corpos de prova	123
4.2. Equipamentos	123
4.3. Calibração e ajustagem das sondas	126
4.4. Procedimentos de medição	130
4.4.1 Local de medição	130
4.4.2 Direção de medição	132
4.4.3 Número de medições	133
4.4.4 Seleção de λ_c e do tipo de filtro	134
4.4.5 Seleção de parâmetros de textura	136
4.5 Programa de comunicação rugosímetro-computador	140
4.5.1 Equipamentos e métodos	140
4.5.2 Comentários	144
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	145

5.1 Protocolos gráficos de rugosidade	146
5.2 Imagens por microscopia óptica e eletrônica	173
5.3 Parâmetros de textura	187
5.3.1 Análise geral	189
5.3.2 Seleção de parâmetros e comparação de resultados	196
5.3.3 Comentários sobre outros parâmetros	206
5.3.4 Discussão sobre a metodologia de medição proposta e aplicada	208
5.4 Interfaceamento entre o rugosímetro S8P e um microcomputador	211
6. CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES	213
6.1 Revisão bibliográfica	214
6.2 Procedimentos de medição	215
6.3 Programas computacionais para a análise da textura superficial	216
6.4 Desenvolvimento experimental	217
6.5 Contatos com o meio industrial e formação de especialistas	221
6.6 Conclusões finais	221
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	223
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	226

APÊNDICES

Apêndice 1. Corpos de prova e equipamentos

Apêndice 2. Descrição dos principais parâmetros de textura

Apêndice 3. Seleção de normas em textura superficial

Apêndice 4. Proposta de questionário para pesquisa em indústrias

Apêndice 5. Planilhas com dados pré-processados

Apêndice 6. Tabelas de resultados de medição

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01. Seção simulada da superfície de uma peça com suas camadas inferiores	8
FIGURA 02. Relação entre metrologia de superfície, fabricação e função da superfície de um componente.....	11
FIGURA 03. Exemplos dos perfis geométrico, real e efetivo	14
FIGURA 04. Desvios de forma do perfil de uma superfície técnica	15
FIGURA 05. Elementos da textura em uma superfície com sulcos unidirecionais	17
FIGURA 06. Caminhos para o preenchimento da função de uma superfície	26
FIGURA 07. Influência da rugosidade no processo de fadiga	31
FIGURA 08. Definição de linha média	39
FIGURA 09. Percursos e comprimentos típicos utilizados no Sistema M	40
FIGURA 10. MOTIF e de seus elementos geométricos	43
FIGURA 11. Condições para combinação de dois Motifs	44
FIGURA 12. Topografia de uma superfície retificada medida com um apalpador tipo estilete	47
FIGURA 13. Processamento da filtragem elétrica	49
FIGURA 14. Curvas de transmissão características para filtros RC passa-alta	50
FIGURA 15. Sonda com estilete e transdutor indutivo	63
FIGURA 16. Ponta de diamante de um estilete.....	63
FIGURA 17. Esquemas de sondas com patins e com superfícies de referência	64
FIGURA 18. Erros na representação de um perfil ocasionados pelo uso de patins	66
FIGURA 19. Esquema de uma sonda óptica	69
FIGURA 20. Comparação entre as capacidades de penetração nos vãos de um perfil para a ponta do estilete de uma sonda mecânica e	

para o feixe laser de uma sonda óptica	72
FIGURA 21. Esquema de um sensor capacitivo para medição de rugosidade	75
FIGURA 22. Esquema de um interferômetro de dois feixes	79
FIGURA 23. Esquema de funcionamento de um microscópio de varredura por tunelamento (MVT).....	83
FIGURA 24. Esquema de funcionamento de um microscópio de força atômica	85
FIGURA 25. Gráfico de um perfil de rugosidade típico	93
FIGURA 26. Perfis com formas distintas e mesmo R_a	95
FIGURA 27. Associações de parâmetros verticais para diferenciação de perfis	98
FIGURA 28. Perfis com R_z e R_{max} semelhantes, mas P_c bem distintos	99
FIGURA 29. Curvas de Abbott para superfícies com diferentes capacidades de carga	103
FIGURA 30. Comparação entre os valores de R_{pk} , R_{vk} e R_k para dois perfis com o mesmo R_a	104
FIGURA 31. Curvas de densidade de amplitudes para diferentes formas de perfis de rugosidade	107
FIGURA 32. Superfícies com diferentes valores para o coeficiente de enchimento K_p	107
FIGURA 33. Vista geral do rugosímetro PERTHEN S8P	125
FIGURA 34. Sonda Mecânica RHT 6-50 (esquerda) e sonda óptica Focodyn (direita)	125
FIGURA 35. Microscópio de ferramentaria Nikon	126
FIGURA 36. Microscópio estereoscópico Zeiss. A direita com câmara CCD e a esquerda com câmara fotográfica	126
FIGURA 37. Protocolo de medição do padrão PEN 10-1 com a sonda RHT 6-50	128
FIGURA 38. Protocolo de medição do padrão PGN 3 com a sonda RHT 6-50	128

FIGURA 39. Tela do programa de ajuste de ganho das sondas	129
FIGURA 40. Reprodução da ponta do estilete da sonda RHT 6-50 e gabarito de raios	130
FIGURA 41. Parte superior: tela do programa 1, para os parâmetros verticais. Parte inferior: tela do programa 2, para os parâmetros horizontais e de forma	138
FIGURA 42. Exemplo de protocolo de medição, com apresentação de parâmetros verticais, curva ADK e perfil de rugosidade	139
FIGURA 43. Exemplo de protocolo estatístico para parâmetros verticais, com nove medições por CP	139
FIGURA 44. Rotina do programa de comunicação rugosímetro-computador	143
FIGURA 45. Tela de transferência de dados	144
FIGURA 46. Exemplo de perfil de rugosidade apresentado em protocolo de medição	148
FIGURA 47. Perfis de rugosidade para CP de aço ABNT 1045 retificado	151
FIGURA 48. Perfis de rugosidade para CP de aço ABNT 1045 retificado e nitretado	152
FIGURA 49. Perfis de rugosidade para CP de aço ABNT 1045 lapidado	153
FIGURA 50. Perfis de rugosidade para CP de aço ABNT 1045 lapidado e nitretado	155
FIGURA 51. Perfis de rugosidade para CP de aço ABNT 1045 polido	156
FIGURA 52. Perfis de rugosidade para CP de aço SAE 316 faceado	157
FIGURA 53. Perfis de rugosidade para CP de aço SAE 316 lapidado	158
FIGURA 54. Perfis de rugosidade para CP de aço SAE 316 polido	159
FIGURA 55. Perfis de rugosidade para CP de aço DIN 100Cr6 retificado	160
FIGURA 56. Perfis de rugosidade para CP de aço fundido FC25 torneado	161
FIGURA 57. Perfis de rugosidade para CP de aço sint. e nitret. tipo 1	162
FIGURA 58. Perfis de rugosidade para CP de aço sinterizado (amostras para tração)	164

FIGURA 59. Perfis de rugosidade para CP de aço sinterizado e nitretado tipo 2	165
FIGURA 60. Perfis de rugosidade para CP de alumínio torneado	166
FIGURA 61. Perfis de rugosidade para CP de alumínio polido	167
FIGURA 62. Perfis de rugosidade para CP de cobre polido	168
FIGURA 63. Perfis de rugosidade para CP de resina acrílica lixada	170
FIGURA 64. Perfis de rugosidade para CP de resina acrílica polida quimicamente	170
FIGURA 65. Perfis de rugosidade para CP de resina acrílica em bruto	171
FIGURA 66. Perfis de rugosidade para CP de gesso.....	172
FIGURA 67. Aço ABNT 1045 retificado (MEV 800x)	174
FIGURA 68. Aço ABNT 1045 retificado e nitretado (MEV 800x)	175
FIGURA 69. Aço ABNT 1045 lapidado (MEV 800x)	176
FIGURA 70. Aço ABNT 1045 lapidado e nitretado (MEV 800x)	177
FIGURA 71. Aço ABNT 1045 polido (MEV 800x)	177
FIGURA 72. Aço inoxidável SAE 316 faceado (MEV 800x)	178
FIGURA 73. Aço inoxidável SAE 316 lapidado (MEV 800x)	179
FIGURA 74. Aço inoxidável SAE 316 polido (MEV 800x)	179
FIGURA 75. Aço DIN 100Cr6 retificado (estereomicroscópio 8x)	180
FIGURA 76. Aço fundido FC25 torneado (estereomicroscópio 8x e 64x)	181
FIGURA 77. Aço sinterizado e nitretado 2 (estereomicroscópio 8x e 64x)	181
FIGURA 78. Aço sinterizado (MEV 100x e 800x)	182
FIGURA 79. Alumínio torneado (MEV 800x)	183
FIGURA 80. Alumínio polido (MEV 800x)	184
FIGURA 81. Cobre polido (MEV 800x)	184

FIGURA 82. Resina acrílica em bruto (estereomicroscópio 8x e 64x)	185
FIGURA 83. Gesso (estereomicroscópio 8x e 64x)	186
FIGURA 84. Razões percentuais (<i>R</i>) entre os parâmetros R_a , R_z e R_t , medidos através de apalpamento com o sensor óptico e com o sensor mecânico	198
FIGURA 85. Razões percentuais (<i>R</i>) entre os parâmetros P_c e HSC, medidos através de apalpamento com o sensor óptico e com o sensor mecânico	199

LISTA DE TABELAS

TABELA 01. Classificação das funções de uma superfície técnica, de acordo com o tipo de contato e de solicitação	22
TABELA 02. Classificação de instrumentos e dispositivos utilizados para medição da textura	60
TABELA 03. Relação de corpos de prova	124
TABELA 04. Quadro sinóptico das razões percentuais (<i>R</i>) entre os parâmetros verticais obtidos com apalpamento óptico e com apalpamento mecânico	190
TABELA 05. Quadro sinóptico das razões percentuais (<i>R</i>) entre os parâmetros horizontais e de forma obtidos com apalpamento óptico e com apalpamento mecânico	191

SIMBOLOGIA

Letras maiúsculas

A	(μm)	Profundidade de desvio de forma
A_k	($\mu\text{m}^2/\text{mm}$)	Área de vales
A_p	($\mu\text{m}^2/\text{mm}$)	Área de picos
AR_i	(μm)	Largura do motif índice i
A_v	($\mu\text{m}^2/\text{mm}$)	Área do núcleo
A_w	(μm)	Distância média de onda
C	(μm)	Profundidade tomada a partir da linha dos picos de um perfil
C_m	(-)	Curvatura
D_a	(-)	Valor médio aritmético do declive do perfil
D_q	(-)	Valor médio quadrático do declive do perfil
$H_1, H_2 -$	(μm)	Profundidades mínima e máxima de um motif
HSC	(picos/cm)	Contagem de picos
K'	(-)	Coefficiente de dispersão
K_e	(-)	Coefficiente de enchimento
K_f	(-)	Fator de forma
K_p	(-)	Coefficiente de vazio
K_{pr}	(-)	Valor característico do perfil
L_0	(mm)	Comprimento retificado do perfil
L_r	(-)	Razão de comprimentos do perfil
M_{r1}	(%)	Menor percentual de suporte da região central
M_{r2}	(%)	Maior percentual de suporte da região central
N_{am}	(-)	Valor médio absoluto da inclinação
P_c	(picos/cm)	Densidade de picos
P_t	(μm)	Profundidade do perfil
Q_{f1}, \dots, Q_{f5}	(-)	Coefficientes de forma
R	(%)	Razão percentual entre parâmetros de textura ópticos e mecânicos
R_a	(μm)	Rugosidade média aritmética
R_c	(μm)	Altura média das irregularidades do perfil
R_i	(μm)	Profundidade média de um motif
$R_{ii}(\lambda), R_{jj}(\lambda)$		Função de autocorrelação
$R_{ij}(\lambda)$		Função de correlação transversa
R_k	(μm)	Profundidade de rugosidade central
R_{Ku}	(-)	Curtose
R_{max}	(μm)	Profundidade máxima individual de rugosidade
R_{maxi}	(%)	Razão percentual máxima
R_{min}	(%)	Razão percentual mínima
R_p	(μm)	Profundidade de alisamento
R_{pi}	(μm)	Profundidade isolada de alisamento
R_{pk}	(μm)	Altura reduzida dos picos
R_{pm}	(μm)	Profundidade de alisamento média

R_q	(μm)	Rugosidade média quadrática
R_{Sk}	(-)	Coefficiente de simetria ou assimetria
R_t	(μm)	Profundidade de rugosidade
R_y	(μm)	Profundidade máxima de vale
R_{vi}	(μm)	Profundidade máxima isolada de vale
R_{vk}	(μm)	Profundidade reduzida dos vales
R_{zDIN}	(μm)	Profundidade média de rugosidade
R_{zISO}	(μm)	Profundidade média de rugosidade
R_{zi}	(μm)	Profundidade isolada de rugosidade
R_y	(μm)	Altura máxima do perfil
R_{3Z}	(μm)	Profundidade de rugosidade de base
R_{3Zm}	(μm)	Profundidade de rugosidade de base máxima
S	(μm)	Distância média dos picos locais do perfil
S_a	(μm)	Desvio médio aritmético de rugosidade
S_{bi}	(%)	Índice de superfície de suporte
S_{ci}	(%)	Índice de retenção de fluido no núcleo
S_{dr}	(-)	Razão de área superficial
S_{Dq}	(μm)	Valor médio quadrático do declive do perfil
S_{ds}	(picos/mm)	Densidade de picos
S_k	(μm)	Profundidade da rugosidade central
S_{Ku}	(-)	Curtose para medição tridimensional
S_m	(μm)	Distância média das irregularidades do perfil
S_{pk}	(μm)	Altura reduzida dos picos
S_q	(μm)	Desvio médio quadrático de rugosidade
S_{rw}	(μm)	Comprimento de onda radial
S_{rwi}	(-)	Índice de comprimento de onda radial
S_{sc}	(-)	Curvatura média dos cumes
S_{Sk}	(-)	Coefficiente de assimetria
S_{td}	(-)	Direção da textura
S_{tdi}	(-)	Índice da direção da textura
S_y	(μm)	Altura máxima do perfil
S_{vi}	(%)	Índice de retenção de fluidos no vale
S_{vk}	(μm)	Profundidade reduzida dos vales
S_z	(μm)	Profundidade média de rugosidade
T	(μm)	Profundidade característica de um motif
W_m	(μm)	Profundidade máxima de vale do perfil de ondulação
W_p	(μm)	Profundidade de alisamento do perfil de ondulação
W_t	(μm)	Profundidade máxima de ondulação
W_a	(μm)	Desvio médio aritmético de ondulação
W_p	(μm)	Desvio médio quadrático de ondulação
$3Z_i$	(μm)	Profundidade isolada de rugosidade de base

Letras minúsculas

i	(*)	incerteza da média
i_m	(*)	incerteza da média para parâmetros lidos mecanicamente
i_o	(*)	incerteza da média para parâmetros lidos opticamente
l_t	(*)	Percurso de apalpamento
l_v	(mm)	Percurso inicial
l_e	(mm)	Comprimento de amostragem
l_m	(mm)	Percurso de medição
l_n	(mm)	Percurso final
n_p	(mm)	Comprimento de suporte do perfil
s	(*)	Desvio padrão
s_m	(*)	Desvio padrão para parâmetros medidos mecanicamente
s_o	(*)	Desvio padrão para parâmetros medidos opticamente
t_p	(%)	Percentagem de suporte do perfil
t_{pi}	(%)	Percentagem de suporte do microperfil
t_{pa}	(%)	Percentagem de suporte do macroperfil
x_m	(μm)	Média dos valores de um parâmetro medido mecanicamente
x_o	(μm)	Média dos valores de um parâmetro medido opticamente
y	(μm)	ordenada do perfil
y_i	(μm)	ordenada do perfil discretizado

(*) varia de acordo com a unidade do parâmetro processado

Letras gregas

$\beta(m,n)$		Função Beta
γ	(graus)	Ângulo de pico
δ	(graus)	Ângulo de vale
Δ_a	(-)	Valor médio aritmético do declive do perfil
Δ_q	(-)	Valor médio quadrático do declive do perfil
ΔX	(μm)	Incremento digital
λ	(mm)	Comprimento de desvio de forma
λ_c	(mm)	Comprimento de onda limite (cut-off)
λ_a	(μm)	Comprimento médio de onda da rugosidade
λ_q	(μm)	Comprimento médio quadrático de onda da rugosidade
θ_k	(-)	Ângulo de inclinação central
σ_Z	(-)	Desvio padrão da derivada do perfil
$\psi_{1\text{mm}}$	($\mu\text{m}/\text{mm}$)	RMS (Root Mean Square) por milímetro

Abreviaturas

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADK	-	Amplitudendichtekurve (Curva de Densidade de Amplitudes do Perfil)
CCD	-	Charge Coupled Device (Dispositivo de Carga Acoplada)
CD	-	Compact Disk (disco compacto)
CDA	-	Curva de Distribuição de Amplitudes
CP	-	Corpo(s) de Prova
DIN	-	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão de Normalização)
E	-	Envoltória ou envolvente (sistema)
EAL	-	European Accredited Laboratories (Rede de Laboratórios Europeus Credenciados)
GL	-	Graus de Liberdade
GRUCON	-	Grupo de Ensino e Pesq. em Comando Numérico e Automação
GS	-	Gaussian Filter (Filtro Gaussiano)
HD	-	Hard Disk (Disco Rígido)
ISO	-	International Organization for Standardization (Organização Internacional para Normalização)
LABMAT	-	Laboratório de Materiais
LASUS	-	Laboratório de Análise de Superfícies Usinadas
LMP	-	Laboratório de Mecânica de Precisão
M	-	Linha média (sistema)
P	-	Primário (perfil)
PC	-	Computador Pessoal (Personal Computer)
PTB	-	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Instituto Federal Físico-Técnico)
R	-	Rugosidade (perfil)
RMS	-	Root Mean Square (Média quadrática)
RC	-	Resistivo/Capacitivo (filtro)
SAE	-	Society of American Engineering (Sociedade dos Engenheiros Americanos)
SME	-	Society for Manufacturing Engineering (Sociedade para a Engenharia de Fabricação)
SF	-	Special Filter (Filtro Especial)
ST	-	Superfície Técnica
TPK	-	Traganteilprofilkurve (Curva de taxa de Suporte do Perfil)
UFSC	-	Universidade Federal de Santa Catarina
UFRN	-	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
MEV	-	Microscópio Eletrônico de Varredura
MFA	-	Microscópio de Força Atômica
MVT	-	Microscópio de Varredura por Tunelamento
W	-	Ondulação (perfil)

BIOGRAFIA DO AUTOR

Luciano Bet, Engenheiro Mecânico, nascido aos 30 de agosto de 1961 na cidade de São Paulo/SP, onde cursou primário, ginásio e colegial, concluído em 1979. Em 1981 obteve aprovação no concurso vestibular para o Curso de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP), na cidade de São Carlos/SP. Trabalhou no Laboratório de Motores da EESC de setembro de 1982 a janeiro de 1985. Foi bolsista de iniciação científica da FAPESP durante dois anos, 1983/84. Estagiou de fevereiro a dezembro de 1985 na ENGESA (Engenheiros Especializados S.A.) e foi convidado a exercer a função de Engenheiro de Ensaio de Veículos. Em dezembro de 1985 concluiu a graduação em Engenharia Mecânica e é aprovado para o Curso de Especialização em Mecânica Fina do Departamento de Engenharia Elétrica da EESC/USP, assume paralelamente a função de engenheiro de projetos e de ensaios da FIPAI (Fundação para o Incremento da Pesquisa e Aperfeiçoamento Industrial)/USP em São Carlos, trabalhando no Projeto de Conversão de Motores do Ciclo Diesel para o Ciclo Otto Álcool/GNC. Em junho de 1986 se desvincula da FIPAI/USP e em dezembro de 1986 conclui com êxito o curso de especialização. Em março de 1987 inicia o Mestrado na UFRN na área de Projetos de Conversão de Motores a Combustão Interna. Em agosto de 1988 é aprovado em seleção pública da Escola Técnica Federal do RN, onde atuou até janeiro de 1990 como professor de várias disciplinas da área de fabricação. Em 1989 é aprovado em concurso público federal e em janeiro de 1990 assume o cargo de Professor Auxiliar na UFRN, também lecionando disciplinas da área de fabricação e assumindo chefia de laboratório no Núcleo Tecnológico/UFRN. Defende a dissertação de mestrado em 1991. Em março de 1993 inicia o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC. É eleito representante discente junto ao Colegiado da Pós-Graduação para o ano de 1995. Retorna à UFRN em 1997. Assume novamente disciplinas de fabricação, atua em projetos de pesquisa e extensão na área de CAD/CAM e de Prototipagem Rápida e participa do grupo criador do Curso de Engenharia de Materiais da UFRN, do qual é o atual Vice-Coordenador eleito.

RESUMO

Novos e sofisticados processos de fabricação, que produzem superfícies mais e mais finamente acabadas, têm exigido o desenvolvimento de equipamentos de medição e de métodos de análise da textura superficial capazes de tratar com as peculiaridades destes tipos de superfícies. A medição com sondas baseadas no apalpamento óptico surge então como uma boa opção ao apalpamento mecânico. Neste trabalho é feita uma revisão dos problemas relativos a quantificação da textura de superfícies e da sua importância no entendimento de certos comportamentos funcionais. Também é apresentada e discutida detalhadamente uma comparação entre os resultados de medição da textura de superfícies com dois tipos distintos de instrumentos, um com apalpamento mecânico e outro com apalpamento óptico.

A importância da seleção e da medição correta de parâmetros de textura para a descrição de uma superfície e a forte correlação entre textura e função tecnológica são discutidas e exemplificadas. É apresentado um estudo para a otimização dos procedimentos de medição da textura de superfícies, tendo como objetivo aumentar a confiabilidade dos resultados de medição. São listadas e analisadas as diferenças básicas de comportamento metrológico entre sondas com apalpamento mecânico e sondas com apalpamento óptico, bem como as principais vantagens e desvantagens no uso de cada uma delas.

A medição de corpos de prova com materiais e processos de fabricação diferentes é feita por apalpamento mecânico e por apalpamento óptico e são apresentadas e justificadas as diferenças qualitativas e quantitativas. Demonstra-se que não é possível se utilizar diretamente os resultados obtidos opticamente tomando por referência conclusões advindas de medições por apalpamento mecânico e são propostos métodos de ajustes.

Palavras chave: Textura de Superfícies, Quantificação, Medição,
Apalpamento Mecânico, Apalpamento Óptico.

ABSTRACT

Surface finishing has been greatly improved with the evolution of manufacturing processes. The characterization of high-quality surfaces demands texture-measuring devices and analytical techniques capable of handling refined topographical details. The use of optical followers consists in a potential alternative to examine highly smooth surfaces replacing the conventional mechanical stylus. The present study focuses on texture quantification methods. Firstly, an extensive review discusses the importance of the subject in interpreting functional behaviors and its experimental challenges. A comparative analysis on surface texture data obtained from both mechanical instruments and optical probes is also presented. In addition, the examples discussed unveil an effective correlation between texture and technological aspects, and point out the significance in selecting a suitable method to describe surfaces as a function of appropriate surface texture parameters. An optimized measuring procedure is described aiming at improving the reliability of surface texture results. Basic metrological differences in the use of a stylus and an optical probe are presented, as well as the main advantages and drawbacks of each instrument. Samples from different materials and manufacturing processes were analyzed both mechanically and optically. Qualitative and quantitative differences are pointed out and thoroughly discussed. The results demonstrated that optical measurement results cannot be directly applied to test considerations established from mechanical measurements. Appropriate fitting methods are proposed.

Key words: Surface Texture, Quantification, Measurement, Stylus Method, Optical Follower Method.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A superfície de um componente mecânico, em muitos casos, deve cumprir funções muito mais complexas que apenas a de apresentar um bom aspecto visual, que por si só já é uma função importante em várias situações. As funções de uma superfície técnica estão definidas na norma DIN 4764 (1982b) e também já foram estudadas e descritas a algum tempo por vários pesquisadores, dentre eles SCHMALTZ (1936), HALBIG (1969) e NOPPEN (1985). O estado da superfície pode influenciar o desempenho de um componente das mais variadas maneiras possíveis, desde um simples esforço adicional na montagem de pares ajustados, até a alteração de propriedades funcionais rigidamente controladas. Em situações extremas, um erro na adequação das condições da superfície pode levar à uma falha prematura do componente que contém esta superfície, acarretando uma parada não programada de um equipamento ou, em casos especiais, incorrendo em risco de vida. Além disso, com o desenvolvimento de novos equipamentos e de novas técnicas de análise de superfícies o campo de aplicação tem expandido acentuadamente e hoje já se encontram várias aplicações fora do campo puramente mecânico. Exemplos típicos se encontram na análise de superfícies de semicondutores (CARNEIRO, 1995), (HONG, 1992) E (MIYOSHI, 1995) e de superfícies biomédicas (STOUT, 1995) e (ULUSOY, 1986), especialmente no desenvolvimento de próteses dentárias e ortopédicas.

O cumprimento das funções atribuídas a uma superfície técnica exige que a mesma possua certas propriedades, que por sua vez, podem ser divididas em dois grupos. O primeiro grupo compreende as propriedades relacionadas com a integridade da superfície e o segundo grupo compreende as propriedades geométricas da superfície. O termo *textura* é o mais utilizado no estudo das propriedades geométricas de uma superfície e será adotado neste trabalho, mas não é raro também se encontrar na literatura o termo *topografia* ou *microtopografia*.

Outro campo de tradicional aplicação da tecnologia de superfícies está relacionado ao monitoramento de processos de fabricação (TABENKIN, 1997). Segundo HONG (1995) a textura de uma superfície usinada tem um papel importante na previsão do desempenho dos diversos componentes de uma máquina que estejam envolvidos na usinagem. Muitos trabalhos teóricos e práticos tem sido desenvolvidos na busca de se levantar a textura esperada para determinados processos de usinagem (BYRNE, 1992), (DAUM, 1991), (LEEP, 1991), (MALBURG, 1993), (MELKOTE, 1992), (PERI, 1992) e (ZHANG, 1992). Associando-se a isto o desenvolvimento de novos métodos de medição de textura em processo (MATHIA, 1995), (MIYOSHI, 1995), (SCHAFFER, 1988), (SUSIC, 1995) e (YOUNG, 1980), tem-se a geração de técnicas de monitoramento que permitem avaliar desde o desgaste de ferramentas de usinagem (DINIZ, 1992) até a rigidez da máquina ferramenta (HONG, 1995).

Embora os objetivos da parte experimental deste trabalho se concentrem somente na textura de superfícies, deve-se atentar para o fato de que o estudo completo do comportamento funcional de uma superfície técnica implica na análise simultânea das propriedades relativas à integridade e à textura (DEVRIES, 1976) e (SME, 1987a).

Partindo-se então do pressuposto de que a textura superficial desempenha um importante papel no comportamento funcional de muitos componentes industriais e biomédicos, tem-se como um caminho natural e necessário o aprimoramento dos instrumentos e procedimentos de medição, bem como dos parâmetros de quantificação da textura superficial.

Muitos pesquisadores se dedicaram e outros ainda se dedicam, ao estudo dos parâmetros de textura. O resultado disto foi a geração de uma multiplicidade de parâmetros, mais de uma centena segundo KOELSCH (1994) e TABENKIN (1997). Alguns destes parâmetros são muito significativos e mundialmente aceitos, a exemplo da rugosidade média aritmética R_a , outros nem tanto. Também é consenso geral a idéia de que um único parâmetro não é suficiente para caracterizar algo tão complexo

quanto a textura de superfícies. Cabe então se estudar cada caso particular antes de se decidir pelos parâmetros a serem adotados.

Paralelamente ao desenvolvimento de novos processos de fabricação e de acabamento de superfícies, foram se desenvolvendo princípios e equipamentos para a medição da textura de superfícies. No capítulo referente à revisão bibliográfica serão apresentados e discutidos vários métodos. Vale aqui ressaltar que o mais antigo, remontando mais de meio século e o mais utilizado é o processo de apalpamento mecânico da superfície. Embora o princípio básico não tenha se modificado, implementaram-se grandes avanços nos sistemas de coleta, amplificação e registro de dados. Simultaneamente se desenvolveram vários métodos ópticos, com destaque para a interferometria e para o apalpamento óptico. Este último com a grande vantagem de ser o único instrumento óptico que permite o processamento de todos os parâmetros também processados pelo apalpamento mecânico. A grande vantagem dos métodos ópticos continua sendo a ausência de contato entre sonda e amostra. A existência de diferentes resultados para medições mecânicas e ópticas levou alguns pesquisadores a estudarem pormenorizadamente o funcionamento de cada tipo de instrumento, bem como a influência da textura e do material do componente estudado, sobre os resultados de medição (BICKEL, 1963), (DECK & GROOT, 1995), (GRIFFITHS, 1994), (HILLMANN, 1990), (LINDSEY et al., 1998).

Como já foi dito, existem várias situações onde ocorre uma forte correlação entre a textura e a função tecnológica de uma superfície. O entendimento de boa parte das propriedades daí advindas deriva do estudo de superfícies medidas mecanicamente. Porém, devido ao grau de acabamento da superfície ou ao tipo de material, ou ainda a ambos, algumas superfícies só podem ser medidas opticamente. Nestas situações os resultados de medição podem ser incompatíveis com as propriedades esperadas, as quais são geralmente deduzidas a partir de dados originados com apalpamento mecânico. Estudar as causas e quantificar as diferenças entre os resultados da medição da textura de superfícies com equipamentos ópticos e

mecânicos, bem como criar metodologias que permitam comparar os resultados obtidos com um e com outro tipo de equipamento é de grande importância metrológica e industrial.

Mesmo com todo o conhecimento já acumulado na quantificação e na medição da textura de superfícies, muito ainda há por se fazer. Não só para acompanhar os constantes desenvolvimentos científicos e tecnológicos nas áreas de materiais e de processos de fabricação, mas também para se consolidar a aplicação dos conceitos e dos procedimentos relativos à textura de superfícies, que ainda não são plenamente conhecidos no meio industrial. Este trabalho contribui neste sentido e se divide em duas principais partes.

Na primeira destas duas partes, que corresponde à revisão bibliográfica, é dada uma visão geral sobre a tecnologia de superfícies, sobre a correlação entre textura e função, sobre os parâmetros de quantificação da textura e sobre os instrumentos e princípios de medição da textura. Também é feita uma comparação teórica entre o comportamento de um instrumento de medição da textura de superfícies por apalpamento óptico (sonda óptica tipo seguidor, ou simplesmente sonda óptica) e o comportamento de um instrumento por apalpamento mecânico (sonda mecânica do tipo estilete, ou simplesmente sonda mecânica), que foram os instrumentos de medição utilizados no desenvolvimento experimental deste trabalho.

A segunda parte do trabalho corresponde ao desenvolvimento experimental e será apresentado um estudo comparativo entre os resultados da medição da textura superficial de vários tipos de materiais, com vários tipos de acabamento, obtidos com dois instrumentos de medição de textura: uma sonda mecânica do tipo estilete e uma sonda óptica do tipo seguidor. Aqui serão explicados os motivos das diferenças e será proposto um método de se extrapolar os resultados para outras situações similares, onde somente se pode utilizar uma sonda óptica. Porém, a análise é baseada em dados obtidos com uma sonda mecânica e vice-versa.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS DO TRABALHO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é estudar a problemática da análise da textura de superfícies técnicas, abordando três problemas básicos. Primeiramente a metodologia de medição da textura. Em segundo lugar, a adequação dos parâmetros de textura existentes à caracterização e à comparação dessas superfícies técnicas. Por fim, a diferença entre os resultados de medição da textura de superfícies técnicas obtidos com apalpamento mecânico e com apalpamento óptico.

2.2 Objetivos específicos

- Delineamento de uma metodologia para medição da textura da superfície de componentes usinados envolvendo a seleção de: local de medição, direção de medição, número de medições, tipos de parâmetros a serem processados e filtros de perfil.

- Comparação entre os resultados da medição da textura das superfícies de corpos de prova medidos com apalpamento óptico e com apalpamento mecânico, incluindo-se a respectiva análise das diferenças existentes e da possível extrapolação dos resultados como estimativa para casos do mesmo tipo de par material/acabamento.

- ❑ Execução da comunicação entre um rugosímetro de bancada PERTHEN S8P e um microcomputador padrão PC 486 e desenvolvimento de um programa computacional para a coleta e o armazenamento de dados brutos de medição.

- ❑ Estudo dos parâmetros de textura e da sua aplicabilidade no monitoramento de um processo de fabricação e na especificação das superfícies de componentes mecânicos, ópticos e biomédicos, de acordo com a função destas superfícies.

- ❑ Formação e treinamento de um grupo de trabalho especializado na análise da textura de superfícies técnicas, permitindo apoio efetivo para pesquisas correlatas e para a prestação de assessoria técnica às empresas interessadas.

- ❑ Implementar o intercâmbio de informações sobre o problema da especificação de superfícies com empresas do ramo metal-mecânico, buscando subsídios para a divulgação e aplicação dos resultados da pesquisa no meio industrial.

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tecnologia de superfície

Para que se tenha uma melhor compreensão do que se entende por *Tecnologia de Superfície*, primeiro deve se definir uma superfície técnica. Neste trabalho, como em outros (MESQUITA, 1992) e (WEINGRABER, 1989), o termo superfície técnica será utilizado para designar as superfícies de corpos que tenham uma utilização na técnica. Portanto, o termo se aplica a superfícies funcionais de componentes, sejam eles mecânicos, ópticos, eletro-eletrônicos, biomédicos ou de outro tipo e natureza.

Na figura 1 é apresentada uma ampliação parcial, simplificada e esquemática, de uma seção de um corpo técnico. Aqui, o conceito de superfície implica no reconhecimento de duas regiões. A primeira delas, normalmente denominada de superfície, é a região que limita o corpo técnico com o meio circundante e com ela se relacionam as propriedades da textura, a qual pode ser entendida como sendo o arranjo das características da superfície vista a olho nu (DIN, 1978). A segunda região compreende as camadas logo abaixo da superfície e, neste caso, se relacionam às propriedades de integridade (SME, 1987a). Descrições mais detalhadas de uma superfície sob os pontos de vista de integridade e de textura serão apresentadas nas seções subseqüentes.

Assim, a *Tecnologia de Superfície* pode ser entendida como sendo a área tecnológica que se ocupa com a descrição e avaliação de uma superfície e das camadas logo abaixo dela. O termo *textura superficial* tem sido muito utilizado para descrever a qualidade geral da superfície de uma peça, esquecendo-se aí das propriedades relativas à integridade. Outro termo muito utilizado, na literatura e no meio industrial, para descrever a qualidade geral de uma superfície é o *acabamento superficial*. Este é de fato um termo coloquial e não traz nenhuma informação quantitativa a respeito da textura. Mas, via de regra, um bom acabamento implica em baixos valores para parâmetros verticais de rugosidade e vice e versa (SME, 1987a).

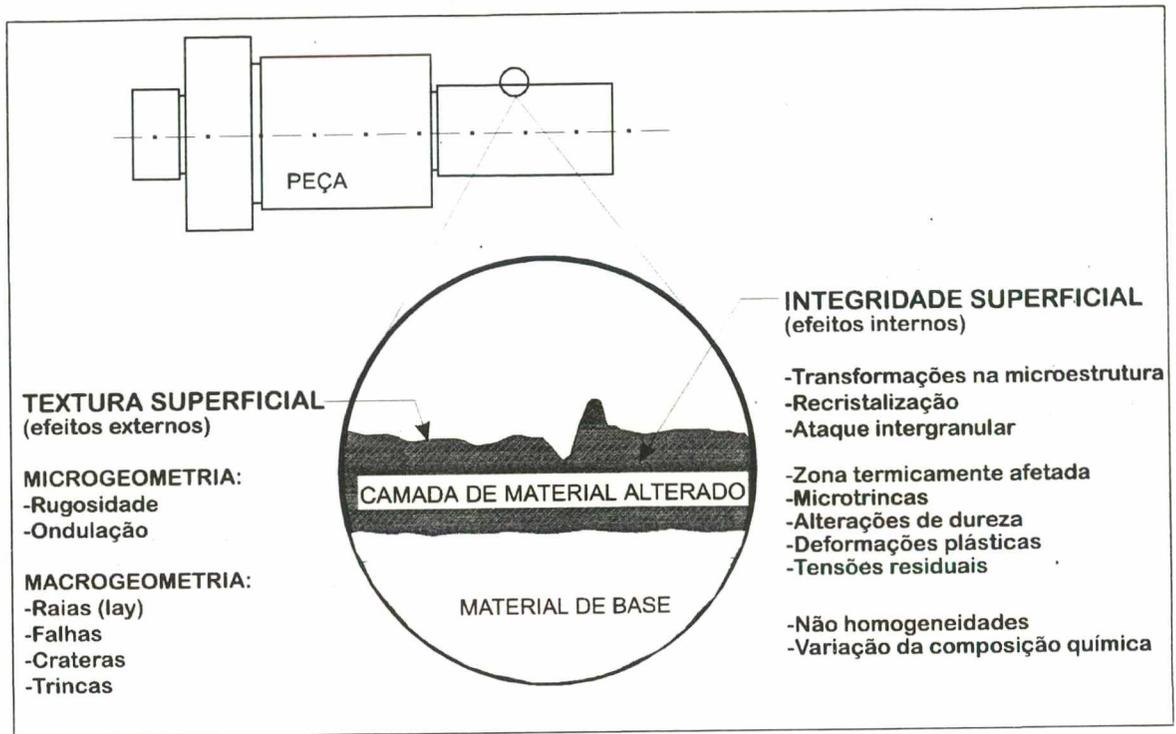


FIGURA 01. Seção simulada da superfície de uma peça com suas camadas inferiores.
[SME, 1987a]

Vários experimentos têm mostrado que a textura é apenas uma parte do todo a ser considerado (SME, 1987b). Alterações físicas abaixo da superfície tem uma forte influência sobre o desempenho em serviço de componentes mecânicos, principalmente quando os mesmos estão submetidos à esforços muito elevados ou à ambientes agressivos. O estudo destas alterações físicas, que podem ser de ordem metalúrgica, mecânica, térmica, química ou elétrica, pertencem ao campo da *Integridade Superficial* (SME, 1987b), (SME, 1983a) e (FIELD, 1972). As alterações físicas geram diferentes propriedades tecnológicas que, naturalmente, exercem grande influência no desempenho funcional de uma superfície técnica, principalmente no que se relaciona à vida de um componente. (SME, 1987b).

No presente contexto, o estudo da textura de uma superfície compreende a microgeometria, englobando aí os desvios de segunda a quinta ordem (DIN, 1982a), ou seja, ondulação e rugosidade. Tradicionalmente a rugosidade e a ondulação têm

sido aceitas como critérios para controle e qualificação de superfícies (DINICHERT, 1973), (SME, 1987a) e (WHITEHOUSE, 1994a). Atualmente já se sabe que muitas propriedades funcionais estão ligadas à microgeometria da superfície e que existem relações funcionais importantes entre a textura e o desempenho em serviço, mas ainda existe muito a ser discutido neste campo, uma vez que as pesquisas em novos materiais e em novos processos de fabricação tornam o tema praticamente inesgotável (DINICHERT, 1973), (MESQUITA, 1992), (WEINGRABER, 1989) e (WHITEHOUSE 1994). Neste trabalho será utilizado o termo *metrologia de superfície* para designar o estudo da textura de uma superfície técnica.

3.2 Textura de uma superfície

Os problemas relativos à textura de superfície se limitam a camada externa do corpo técnico (figura 1) e pertencem ao campo da *metrologia de superfície*. O estudo da textura precedeu o da integridade e as primeiras investigações em ambiente industrial iniciaram entre as décadas de 20 e 30 (SHAFFER, 1988) e (STOUT, 1997). A ciência da medição da textura de superfícies data do início dos anos trinta, quando os primeiros equipamentos de medição foram desenvolvidos (STOUT, 1995), sendo que em 1929 é montada a primeira máquina de apalpamento de superfícies por G. Schmaltz (WHITEHOUSE, 1984a). Daí por diante seguiu-se um grande progresso na área da metrologia de superfície e atualmente existem vários tipos de princípios físicos de medição, instrumentos e métodos para a análise da textura, bem como um grande número de parâmetros que descrevem macro e microgeometricamente uma superfície.

Mesmo com os avanços mais recentes, a complexidade inerente da descrição de uma superfície técnica tem levado muitos pesquisadores a continuar tentando aprimorar não só os métodos de varredura da superfície como também os parâmetros que a descrevem, denominados de parâmetros de rugosidade e de ondulação (MESQUITA, 1992) e (STOUT, 1995).

A textura está contida dentro da metrologia de superfície, que é bastante ampla e aborda os problemas concernentes aos desvios em relação a forma, tanto no campo da macro como da microgeometria. SCHMALTZ, citado por MESQUITA (1992), estabeleceu que o limite entre macro e microgeometria é definido por um quadrado com 1 mm de lado, ou seja, a microgeometria compreende regiões dentro deste quadrado, que devem ser avaliadas com uma resolução básica de $1\mu\text{m}$. Regiões contidas em áreas maiores do que 1mm^2 pertencem a macrogeometria. No item 3.2.1, a seguir, serão apresentados o escopo e a importância da metrologia de superfície.

3.2.1 Metrologia de superfície

Segundo WHITEHOUSE (1994a), a metrologia de superfície se ocupa em medir os desvios que um componente tem em relação a sua forma planejada, a qual é especificada no projeto. Isto inclui, por exemplo, os desvios de cilíndricidade, de planicidade, de retilidade e de circularidade. Inclui também a medição da textura.

Supondo que todas as outras especificações do projeto de um componente, como por exemplo material e tratamento térmico, tenham sido seguidas, a primeira coisa a se fazer é medir suas dimensões, que provavelmente foram especificadas nos desenhos com as respectivas tolerâncias. Estas dimensões devem delimitar comprimentos, áreas, ângulos, raios e posições relativas. Este é o campo da *metrologia dimensional* e corresponde ao primeiro passo de medição, o qual verifica se as dimensões do componente estão de acordo com o idealizado pelo projetista, garantindo desta forma que o componente possa ser montado no correspondente conjunto mecânico. Isto, por sua vez, satisfaz parcialmente as características funcionais não relacionadas com movimentos relativos entre superfícies em contato, mas não se pode afirmar que o componente irá satisfazer plenamente todas as suas funções (WHITEHOUSE, 1994a). Ele pode, por exemplo, não ser capaz de girar ou se deslocar adequadamente.

É neste ponto que a metrologia de superfície se torna muito importante. Ela assegura o conhecimento e controle de todos os aspectos da geometria da superfície. Somente se a forma geométrica e a textura da superfície de um componente estiverem corretas, estando também assegurado o cumprimento das exigências quanto à integridade, é que se pode garantir que este componente será capaz de trabalhar na velocidade, na temperatura e sob o carregamento especificados em projeto. Assim, também serão satisfeitas as características funcionais *dinâmicas* (WHITEHOUSE, 1994a).

A metrologia de superfície deve ser implantada tanto no processo produtivo quanto na definição de características geométricas para o cumprimento das funções tecnológicas de um componente. Na figura 2 é apresentada de maneira simplificada a interação entre a metrologia de superfície, a fabricação e a função tecnológica.

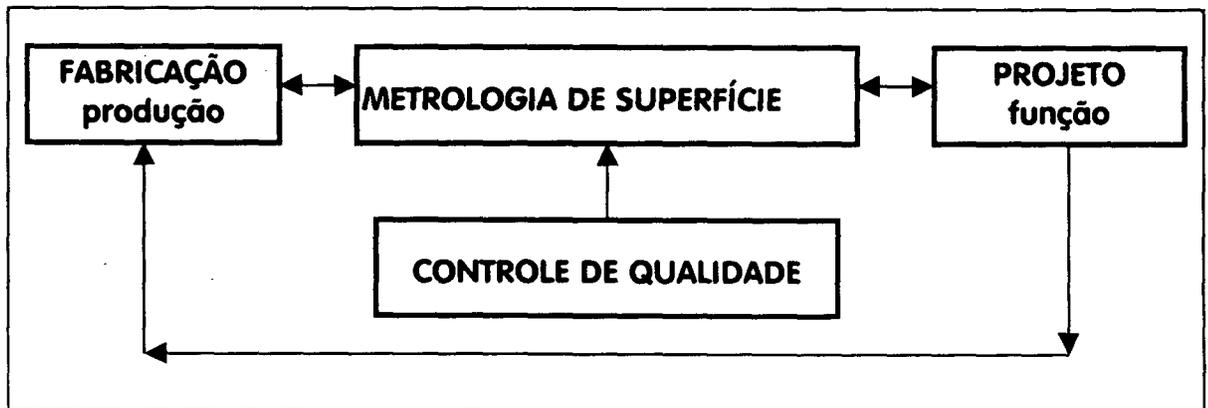


FIGURA 02. Relação entre metrologia de superfície, fabricação e função da superfície de um componente.

No bloco de fabricação incluem-se os aspectos do processo, tais como o desempenho da máquina e desgaste da ferramenta. O bloco de função, por sua vez, contém as informações relativas às propriedades funcionais desejadas para a superfície, como por exemplo propriedades tribológicas. Por fim, o bloco de controle de qualidade concentra todas as informações pertinentes à metrologia de superfície, que dizem respeito ao componente, ou seja, forma, ondulação e rugosidade desejados.

Deve ser novamente ressaltado que a relação entre a metrologia de superfície e a fabricação é importante em duas diferentes aplicações: uma se relacionando com o controle da manufatura, avaliando entre outros o comportamento dinâmico da máquina e dos seus componentes, desgaste de ferramentas e variações no material do componente; a outra é relativa à maneira pela qual a geometria da superfície poderá influenciar o quão bem um componente irá funcionar. Outro aspecto importante é a posição intermediária da metrologia de superfície entre a fabricação e a função, ressaltando mais uma vez a importância do papel da metrologia de superfície na relação entre o processo de fabricação de um componente e o cumprimento integral da função da superfície resultante deste processo.

O processo de fabricação e a função da superfície do componente não são completamente independentes, e na figura 2 eles aparecem como blocos interligados. As relações entre textura, função e fabricação serão abordadas no item 3.3.

A metrologia de superfície, principalmente no tocante à textura, não pode ser encarada meramente como parte da já complexa metrologia dimensional. A pequena magnitude das grandezas envolvidas, da ordem de micrometros e em alguns casos da ordem de nanometros (MIYOSHI, 1995), (ICHIDA, 1993), (WYANT, 1992), (LINDSAY, 1988), não diminui a sua real importância. No item 3.3 será mostrado que a geometria da superfície de um componente é absolutamente crítica em muitas aplicações e possui informações que, quando extraídas corretamente do conjunto de dados que compõe a superfície, são inestimáveis para o fabricante deste componente. Whitehouse (1994a) afirma que a metrologia de superfície nem sempre é bem entendida e mesmo onde ela o é, não se aplicam adequadamente as especificações pertinentes nos respectivos desenhos para fabricação.

Os projetistas devem compreender a influência que a superfície funcional de um componente tem sobre o comportamento funcional deste componente e especificá-la corretamente. Alguns projetistas desconhecem as relações que envolvem a metrologia de superfície e tendem a admitir a falsa hipótese de que “quanto mais liso melhor”. Isto

não só é falso como pode levar a danos catastróficos, como por exemplo nas aplicações tribológicas (WHITEHOUSE, 1994a). O custo de se usinar superfícies com acabamentos muito finos pode ser proibitivo, além disso pode ser desnecessário. Ou seja, a prática de se produzir superfícies com acabamentos muito finos, tendo como objetivo deixar uma margem de segurança operacional, é tão ruim quanto a de se estreitar tolerâncias sem real necessidade.

Mas não só projetistas devem reconhecer a importância da metrologia de superfície. Os inspetores de qualidade devem compreender bem cada especificação apresentada em um projeto, para poder garantir a qualidade do produto. Além disso o reconhecimento de que condições tais como o tipo de máquina utilizada, o desgaste de ferramentas, as vibrações indesejadas, os parâmetros de usinagem empregados ou até mesmo do operador da máquina, reflete de alguma maneira na geometria da superfície, fornece uma ferramenta muito útil para o controle de qualidade do processo de fabricação.

Portanto, ao se descartar as informações que são fornecidas pela metrologia de superfície, está simplesmente se desperdiçando dinheiro e aumentando os custos.

3.2.2 Descrição de uma superfície para efeito da textura

Neste item a superfície será caracterizada como o limite, ou a fronteira, de um elemento de espaço fechado, ou corpo técnico (MESQUITA, 1992), sendo então descrita somente sob o aspecto geométrico e limitando a análise à fronteira entre o corpo do componente (corpo técnico) e o meio ambiente.

A esta definição básica de superfície é necessário se adicionar os conceitos de: superfície geométrica, superfície real e superfície efetiva (ABNT, 1988), (DIN, 1982a). A superfície geométrica é aquela especificada em projeto e que possui a geometria e as características topográficas ideais para o desempenho de uma determinada função, mas os desvios gerados nos processos de fabricação não permitem que ela seja

obtida de forma absoluta. A superfície real é aquela que de fato é obtida após o último processo de fabricação pelo qual passa o componente. Os instrumentos de medição, por sua vez, não conseguem captar todas as características e irregularidades da superfície, apresentando como resultado o que se denomina de superfície efetiva, a qual é uma aproximação da superfície real.

Embora seja possível reproduzir tridimensionalmente uma porção da superfície de um componente, o mais comum é se encontrar a representação das superfícies em duas dimensões, ou seja, através de um perfil. Na verdade, para a maioria dos instrumentos de medição da textura, a representação tridimensional não passa do alinhamento de um número finito de perfis paralelos e adjacentes. Assim, quanto maior for o número desses perfis adjacentes computados, melhor será a representação tridimensional da superfície. O perfil por sua vez é a intersecção da superfície com um plano perpendicular a ela (ABNT, 1988), (DIN, 1989) e (ISO, 1984). Na figura 3 estão representados os três tipos de perfis, correspondentes a cada um dos tipos de superfície, tomando por base uma superfície supostamente plana sendo medida por um apalpador do tipo estilete.

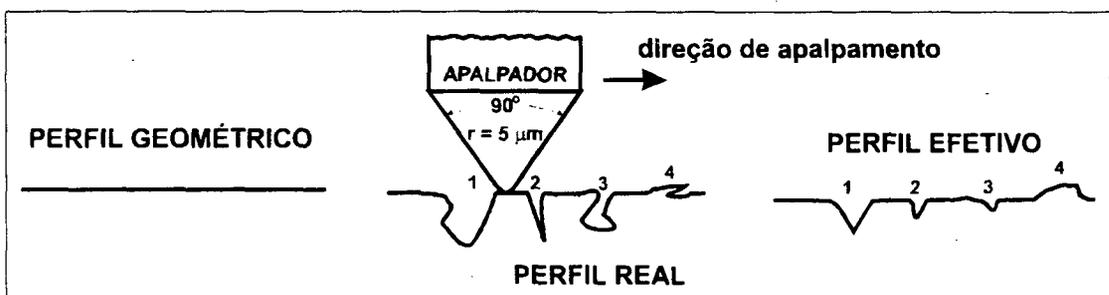


FIGURA 03. Exemplos dos perfis geométrico, real e efetivo. [SANDER, 1989]

Verifica-se, portanto, que não se consegue captar o perfil real de uma peça, pois se obtém de fato o perfil efetivo. Este perfil é uma aproximação do perfil real, sendo que a diferença entre ambos depende essencialmente do sistema de medição. Neste trabalho sempre se estará fazendo referência ao perfil ou à superfície efetiva, a menos que seja feita alguma observação em contrário.

No perfil real de um componente podem ser encontrados seis tipos diferentes de desvios, que são gerados em função de causas bem específicas dentro do processo de fabricação da superfície do componente e que são caracterizados pelas suas formas geométricas. Na figura 4 (DIN 4760,1982a) são apresentados os desvios de primeira a sexta ordem, bem como as suas principais fontes geradoras. Estes desvios, embora com características distintas, não se encontram nitidamente separados. De fato eles se sobrepõem formando o perfil completo.

DESVIOS DE FORMA (representados em uma seção do perfil)		EXEMPLOS DE TIPOS DE DESVIOS	EXEMPLOS DAS CAUSAS GERADORAS DOS DESVIOS DE FORMA
 <p>1ª Ordem</p>	FORMA	Planicidade Cilindricidade Retilidade	Defeitos nas guias da máquina ferramenta, deformação por flexão da máquina ou da peça, fixação errada da peça, deformações devido ao tratamento térmico, desgaste nas guias da peça
 <p>2ª Ordem</p>	ONDULAÇÃO	Ondas	Fixação excêntrica ou defeito de forma de uma fresa, fixação excêntrica da peça, vibrações da máquina ferramenta, da ferramenta ou da peça, deflexão da peça ou da máquina durante a usinagem, tratamento térmico, tensões residuais de fundição ou forjamento.
 <p>3ª Ordem</p>	RUGOSIDADE	Ranhuras ou Raias	Forma da ferramenta (gumes e raio de quina), avanço ou profundidade de corte.
 <p>4ª Ordem</p>		Estrias Escamas Protuberâncias	Processo de formação do cavaco (cavaco arrancado, cavaco de cisalhamento, gume postiço), deformação do material com jato de areia, formação de crateras e de protuberâncias após tratamento galvânico.
<p>5ª Ordem Não mais representável na forma gráfica</p>		Microestrutura do material	Processo de cristalização, modificação da superfície por ataque químico (ex. decapagem), corrosão.
<p>6ª Ordem Não mais representável na forma gráfica</p>		Reticulado cristalino do material	Processos físicos e químicos da estrutura da matéria. tensões de deslizamento na estrutura reticular do material.
		Superposição dos desvios de primeira a quarta ordem	

FIGURA 04. Desvios de forma do perfil de uma superfície. [DIN 4760, 1982a]

Ao se examinar uma superfície completa, ou uma de suas superfícies parciais, os desvios que possam ser verificados em toda a sua extensão são denominados de desvios de 1ª ordem. O comprimento (λ) deste desvio é muitas vezes maior que a sua profundidade (A) e a relação entre eles (λ/A) também pode ser usada para caracterizá-los. Neste caso $\lambda/A > 1000$ (SANDER, 1989) e (REICHARD, 1993).

Os desvios de 2ª ordem são denominados de ondulações e podem se repetir periódica ou aperiodicamente. Para este tipo de desvio a relação λ/A varia de 100 a 1000 (SANDER, 1989) e (REICHARD, 1993).

As raias, ou ranhuras, oriundas das marcas de avanço da ferramenta e que ocorrem devido à geometria da quina (STEMMER, 1993), são denominados de desvios de 3ª ordem, que somados aos desvios de 4ª e 5ª ordem (figura 4) compõe a rugosidade. Estes desvios possuem uma pequena relação λ/A (5 a 100) (SANDER, 1989) e (REICHARD, 1993).

Os desvios de 6ª ordem estão relacionados com a estrutura da matéria e não são incluídos nas medições usuais de rugosidade.

A soma dos desvios de 1ª ordem (forma), de 2ª ordem (ondulação) e de 3ª a 5ª ordem (rugosidade) forma o perfil graficamente representável e sobre o qual são feitas as considerações relativas à metrologia de superfície.

3.2.3 Elementos da textura

Para se realizar avaliação da textura são utilizados os desvios de 2ª a 5ª ordem, compreendendo os seguintes elementos: raias, ondulações e rugosidade. Outros tipos de desvios que se apresentam na superfície e que têm uma influência significativa na textura, são as falhas. Estas não podem ser devidamente classificadas, uma vez que não só são indesejadas como também inesperadas (SHAFFER, 1988).

Os diferentes elementos da textura estão representados na figura 5 (SME, 1983b), (MDC, 1980) e são detalhados a seguir (SCHAFFER, 1988), (SME, 1987a), (NOAKER, 1991)

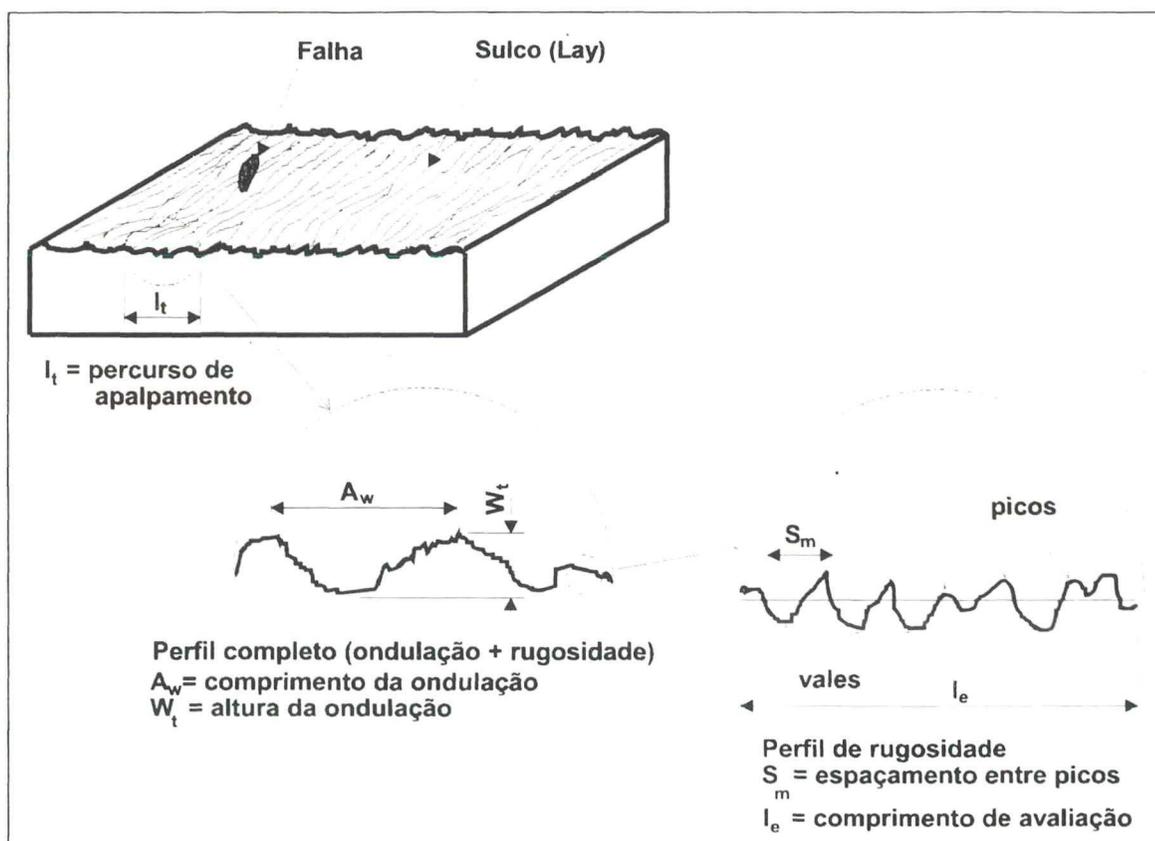


FIGURA 05. Elementos da textura em uma superfície com sulcos unidirecionais.

[SME, 1987a]

Os desvios repetitivos e randômicos da superfície real em relação à superfície geométrica formam a textura. Esta não inclui os desvios de forma, que são causados por efeitos tais como a deformação do componente ou erros de retlineidade nas guias das máquinas que os produziram. A superfície de uma peça usinada é composta de muitos componentes de textura, os quais são gerados durante o processo de fabricação. Estes componentes se sobrepõem formando um padrão complexo que caracteriza o perfil da peça. Os componentes da textura (figura 5) são: ondulação e rugosidade (incluindo-se aí os sulcos). A estes se somam também as falhas.

Os sulcos (“layers”) indicam a direção predominante das marcas ou ranhuras deixadas pela ferramenta sobre a superfície da peça. Cada processo de fabricação deixa marcas características sobre a superfície trabalhada. Processos tais como os de retificação, torneamento, fresamento e aplainamento produzem um padrão de sulcos regular e repetitivo, com uma direção preferencial claramente observável, com sulcos bem definidos. Os padrões superficiais gerados por processos tais como eletroerosão por faiscas, ataques químicos e jato de areia são irregulares e randômicos, não havendo uma direcionalidade predominante observável. Diz-se que estas superfícies têm sulcos não-direcionais. Várias normas (ABNT, 1984), (ASTM, 1993), (DIN, 1978) e (ISO, 1992) apresentam os tipos mais comuns de sulcos e os respectivos símbolos para desenhos. Mesquita (1992) propôs algumas modificações à simbologia utilizada nestas normas, a fim de especificar mais claramente os padrões gerados por alguns processos de remoção. No final do Apêndice 2 é mostrada a simbologia aplicada na especificação das direções dos principais tipos de sulcos (“layers”).

As ondulações são os componentes de textura mais largamente espaçados e provenientes de deflexões e vibrações da máquina e da ferramenta, tratamento térmico ou tensões de deformação. A ondulação é freqüentemente confundida com retilineidade. Mas, esta é usualmente especificada para garantir uma determinada função da peça, enquanto que a ondulação é especificada para controlar e limitar as fontes de vibração e de imperfeições da máquina ferramenta e do ambiente que possam afetar a qualidade da operação efetuada com esta máquina.

As vibrações e as deflexões da ferramenta podem levar à ondulações na direção da velocidade de corte com freqüências entre 8 a 25 kHz, dependendo do comprimento e balanço da ferramenta. Com o aumento da freqüência diminui a amplitude e por conseqüência também a influência da vibração. Influência maior é decorrente da oscilação da força de usinagem no intervalo de formação de uma lamela. Esta flutuação da força se reflete em uma variação da posição de equilíbrio entre a ferramenta e a peça, provocando deformações elásticas no sistema, que

também resultam em ondulações na direção da velocidade de corte com frequência idêntica à frequência de formação de lamelas. (SME, 1987a).

Falhas são interrupções, não intencionais e indesejadas, da superfície da peça, que ocorrem de maneira inesperada. Segundo SANDER (1989) e REICHARD (1993) a relação entre a largura e a profundidade de uma falha é muito pequena ($\lambda/A < 5$). Resultam, normalmente, da não uniformidade do material ou de um dano causado à superfície após a fabricação, incluindo aí: amassamentos, riscos, depressões, furos ("pits") e trincas. Se a presença dos diversos tipos de falhas e as condições para aceitá-las ou não estiverem bem definidas, deve-se então avaliá-las separadamente dos outros componentes da textura e em primeiro lugar. Se não houver especificação alguma com relação às falhas, então as interrupções da superfície da peça entrarão no cômputo geral da medição de rugosidade.

Embora o perfil da superfície de um componente seja composto de vários componentes (desvios de 1ª a 6ª ordem) que se sobrepõe, é possível se efetuar uma separação entre as componentes de forma, ondulação e rugosidade. O processo para tal será detalhado no item 3.4, mas é pertinente colocar aqui que o perfil efetivo ainda se subdivide em mais três perfis básicos (ISO, 1995) e (DIN, 1994):

- Perfil primário ou perfil P: é o perfil que se obtém retirando do perfil efetivo as componentes devidas ao desvio de forma.
- Perfil de ondulação ou perfil W: é o perfil que se obtém retirando do perfil P as componentes de rugosidade.
- Perfil de rugosidade ou perfil R: é o perfil que se obtém retirando do perfil P as componentes de ondulação.

A partir destes três perfis são levantados os principais parâmetros para a quantificação da textura de uma superfície técnica.

Embora a análise da textura por meio de perfis da superfície seja de uso corrente e consagrado, ela não garante uma visão completa da superfície, uma vez que ela é bidimensional (2D) e a topografia da superfície é tridimensional (3D)

(STOUT, 1995). Além disso têm-se desenvolvido equipamentos que permitem um levantamento topográfico da superfície com rapidez e confiabilidade crescentes. Assim, têm surgido atualmente alguns trabalhos que abordam o problema da análise da textura em 3D (BOUDREAU, 1992), (DONG, 1992), (LIN, 1995), (LOPEZ, 1995) (MATHIA, 1995), (STOUT, 1995) e (VERMEULEN, 1995). Em princípio, não foram sugeridos novos componentes de textura, mas está se aumentando a capacidade de determinação de componentes aleatórios tais como as falhas que, na análise em 2D, ou passavam despercebidos ou influenciavam de maneira prejudicial a avaliação dos componentes básicos tais como a ondulação e a rugosidade. Devido a esta representação mais realística da textura de superfícies técnicas, tem-se extraído novas informações a respeito da relação textura/função da superfície, bem como da variação da textura em função das variáveis do processo de fabricação (STOUT, 1995).

3.3 Relação entre a textura e a função

Neste item será apresentada a relação entre a textura e a função de uma superfície técnica. Neste campo constata-se que não só a magnitude da rugosidade, representada por parâmetros tais como R_a , R_z e R_{max} , (parâmetros 1, 4 e 5, Apêndice 2) mas, principalmente, a forma da microgeometria da superfície exerce uma influência decisiva no comportamento funcional de um componente mecânico. Outros fatores não funcionais, porém não menos importantes em alguns casos, também são influenciados pela textura da superfície. Dentre eles destacam-se a aparência e a sensibilidade ao toque.

Segundo WHITEHOUSE (1994a) a relação textura/função é um dos temas mais relevantes dentro do estudo da textura, pois a importância da superfície é estudada não mais sobre o ponto de vista teórico, mas sim em termos práticos.

3.3.1 Funções de uma superfície técnica

As funções que uma superfície técnica pode desempenhar estão classificadas por norma (DIN, 1982b) e também foram discutidas por NOPPEN e SIGALLA (1985), WEINGRABER (1989) e WHITEHOUSE (1994a). As mais freqüentes maneiras de se solicitar uma superfície podem ser utilizadas para definir e classificar os tipos de funções.

Segundo NOPPEN e SIGALLA (1985), uma superfície pode ser submetida a vários tipos de solicitações, destacando-se as: térmicas, por radiações, eletroquímicas, elétricas, por pressão estática ou dinâmica, tribológicas e biológicas. Para cada função que a superfície deverá satisfazer corresponde um ou mais tipos de solicitações.

Uma outra forma de classificar as possíveis funções de uma superfície subdivide-as em três grupos (WEINGRABER, 1989) e (WHITEHOUSE, 1994a), um no qual a superfície é tratada isoladamente, outro no qual existe contato intermitente com outra superfície e um último grupo, onde existe contato permanente entre duas superfícies. Na tabela 1 (WEINGRABER, 1989) é apresentado um esquema desta classificação.

Nesta classificação considerou-se a interação entre superfícies metálicas ou entre superfícies metálicas e os meios gasosos ou líquidos. DINICHERT (1971) vai mais longe e discute as propriedades funcionais das superfícies supondo seis tipos distintos de contato: sólido/sólido, sólido/líquido, sólido/gás, líquido/líquido, líquido/gás e gás/gás. No primeiro e no segundo tipo de contato se concentra a grande parte das aplicações, inclusive as tribológicas, as quais, de acordo com Mesquita (1992) e WHITEHOUSE (1994a), ocupam boa parte do estudo da relação textura/função. O terceiro tipo de interação é importante e seu estudo permite compreender melhor fenômenos como o da adsorção (DINICHERT, 1971). Os demais tipos de interação não mais se aplicam aos problemas apresentados na tabela 1 e fogem ao escopo deste trabalho.

TABELA 01. Classificação das funções de uma superfície técnica, de acordo com o tipo de contato e de solicitação. [WEINGRABER, 1989]

TIPO DE CONTATO	TIPO DE SOLICITAÇÃO	FUNÇÃO DA SUPERFÍCIE
Sem contato	Ausente ou de baixa intensidade	estética base para revestimento suporte para fluxo de fluídos térmica óptica acústica
	Tensão mecânica	suportar tensões limites
Contato estático	Estática	contato simples adesão referência alinhamento vedação contato térmico união ajuste com interferência ajuste com folga
Periódico	Dinâmica	suportar impacto
	Dinâmica e por corrente elétrica	contato elétrico
Movimento relativo entre superfícies	Tribológica	deslizamento a seco deslizamento com lubrificação rolamento rolamento e deslizamento rolamento com vedação frenagem

3.3.2 Estudo da relação textura/função

Já há bastante tempo percebeu-se que havia uma relação entre a função que a superfície de uma peça deve desempenhar e a sua textura. HASSELT (1963), citando MOORE e KOMMER, afirmou que os primeiros estudos correlacionando rugosidade e resistência à fadiga foram publicados em 1921. COURTEL (1963), fez um estudo da

relação entre o acabamento superficial e o comportamento físico e funcional, citando trabalhos envolvendo problemas de campos de pesquisa distintos: químicos, ópticos, térmicos, adesibilidade e, principalmente, resistência à fadiga, todos compreendidos entre as décadas de vinte e sessenta. HASSELT (1963), ressaltou a importância do estudo da correlação textura/função, expondo a idéia de que dentre as maneiras de se definir a rugosidade de uma superfície, a melhor delas seria aquela que incluísse as suas características funcionais.

As diversas funções das superfícies técnicas podem depender intensamente de suas macro e microgeometrias e não somente das suas características tecnológicas tais como a dureza e o estado de tensões (MESQUITA, 1992), (WEINGRABER, 1989) e (WHITEHOUSE, 1994a). Portanto, sempre que se avaliar o comportamento funcional de uma superfície é necessário se abordar tanto os elementos ligados à textura quanto os elementos ligados à integridade.

Para se especificar a textura de uma superfície de maneira tal que ela satisfaça as exigências de projeto, é necessário se conhecer detalhadamente a influência que cada tipo específico de microgeometria tem sobre o funcionamento. Segundo WHITEHOUSE (1994a) tem havido um bom progresso neste campo em função do desenvolvimento das técnicas digitais aplicadas à instrumentação e pela introdução da análise de processos randômicos. Mesmo assim, a grande quantidade de variáveis que envolvem o desempenho de uma superfície em uma determinada função dificultam a especificação correta caso a caso. A maneira mais simples seria a experimentação para cada caso, porém, os custos são proibitivos. Por este motivo tem-se dispendido muitos esforços na tentativa de se amarrar textura à função (WHITEHOUSE, 1994a) e (MESQUITA, 1993).

O estudo da melhor textura para cada função resolve apenas o problema do projeto, restando ainda o problema da fabricação. O conhecimento da textura obtível com cada processo, ou seqüência de processos, é de vital importância, permitindo que o componente funcione de fato como o esperado.

Para os processos de usinagem mais triviais, tais como torneamento, fresamento, aplainamento e furação, já existem modelos matemáticos teóricos que permitem estimar com relativa precisão a rugosidade máxima (R_t e/ou R_{max}) obtível, bem como a forma mais provável para a microgeometria (ELBESTAWI, 1992), (LACEY, 1980), (LEEP, 1991), (MDH, 1980), (MELKOTE, 1992), (SARACHE, 1985), (KÖNIG, apud STEMMER, 1993) e (WHITEHOUSE, 1994a). Outros processos importantes também foram estudados, entre eles o brunimento (MICHALSKI, 1992), a conformação de chapas (KLIMCZAK, 1988) e a laminação de chapas de alumínio (WILSON, 1992). Alguns pesquisadores têm tentado generalizar o problema estudando a textura obtida por processos que utilizem ferramentas de geometria definida (BANDYOPADHYAY, 1985) e (BYRNE, 1992). MESQUITA (1995) fez uma análise, também teórica, do processo de forjamento e das variáveis influentes sobre os desvios de 1ª a 6ª ordem que podem surgir durante o processo, incluindo aí a textura, pretendendo fornecer subsídios para o forjamento de precisão. Os trabalhos mais recentes no campo da modelagem matemática da textura de superfícies têm levado em conta não só os movimentos e a geometria das ferramentas, mas também os desvios que podem ocorrer durante a usinagem, tais como as vibrações e distorções da máquina (HONG, 1995). Uma nova abordagem também aplicada na modelagem matemática da textura de superfícies envolve o uso do conceito de geometria fractal (ZHOU, 1995) e (LOPEZ, 1995).

Os estudos teóricos têm avançado bastante com o crescimento das capacidades de processamento computacional, mas ainda são limitados, pois ainda não se introduziu todas as possíveis combinações das variáveis dos processos de usinagem que influenciam a formação da textura. Assim, em alguns casos específicos, onde o acabamento superficial obtido é objeto de grande interesse, têm-se desenvolvido experimentos para determinação do padrão de formação da textura (ASPINWALL, 1992), (BEDRIN, 1988), (DAUW, 1990), (KACZAREK, 1974), (KAHNG, 1974), (KLIMCZAK, 1988), (MALBURG, 1993), (MOHAN, 1992), (PERI, 1992),

(STOUT, 1989), (WARDANY, 1992), (WHITEHOUSE, 1974), (ZHANG, 1992) e (ZHOU, 1992).

MESQUITA (1992), propôs uma metodologia científica interligando função-textura-fabricação e aplicou esta sua proposta a uma superfície tribológica. As etapas desenvolvidas na aplicação do método foram:

- descrição das exigências sobre a superfície para o cumprimento da sua função;
- caracterização da superfície de acordo com as exigências ao cumprimento da função;
- descrição do complexo de influências dos processos de usinagem sob a superfície;
- determinação do tamanho da amostra para medição que assegurasse a confiabilidade dos resultados;
- dedução e definição de fatores de avaliação que caracterizassem a superfície: desvios geométricos, tipo de perfil, dependência da direção, ângulos, reentrâncias e elevações; e
- caracterização da superfície de acordo com os fatores de avaliação.

Este método procura garantir a escolha do processo de fabricação mais adequado para que a superfície cumpra a sua função. No entanto, isto não elimina a necessidade da busca de informações obtidas experimentalmente e acumuladas ao longo dos anos, como mostrado na figura 6 (MESQUITA, 1992), onde se compara o método proposto com o método antigo.

Certas aplicações exigem um estudo apurado da relação entre a textura da superfície de trabalho e a função específica que esta superfície deve cumprir. Algumas delas são descritas na seqüência.

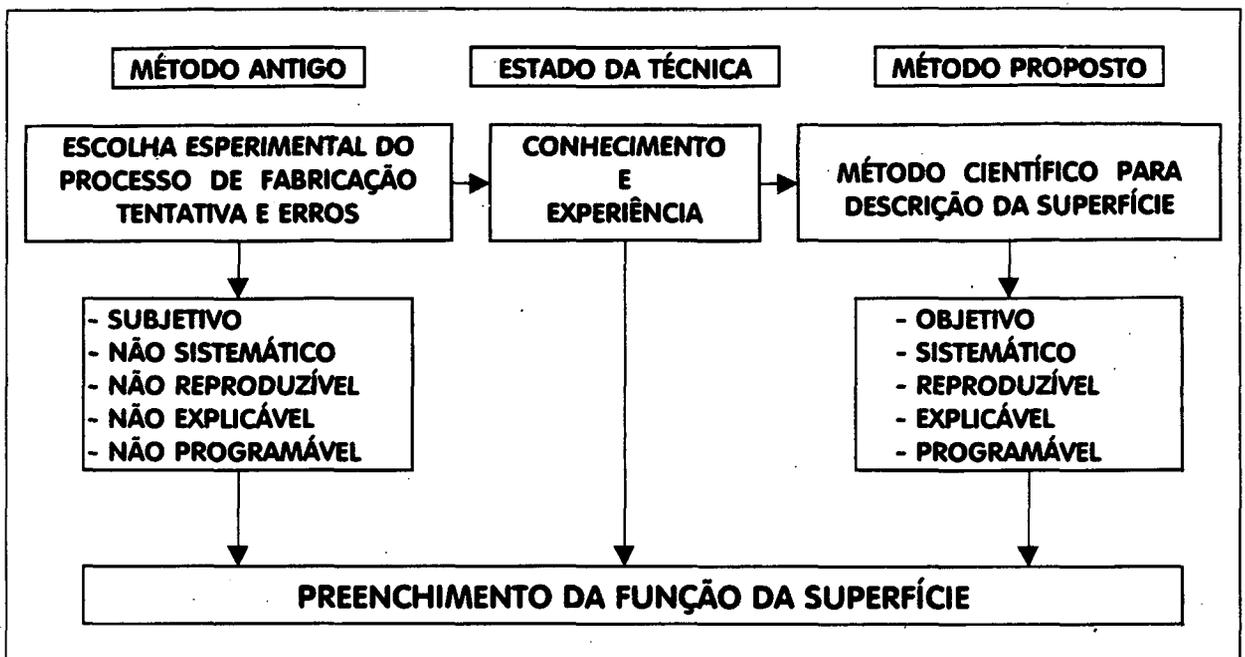


FIGURA 06- Caminhos para o preenchimento da função de uma superfície.

[MESQUITA, 1992]

3.3.3 Exemplos de superfícies com funções tecnológicas

□ Superfícies para aplicações tribológicas

Atrito, lubrificação e desgaste, objetos de estudo da tribologia, não dependem unicamente dos materiais das peças em contato e do meio lubrificante, mas também de forma muito intensa da textura das respectivas superfícies (WEINGRABER, 1989), (WHITEHOUSE, 1994a) e (MESQUITA, 1992). GRIEVE (1970), King (1977), OVAERT, (1995) e ZHOU (1995), entre outros, estudaram e caracterizaram processos de desgaste em função da topografia das superfícies em contato. BÖHM (1992) também estudou o mesmo tipo de problema e avaliou o comportamento do desgaste de superfícies platafórmicas, utilizando parâmetros de textura extraídos da curva de Abbott-Firestone. SUH (1994), mais recentemente, avaliou a influência da interação mecânica no coeficiente de atrito e propôs um modelo de textura de superfície para minimização do coeficiente de atrito.

Em mancais de deslizamento lubrificados é necessário que a superfície tenha uma grande capacidade de suporte de carga, garantindo que não haja desgaste prematuro e excessivo nas partidas e paradas, associada à existência de espaço suficiente e adequado para a retenção de lubrificante (MESQUITA, 1992), (WHITEHOUSE, 1994a). Os mancais de rolamento também exigem especificações restritas e isto levou McCool (1987) a estudar a relação entre os parâmetros R_q (rugosidade média quadrática, parâmetro 2, Apêndice 2) e Δ_q (inclinação média quadrática, parâmetro 33, Apêndice 2) e a pressão de contato. Mais tarde, o mesmo autor (MCCOLL, 1989) desenvolveu um programa computacional para avaliar a influência da textura sobre o comportamento dos filmes de lubrificante em mancais de rolamento. WEI (1995) também desenvolveu trabalho semelhante, estudando a influência da rugosidade em testes com lubrificantes de extrema pressão.

O interesse no estudo do atrito e do desgaste não se restringe aos materiais metálicos. Um exemplo típico é a aplicação dos plásticos de engenharia em mancais e em sistemas de vedação, a qual tem crescido ano a ano. Isto tem motivado o estudo das características superficiais de polímeros. MOORE (1971), por exemplo, estudou a influência da textura na lubrificação e nas propriedades de atrito em elastômeros.

A tribologia, sem dúvida alguma, conforme já afirmaram MESQUITA (1992) e WHITEHOUSE (1994a), é um dos campos onde mais se tem estudado a relação textura/função. No entanto, ainda não se tem um conhecimento pleno desta relação e o número de pesquisas em desenvolvimento neste campo ainda é grande.

□ Superfícies para aplicações ópticas

WHITEHOUSE (1994b) cita que as primeiras tentativas de formalizar o efeito da reflexão da luz por uma superfície, provavelmente foram feitas por G. Schmalz em 1929 e que após ele vieram: B. Lange em 1936, F. Canac em 1937, e J. Guild em 1940, posteriormente J. Nara, J. Peters e H. Tipton, respectivamente em 1953, 1965 e 1967, também fizeram contribuições significativas nesta área.

Muitos termos têm sido utilizados na literatura para nomear as propriedades refletivas das superfícies (WHITEHOUSE, 1994b). Neste trabalho optou-se pelo uso do termo: “brilho” (gloss) como o sinônimo mais apropriado.

O brilho de uma superfície, que reflete luz total ou parcialmente, é função do material e da textura da superfície e permite fazer uma avaliação subjetiva desta textura. Ele é crítico em aplicações onde se deseja especificar a aparência da peça e também tem sido aplicado como critério de avaliação para a adequação de superfícies que serão submetidas a processos de recobrimento e pintura, de filmes fotográficos, de papéis para aplicações especiais e, principalmente, em espelhos metálicos (WHITEHOUSE, 1994b).

O estudo da relação entre textura e brilho, ou seja, a relação entre a microgeometria de uma superfície e a dispersão de um feixe de luz que sobre ela esteja incidindo, envolve um conhecimento profundo de óptica, porém, os elementos da microgeometria que têm a maior influência no brilho são as curvaturas e as inclinações dos picos de rugosidade (WHITEHOUSE, 1994b), que podem ser descritos pelos parâmetros C_m (curvatura média dos picos do perfil, parâmetro 62, Apêndice 2) e N_{am} (valor médio absoluto da inclinação, parâmetro 34, Apêndice 2) ou Δ_q .

Vários equipamentos ópticos de grande exatidão utilizam espelhos metálicos, nestes casos a microgeometria da superfície tem um papel fundamental. É desejável que a superfície possua a forma dos picos e dos vales, bem como as inclinações dos flancos do perfil, controladas.

Com a evolução das técnicas ópticas de avaliação de superfícies, a compreensão da relação textura/brilho tem se tornado mais e mais importante. Com uma maior capacidade de avaliação das superfícies e com um maior entendimento da relação textura/brilho surgiu o interesse na pesquisa para o aprimoramento das técnicas de usinagem de peças aplicadas em funções ópticas (VENKATESCH, 1971) e (WHITEHOUSE, 1993).

□ Superfícies com problemas de adesão

Neste caso existem interesses distintos. Na adesão de alguns tipos de recobrimentos metálicos, sintéticos e orgânicos é necessário que a superfície tenha uma boa capacidade de ancoragem, pois a fixação do recobrimento se dá fisicamente e não quimicamente. BARDAL (1973) estudou a relação entre a textura e adesão de recobrimentos de alumínio depositados a chama em aços de médio carbono e determinou valores de R_a , R_{max} e do número de picos que garantissem uma boa adesão. No mesmo trabalho Bardal apresenta uma relação entre a refletividade da superfície (%) e a tensão de colagem.

Modernas técnicas de montagem utilizadas na indústria aero-espacial utilizam extensivamente processos de colagem de metais. O processo de adesão depende das características químicas e geométricas da superfície, portanto o pré-tratamento das áreas submetidas a colagem é de vital importância. Este pré-tratamento depende, entre outros fatores, do conhecimento da textura mais adequada à colagem, ou seja, aquela que permita o espalhamento do adesivo por toda a superfície, deslocando ar ou qualquer outra impureza, fazendo um contato molecular completo entre adesivo e substrato. LEONARDO (1989) estudou a influência da textura sobre a resistência mecânica de juntas coladas, avaliando dezessete parâmetros de rugosidade e chegou a conclusão de que para superfícies randômicas, a resistência das juntas aumentava com a rugosidade, mas era bastante difícil se esclarecer os efeitos causados pelos sulcos de superfícies periódicas.

Uma das mais importantes características das chapas metálicas utilizadas nas carrocerias de veículos é a contagem de picos, parâmetro de textura, a qual determina as características de pintura da chapa e possibilita o estudo da diminuição da camada de tinta necessária para o recobrimento sem a perda da aparência desejada (DEVRIES, 1976).

Por outro lado, existem superfícies onde se deseja a menor capacidade possível de ancoragem. Um exemplo típico é o das próteses dentárias, onde pesquisadores tem dedicado esforços na determinação de processos de acabamento que levem a valores de rugosidade R_a que garantam uma minimização na aderência de impurezas (ULUSOY 1986).

Outro exemplo típico são os equipamentos para processamento de alimentos, onde, por razões sanitárias, a textura dos componentes que entram em contato com o alimento devem ser controladas para que não haja acúmulo de partículas. Normalmente é exigida uma rugosidade média R_a da ordem de $0,8 \mu\text{m}$ para qualquer parte que entre em contato com alimentos (DEVRIES, 1976).

□ Superfícies com exigências quanto à resistência mecânica

As superfícies produzidas pelos vários processos de remoção apresentam uma grande variação quanto ao comportamento à fadiga. Os três fatores mais significantes são: rugosidade, tensões residuais e microestrutura, envolvendo, portanto textura e integridade.

Segundo WHITEHOUSE (1994a) existem expressões empíricas relacionando a rugosidade com a resistência à fadiga, mas o número de fatores que influenciam o comportamento de uma peça à fadiga dificultam a análise individual dos efeitos da rugosidade e, além disso, outros fatores têm limitado uma melhor compreensão da relação textura/fadiga :

- os parâmetros de rugosidade mais simples não são abrangentes o suficiente para serem utilizados e os especialistas em fadiga geralmente não estão familiarizados com as técnicas mais aprimoradas de análise da textura;
- os modelos dos mecanismos de fratura para micro-trincas são menos confiáveis do que para trincas maiores do que 1mm e é sobre as micro-trincas que se necessita pesquisar; e

- existe uma evidência intuitiva que os vales de rugosidade mais profundos e estreitos progredam para trincas, porém, devido aos limites técnicos dos equipamentos de análise de textura não é possível se ter a forma exata dos vales do perfil, limitando as conclusões;

Existem, entretanto, muitos indicadores indiretos demonstrando que a vida de uma peça submetida à fadiga é encurtada pela presença da rugosidade. A existência de poucas informações a respeito da correlação entre fadiga e rugosidade se deve, principalmente, à medição incompleta da superfície e até que isto seja corrigido é difícil se visualizar quanto progresso pode ser obtido (WHITEHOUSE, 1994a).

Uma evidência da influência isolada da rugosidade na fadiga é mostrada na figura 7. Nela está representado o resultado de uma experiência executada por TAYLOR e CLANCY, citados por WHITEHOUSE (1994a). Os corpos de prova, depois de usinados, foram submetidos a uma temperatura de 590° durante 3 horas para remover as tensões residuais, eliminando os efeitos da integridade. O ensaio de fadiga foi efetuado com uma frequência de 100 Hz com amplitude constante. Pelos resultados apresentados fica evidente que superfícies com menor rugosidade são mais resistentes à fadiga.

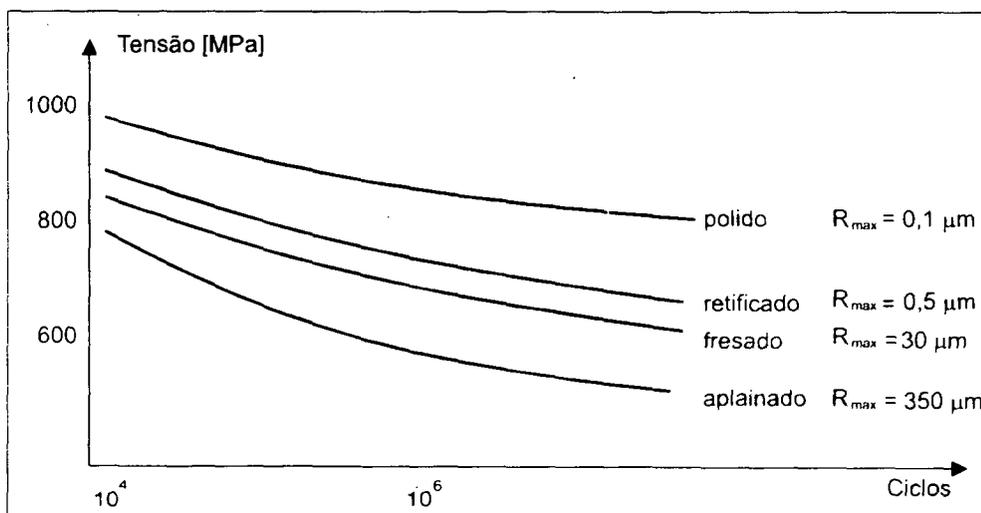


FIGURA 7- Influência da rugosidade no processo de fadiga. [WHITEHOUSE, 1994a]

Embora o atual estágio de estudo do efeito isolado da rugosidade sobre a resistência à fadiga não permita deduzir uma relação confiável, a sua conjugação com os efeitos de integridade podem levar a uma diminuição significativa da vida da peça, acarretando o risco de causar graves acidentes. Portanto, a especificação da textura em peças submetidas à fadiga e à tensões limites deve ser feita com muito critério, sempre levando em conta efeitos conjugados textura/integridade.

□ **Outros tipos de superfícies com exigências quanto à textura**

A interação das superfícies sólidas com líquidos e gases também é bastante influenciada pela textura. Um exemplo típico é a exposição à atmosfera que pode causar corrosão, principalmente no caso de haver tensão residual associada a rugosidade (WHITEHOUSE, 1971). O estudo da relação corrosão/textura é avaliada sob dois aspectos, o primeiro diz respeito à capacidade da superfície receber filmes protetores, portanto, voltada ao problema da aderência. O segundo aspecto está relacionado com a existência de formas geométricas que favoreçam a formação de pilhas galvânicas, gerando ataques localizados. (WHITEHOUSE, 1994).

O escoamento de fluidos ou gases sobre a superfície de um componente, elementos aerodinâmicos por exemplo, é influenciada pela textura desta superfície e, dependendo da rugosidade, poderão ocorrer turbulências prejudiciais ao desempenho do componente ou até mesmo a geração indesejada de calor (WHITEHOUSE, 1971).

Existem mais casos, não menos importantes, onde o comportamento funcional é fortemente dependente da textura, destacando-se: superfícies metrológicas de referência, superfícies de componentes elétricos, superfícies para selamento mecânico, superfícies para transmissão e dissipação de calor e superfícies de placas ("wafers) de silício utilizadas na micro-eletrônica. (DEVRIES, 1976), (KOBAYASHI, 1973), (WHITEHOUSE, 1994a).

Existem superfícies que mesmo sem exercer uma função tecnológica específica também exigem especificações de textura. São aquelas onde se deseja características

bem definidas de aparência e sensibilidade ao toque. É o caso de peças plásticas utilizadas em automóveis, brinquedos e utensílios em geral, cuja textura final é função da textura do molde de injeção.

O recente desenvolvimento na instrumentação e nos computadores dedicados ao levantamento da textura em 3D, bem como das técnicas de varredura de superfícies sem contato, tem permitido um avanço na aplicação dos conceitos da metrologia de superfícies na medicina e na bioengenharia (STOUT, 1995). Os exemplos já ultrapassam a simples análise da textura das superfícies de juntas para próteses ortopédicas, que não deixa de ser um problema tribológico. Atualmente, a análise da textura de superfícies tem sido mais e mais aplicada na solução de problemas de bioengenharia e na pesquisa médica. Entre os casos mais estudados podem ser citados (STOUT, 1995): qualidade de lentes de contato, qualidade do selamento mecânico de válvulas para corações artificiais, estudo de cânceres dermatológicos, estudo da superfície da raiz de dentes após tratamentos periodontais e estudo da textura de materiais sintéticos utilizados para enxertos em artérias.

VERMEULEN (1995) também se utilizou de técnicas de medição e análise da textura em 3D, mas para caracterizar superfícies de chapas destinadas à estampagem profunda. Neste caso a preocupação principal também foi a relação textura/função e o objetivo principal foi a seleção de processos de texturização de chapas de aço que favorecessem a adesão do lubrificante utilizado para estampagem profunda (caso tipicamente tribológico).

A textura de uma superfície também pode ser utilizada para determinar se a ferramenta utilizada na sua geração está dentro dos limites de operacionabilidade. O exemplo mais comum é a avaliação do desgaste de ferramentas de usinagem em função da rugosidade da peça usinada (MARIOLANI, 1992) e (TAYLOR, 1963), mas a textura da superfície também pode ser utilizada para avaliar o estado de ferramentas de extrusão, trefilação e estampagem. O acabamento da superfície também é um dos

critérios aplicados na avaliação da usinabilidade (FERRARESI, 1977) e (MICHELETTI, 1977) e na análise do desgaste de ferramentas abrasivas (BRINKSMEIER, 1992).

Estes exemplos mostram o quanto é errônea a afirmação generalista de que “quanto mais liso melhor”. Para cada grupo de aplicações existe uma microgeometria mais adequada. Além disso, OSTVIK e CRISTENSEN, citados por WHITEHOUSE (1971), mostraram o quão rapidamente muda a textura de uma superfície em serviço. Portanto é necessário se prever a forma que será atingida em pleno uso, uma vez que as propriedades funcionais estarão relacionadas com esta forma e não com a superfície virgem.

3.3.4 Comparação e caracterização de superfícies

Neste ponto pode-se afirmar que existem duas abordagens distintas do problema da textura, uma na qual se comparam superfícies oriundas de um ou mais processos e outra na qual se qualifica uma superfície para uma função específica.

No caso da comparação, se tem algum domínio do tipo da textura gerada pelo processo de fabricação utilizado e uma peça é classificada como melhor ou pior que outra, na medida em que minimizar ou maximizar um determinado parâmetro de rugosidade pré-estabelecido, usualmente R_a ou R_{max} . Este tipo de abordagem é a que até a pouco tempo se via na maioria das aplicações industriais (MESQUITA, 1992). Como em muitos casos existe muita experiência acumulada com relação ao processo de fabricação e ao comportamento do componente em serviço, faz-se então a especificação de uma superfície com parâmetros que pouco ou talvez em nada, reflitam a microgeometria existente de fato. Ou seja, é sabido que com um determinado processo de fabricação atinge-se um valor definido para a rugosidade, que usualmente é avaliada por R_a , R_q , R_z ou R_{max} , e isto satisfaz, pois “o componente vem sendo produzido assim há muito tempo e não existem reclamações”.

Esta abordagem prática baseada na experiência acumulada é muito simples, porém, se o objetivo for especificar o processo de fabricação para que se obtenha uma textura pré-estabelecida, este tipo de abordagem oferecerá poucas possibilidades para a otimização dos parâmetros do processo de fabricação e muito menos ainda com relação ao próprio processo, pois para tal é necessário se ter domínio da relação fabricação/função/textura. Assim, esta filosofia teve que mudar, principalmente em função das pressões de mercado no sentido da melhoria da qualidade dos produtos industriais e também como consequência dos avanços no campo da metrologia de superfícies.

Por outro lado, a comparação direta entre superfícies por intermédio de parâmetros poucos representativos em relação a micro-geometria (R_a , R_{max} e R_y , por exemplo), tem sua utilização no monitoramento de alguns processos de fabricação, principalmente nos de remoção com ferramentas de geometria definida e não definida (NOAKER, 1992). Para tal, basta que se conheça a textura da superfície gerada pelo processo sob condições ideais e definir quais parâmetros devem ser monitorados para que se tenha controle sobre a qualidade do processo. Com este tipo de abordagem podem ser constatados problemas como o desgaste de ferramentas, surgimento de gume postigo de corte, vibrações indesejadas e até variações no material da peça. Outra maneira de se monitorar um processo de remoção através da textura da superfície dele resultante, é por meio da análise espectral da distribuição de amplitudes com auxílio da transformada de Fourier ou com a transformada de "wavelet" (CHEN, 1995).

A segunda abordagem utiliza os dados e a experiência acumulada com o método antigo para qualificar, ou caracterizar, a superfície. Neste caso, a função que a superfície virá a desempenhar em serviço é bem conhecida e será utilizada para definir qual tipo de micro-geometria é a mais adequada, qual processo utilizar para obtê-la e quais parâmetros utilizar para controlá-la. Esta metodologia já foi pesquisada

por MESQUITA (1992) e permite o estudo de casos novos e a otimização de casos já consagrados pelo uso.

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos na busca do entendimento da relação textura/função. Boa parte destes trabalhos surgem da tentativa de caracterizar superfícies de maneira a evidenciar aquela relação. WHITEHOUSE (1994a) afirma que recentemente foi observado que alguns tipos de superfícies possuem um comportamento denominado de propriedade fractal. DOEGE (1995) estudou a aplicação de geometria fractal na caracterização da textura de chapas e mostrou que são necessários apenas dois parâmetros para distinguir duas superfícies diferentes. BHUSHAN (1990 e 1991) também estudou a aplicação da geometria fractal em superfícies, neste caso tendo em vista aplicações tribológicas.

HAMED (1978) apresenta um estudo matemático baseado no uso de séries de “eventos unitários”, no qual determina quais parâmetros são mais significativos na avaliação de superfícies por ele descritas como aleatórias, tais como as obtidas por jato de areia e por processos termo-químicos e chegou à conclusão de que tais superfícies podem ser descritas estatisticamente por perfis tendo ordenadas com distribuição normal conjuntamente a uma forma de função de auto-correlação exponencial.

Como pode ser observado, existe grande interesse na caracterização de superfícies e a implementação de novas técnicas, a exemplo do sistema MOTIF (WHITEHOUSE, 1994a) e da análise fractal, tem permitido um avanço significativo.

3.3.5 Comentários finais sobre o trinômio textura-função-fabricação

A influência do acabamento nas propriedades físicas e funcionais das superfícies técnicas é o resultado da combinação de processos e propriedades, tais

como: deformações, características adesivas, defeitos localizados, plasticidade e afinidade entre materiais em contato.

A caracterização das superfícies técnicas pode ser dividida em dois grupos. No primeiro a superfície não sofre modificação pelo uso e, portanto, as especificações deverão se limitar às características funcionais. É o caso das superfícies utilizadas em aplicações ópticas e de recobrimento. No segundo grupo, a superfície sofre modificações pelo uso até praticamente se estabilizar, como por exemplo as superfícies tribológicas. Nestes casos, as especificações iniciais deverão levar em conta estas modificações e prever qual tipo de textura garantirá que a forma final estabilizada será capaz de atender as exigências quanto às funções prescritas.

Devido à importância da relação textura/função/fabricação, muitos esforços têm sido dispendidos na sua compreensão. O rápido desenvolvimento das técnicas e dos equipamentos de medição de superfícies, associado ao aumento da capacidade de processamento dos dados obtidos por estes equipamentos, tem favorecido o estudo da relação textura/função. Paralelamente, o aprimoramento das técnicas de fabricação e a aplicação de novos materiais, tanto para componentes como para ferramentas, tem permitido a produção de peças com especificações cada vez mais apertadas e com maior confiabilidade, o que também tem favorecido acentuadamente o estudo da relação textura/fabricação.

3.4 Medição da textura

Nos itens anteriores foi apresentado o conceito de textura de superfície e os seus elementos geométricos básicos e discutidas as relações entre a textura, sua função e sua fabricação. Para que se possa avaliar adequadamente os elementos geométricos e as relações já expostas é imprescindível que se quantifique estes elementos e estas relações, portanto, é necessário se analisar a textura da superfície.

Neste item serão discutidos os problemas referentes a este tipo de medição e no próximo item (3.5) serão apresentados os processos e equipamentos para efetuar a medição.

Os métodos de medição da textura podem ser divididos em duas categorias, uma tipicamente industrial e outra relacionada à pesquisa. Os métodos utilizados no chão de fábrica, embora normalizados, não são totalmente adequados para pesquisa, uma vez que são bastantes limitados, tanto no aspecto instrumental quanto no aspecto metodológico. O segundo tipo de método de medição é o aplicado em laboratórios de pesquisas e não segue obrigatoriamente nenhuma norma, uma vez que reflete as necessidades das pesquisas em andamento. Estes, normalmente não são aplicáveis ao chão de fábrica, devido à falta de equipamentos, aos custos e ao dispêndio de tempo envolvidos.

Neste capítulo não será feita nenhuma das duas abordagens em específico, mas sim uma combinação de ambas, visto que nenhuma delas oferece soluções definitivas, mas sim soluções que se complementam.

Na medição da textura o objetivo é avaliar os desvios da superfície em relação às especificações de projeto. Isto inclui os desvios de segunda a quinta ordem, já discutidos anteriormente (3.2.2). Portanto, o problema colocado daqui por diante é como se proceder para medir a rugosidade e a ondulação em superfícies técnicas.

Com o objetivo de melhor explicar o problema de medição dentro do contexto da textura, optou-se por analisar separadamente os seguintes tópicos: sistemas para medição da textura, filtragem de sinais, número de amostras e tipos de parâmetros a medir.

3.4.1- Sistemas de medição

Já nos primórdios do desenvolvimento das técnicas de medição da textura ficou evidente a necessidade de se criar padrões para a determinação quantitativa da

rugosidade. Conseqüentemente surgiram várias propostas, que podem ser resumidas em dois grandes grupos, um no qual se utiliza a idéia da linha média - *Sistema M* - e outro no qual se utiliza o princípio da envoltória - *Sistema E* (DEVRIES, 1963)

□ Sistema M

Segundo DEVRIES (1963) em 1938 E. J. ABBOTT apresentava o seu "Profilometer", o qual empregava um método de apalpamento da superfície para medir a forma e a dimensão das irregularidades de uma superfície e com este instrumento o Sistema da Linha Média, ou simplesmente sistema M, foi introduzido como uma proposta para avaliação quantitativa da textura superficial.

A definição atual de linha média diz que ela possui a mesma forma do perfil efetivo e está disposta paralelamente à direção do perfil efetivo, de maneira tal que a soma das áreas superiores seja igual a soma das áreas inferiores (ABNT, 1984), (DIN, 1989) e (ISO, 1984), figura 8.

Através de processos de filtragem digitais, que serão discutidos posteriormente, separam-se do perfil P as componentes relativas à ondulação (perfil W) e à rugosidade (perfil R). Nestes processos de filtragem o perfil de ondulação corresponde à linha média do perfil P. A linha média para os perfis de rugosidade e de ondulação é uma linha reta que divide estes perfis, de maneira tal que a soma das áreas acima dela seja igual a soma das áreas abaixo dela, de maneira similar ao apresentado na figura 8.

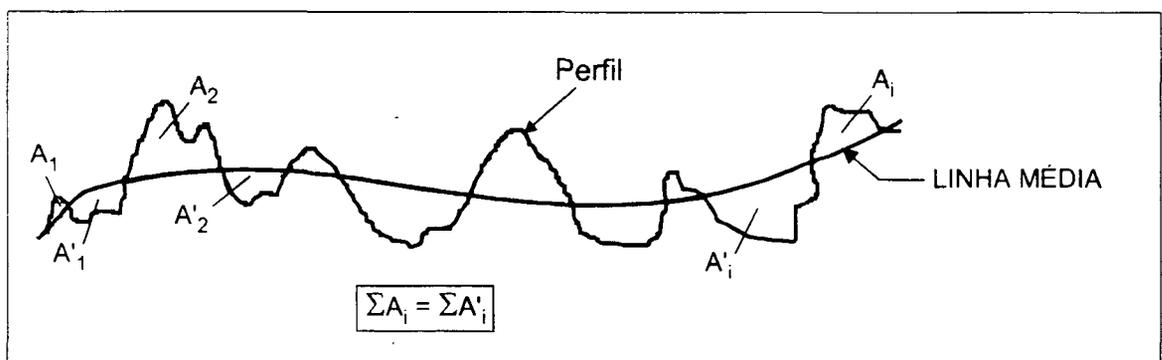


FIGURA 08. Definição de linha média. [ISO, 1989]

Na figura 9 é apresentada a linha média para um perfil de rugosidade. Com a definição de linha média, após a filtragem, e do comprimento de amostragem " l_e " (ABNT, 1984), (ISO, 1984) e (DIN, 1989), mostrado na figura 9 e detalhado no Apêndice 2, foi possível se desenvolver toda uma gama de parâmetros de rugosidade e de ondulação (Apêndice 2), os quais fazem parte do sistema M para medição da textura.

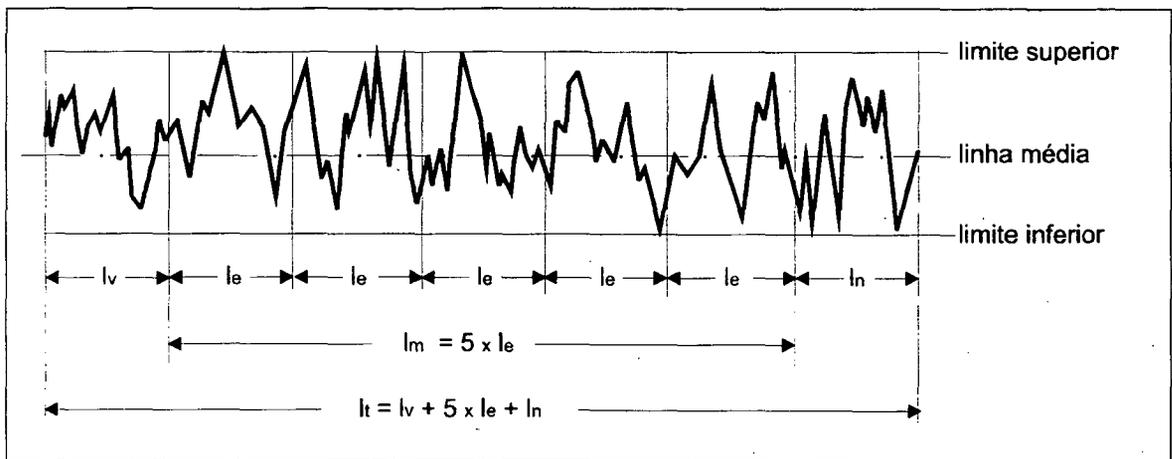


FIGURA 09. Percursos e comprimentos típicos utilizados no sistema M. (ABNT, 1984)

l_e = comprimento de amostragem

l_v = percurso inicial

l_n = percurso final

l_m = percurso de medição

l_t = percurso de apalpamento

O sistema M, é o que apresenta menores dificuldades para a implementação instrumental e computacional e em função disso é adotado pela maioria dos países e sistemas de normalização, incluindo as normas DIN, ISO e ABNT. A partir da linha média é calculada a maioria dos parâmetros de rugosidade definidos por estas normas. A apresentação e discussão dos parâmetros de rugosidade será feita detalhadamente no capítulo 3.5 e no Apêndice 2.

□ Sistema E

P. NICOLAU, citado por DEVRIES (1963), também publicou em 1938 sua concepção metrológica de rugosidade. Para tal considerou um equipamento de

medição usual no qual um patim entra em contato com a superfície, deslizando sobre ela segundo uma trajetória reta. Neste caso, a envoltória da superfície gerada pelo deslocamento do patim simultaneamente na vertical e na horizontal, é quem define o perfil da superfície medida. Os desvios da superfície real em relação à superfície medida formam a rugosidade, mas a superfície medida é fortemente dependente da forma e da dimensão do patim. Com esta concepção foi introduzido o Sistema E, também conhecido como Sistema Envolvente. Esta definição utiliza os picos mais altos do perfil como referência para o cálculo dos parâmetros de rugosidade. SCHMALZ, citado por WHITEHOUSE (1994a), propôs um sistema semelhante, porém, utilizando uma linha reta tocando os vales mais profundos do perfil como referência para o cálculo dos parâmetros de rugosidade.

O sistema E, concebido por Weingraber em 1957 (WHITEHOUSE, 1994), utiliza como linhas de referência duas envoltórias descritas pelos centros de dois círculos de raios R e r (250mm e 25mm, respectivamente) que rolam sobre a superfície sem escorregar (WEINGRABER, 1989), (AGOSTINHO, 1977) e (BRYAN, 63). A vantagem deste sistema é que a ondulação e a rugosidade podem ser separadas, desde que se usem um patins com raios adequados. No sistema E, a seleção dos raios dos patins tem a mesma função da seleção do comprimento de amostragem " l_e " (ABNT, 1984) no sistema M, ou seja, definir o limite de separação entre os componentes do perfil que pertencem à rugosidade e os que pertencem à ondulação. Isto é muito importante na prática, pois estes desvios têm origens distintas e só assim se pode eliminá-los, caso as exigências funcionais da superfície assim recomendem. Obviamente, para que se tenha a mesma versatilidade oferecida pelo sistema M para a escolha de l_e , é necessário se fornecer o mesmo nível de opções de escolha para os raios dos patins no sistema E. Utilizando-se o mesmo critério aplicado na seleção de 0,8mm como sendo o melhor valor de l_e (sistema M) para uso geral, pode-se afirmar que para o sistema E a melhor escolha é um patim com raio de 25 mm (WHITEHOUSE, 1994a). O

critério aqui adotado implica na escolha do comprimento de amostragem (sistema M) ou do raio do patim (sistema E) que, aplicado na medição da textura da maioria das superfícies obtidas por processos industriais, permita uma separação coerente entre ondulação e rugosidade. Esta separação coerente, parte da premissa do reconhecimento de quais características funcionais da superfície se devem unicamente à ondulação e quais se devem unicamente à rugosidade.

No final da década de cinquenta e início da década de sessenta, alguns pesquisadores estudaram o problema da normalização da rugosidade e a aplicabilidade dos dois sistemas básicos, sistema E e sistema M, bem como a existência de uma possível relação entre eles (BICKEL, 1963), K. V. OLSEN, R. E. REASON, H. Von WEINGRABER e J. PERTHEN, citados por DEVRIES (1963). Portanto, não havia consenso entre quais dos dois sistemas seria mais adequado. Por fim, o sistema E caiu em desuso, devido principalmente às dificuldades instrumentais e computacionais inerentes à sua aplicação (WHITEHOUSE, 1994a).

Com o aperfeiçoamento das técnicas instrumentais e do processamento de dados, as técnicas envoltórias têm ressurgido. Porém, não mais com o conceito original de uma esfera rolando diretamente sobre uma superfície. O método MOTIF apresentado a seguir é um exemplo.

□ Sistema Motif

O sistema Motif é uma técnica envoltória que foi proposta na França no início dos anos setenta e se encontra nas normas NF. 05-15 (1984) e ISO/DIS 12085 (1996).

Neste sistema, considera-se o perfil não filtrado como sendo constituído de elementos geométricos (“features”) bem definidos, os quais são compostos de dois picos com um vale entre eles, como apresentado na figura 10. Este elemento geométrico característico é denominado “MOTIF” e a técnica consiste na combinação dos vários motifs que compõem o perfil.

O sistema surgiu da necessidade de se determinar quantitativamente se uma determinada variação no padrão geométrico do perfil é pequena o suficiente para ser desconsiderada, ou se ela é relevante na avaliação do perfil. A técnica consiste em considerar dois motifs adjacentes e determinar se eles podem ser combinados em um único motif.

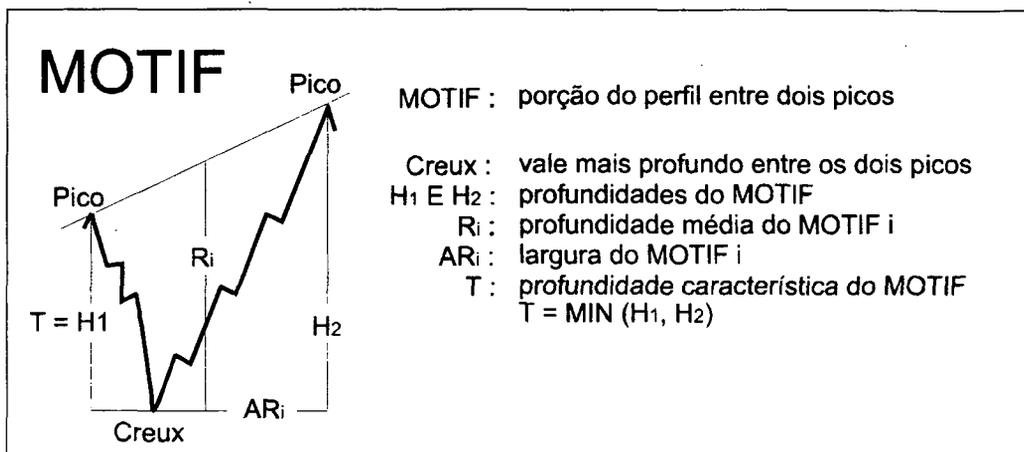


FIGURA 10. MOTIF e de seus elementos geométricos. [WHITEHOUSE, 1994a]

A combinação entre motifs só é possível quando são cumpridas quatro exigências, as quais estão detalhadas a seguir e representadas na figura 11.

- Exigência quanto ao recobrimento: o pico comum aos dois motifs a serem combinados deve ser menor que um dos picos adjacentes (fig. 11a);
- Exigência quanto à largura: motifs adjacentes só podem ser combinados se o resultado final tiver menos que $500\mu\text{m}$ de largura (fig. 11b). Elementos geométricos com larguras inferiores a $500\mu\text{m}$ são considerados como rugosidade. Para avaliação da ondulação o limite superior corresponde a $2500\mu\text{m}$, portanto a faixa correspondente à ondulação é de 500 a $2500\mu\text{m}$;
- Exigência quanto à amplificação: motifs adjacentes só podem ser combinados se a profundidade característica resultante $T3$ for igual ou maior que a maior das profundidades características dos dois motifs combinados $T1$ e $T2$ (fig. 11c); e

- Exigência quanto ao relacionamento: motifs adjacentes só podem ser combinados se a menor das profundidades características T1 ou T2 for menor que 60% da profundidade de referência local TR (fig. 11d).

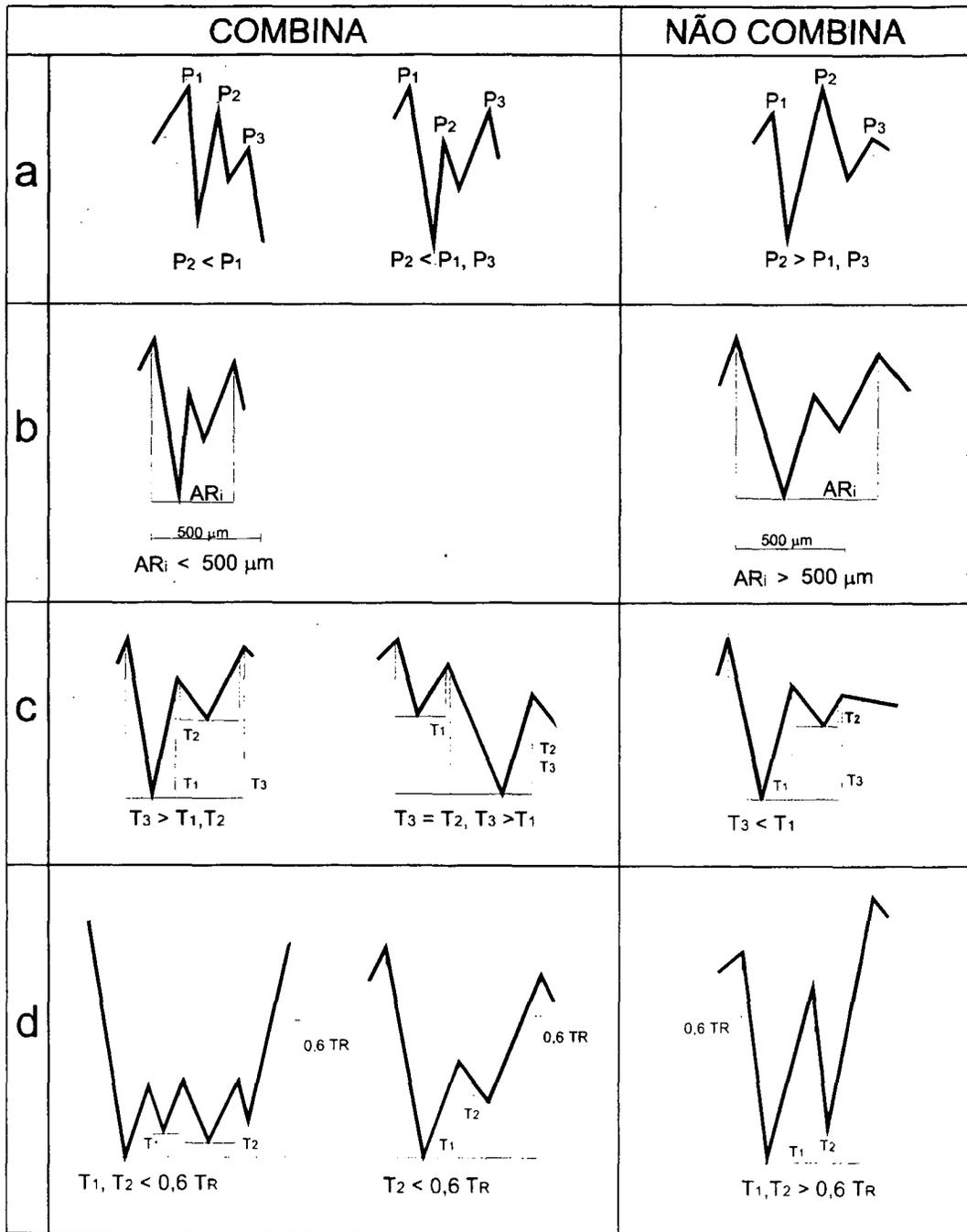


FIGURA 11. Condições para a combinação de dois motifs. [WHITEHOUSE, 1994a]

Para a determinação do valor inicial de " T_R " o perfil é dividido em partes de no máximo $500\mu\text{m}$ de largura e se procura uma profundidade apropriada, a qual será utilizada no primeiro ciclo de computação. A partir do segundo ciclo de computação, a profundidade característica das possíveis combinações motif " T_3 " passa a ser a profundidade de referência T_R .

Cada nova combinação deve ser comparada com o motif adjacente até que não seja mais possível nenhuma combinação ao longo do perfil. Estas combinações, quando limitadas a motifs com $500\mu\text{m}$ de largura geram o perfil de rugosidade e quando limitadas a motifs com $2500\mu\text{m}$ de largura geram o perfil de ondulação.

A amplitude dos grandes picos ou vales isolados serão reduzidos a uma dimensão média. O perfil envolvente superior oriundo da avaliação da rugosidade representa o perfil de ondulação e o perfil envolvente superior da ondulação representa o erro de forma.

O método de combinações motif proporciona uma avaliação matemática objetiva a qual elimina qualquer subjetividade, além de avaliar uma superfície sem o uso de filtros lineares, análogos ou digitais (PERTHEN, 1990).

Segundo WHITEHOUSE (1994a) o método de combinações motif é, aparentemente, uma outra maneira de se julgar perfis, talvez complementando os métodos de filtragem existentes, ou talvez sendo melhor indicado para o tratamento de superfícies totalmente randômicas. Já STOUT (1997), afirma que possivelmente o método seja significativo somente para aplicações tipicamente tribológicas.

3.4.2 Medição bidimensional (2D) versus medição tridimensional (3D)

Os métodos discutidos até aqui partem do princípio de que tem-se um perfil da superfície, sobre o qual são feitas todas as considerações. Mas uma superfície é tridimensional (3D) e qualquer um dos infinitos possíveis perfis que se utilize para descrevê-la é bidimensional (2D). Stout (1992) afirma que a relação entre a topografia de uma superfície e seu comportamento funcional é tridimensional e que as definições

correntemente empregadas para superfícies são extremamente limitadas, uma vez que as normas se baseiam na obtenção de perfis em 2D. Existe, portanto, uma demanda para a normalização de parâmetros de textura em 3D.

As técnicas para medição da textura de uma superfície em 3D estão bem desenvolvidas (SOUT, 1992) e atualmente já existem equipamentos capazes de avaliar uma superfície em 3D com rapidez e confiabilidade, disponíveis não só para pesquisa, mas também para uso industrial (CATÁLOGO, 1994) e (CARNEIRO, 1995). Além disso, alguns pesquisadores em particular e grupos de trabalho internacionais já estão trabalhando na elaboração de parâmetros de rugosidade em 3D (CARNEIRO, 1995), (SOUT, 1992), (VERMEULEN, 1995), (LOPEZ, 1995) e W. P. DONG, citado por CARNEIRO (1992).

As técnicas mais modernas para a medição da textura em 3D utilizam feixes eletromagnéticos, que varrem a superfície com grande rapidez, alta resolução e sem que haja contato, permitindo uma medição sem alteração da superfície e com maior riqueza de detalhes. Segundo SOUT (1989) já é reconhecido que as técnicas em 3D fornecem uma descrição mais abrangente da textura de uma superfície.

Alguns equipamentos de perfilamento conseguem fazer uma varredura em 3D da superfície (CATÁLOGO, 1992), (CATÁLOGO, 1993) e (CATÁLOGO, 1990), mas na realidade o que se executa é uma série de medições paralelas de perfis adjacentes, figura 12. A medição, portanto, é discreta e não contínua e assim se perde muito das características da superfície. Além disso, o tempo de medição é relativamente grande e na maioria dos equipamentos deste tipo, se obtém somente uma representação gráfica da topografia da superfície e não os parâmetros descritivos em 3D.

Embora seja prematuro se fazer afirmações definitivas, com a diminuição dos custos e com o avanço das tecnologias envolvendo a medição em 3D, muito provavelmente os sistemas convencionais de perfilamento em 2D serão abandonados ao longo do tempo. Até mesmo porque, as exigências crescentes com relação à

qualidade pressionam a busca de tecnologias mais confiáveis de se medir e qualificar as superfícies técnicas.

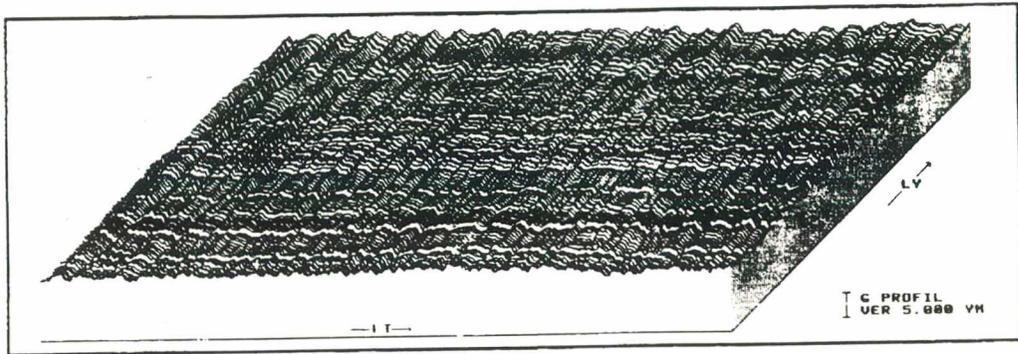


FIGURA 12. Topografia de uma superfície retificada medida com um apalpador do tipo estilete. Área de 5,6 x 5,6 mm com 129 passos de medição na direção LY, distância entre os perfis igual a aproximadamente 43 μm .

3.4.3 Filtragem de sinais

Conforme apresentado nos itens 3.2.2 e 3.2.3, o perfil de uma superfície técnica representa na maioria das vezes, uma sobreposição dos desvios de forma, ondulação e rugosidade. Já que estes desvios têm diferentes origens e em geral, influenciam de forma distinta a utilização e funcionamento da superfície de uma peça, é necessário separá-los para efetuar a avaliação de suas causas e de seus efeitos.

A principal dificuldade é que a partir da representação gráfica do perfil de uma superfície qualquer, não existe nenhum limite visual bem definido que permita diferenciar as várias componentes que compõem este perfil, forma, ondulação e rugosidade. Na prática obtém-se a separação entre estes componentes com o auxílio de processos de filtragem, sejam eles mecânicos, elétricos ou digitais.

□ Filtragem mecânica

Este tipo de filtragem é indesejada e ocorre no uso de apalpadores do tipo estilete com patins de apoio (SANDER, 1989). Os limites construtivos impedem que o

estilete percorra o contorno de perfil em todos os seus detalhes. Assim, algumas características geométricas, como por exemplo, fendas muito profundas e estreitas, bem como elevações com flancos muito abruptos, não são captadas perfeitamente pelo estilete. Isto gera uma deformação do perfil real, que então sofreu um primeiro nível de filtragem mecânica.

Os patins de apoio são utilizados para que a própria superfície da peça possa servir de referência no levantamento de um perfil de rugosidade e o seu uso é muito comum nos rugosímetros portáteis. Dependendo da relação entre o raio do patim e a ondulação da superfície poderá haver uma filtragem parcial ou até mesmo total da ondulação. Na realidade um patim funciona como um filtro passa alta, bloqueando a ondulação e fazendo com que o estilete responda somente à rugosidade (SANDER, 1989) e (WHITEHOUSE, 1994). No item 3.5 será novamente discutido o problema do uso de patins de apoio e suas conseqüências na avaliação da textura.

Na prática a filtragem intencional, de onde se obtêm os perfis primário, de rugosidade e de ondulação, é efetuada por dispositivos elétricos ou digitais. Estes tipos de filtragem de perfis de superfícies serão discutidos a seguir.

□ Filtragem elétrica

Na prática de medição da rugosidade, o sinal, oriundo de um dispositivo de medição qualquer, passa por uma seqüência de dispositivos antes que seja feito o processamento matemático para cálculo dos parâmetros de caracterização da textura. Como o sinal geralmente é de baixa intensidade ele necessita primeiro ser amplificado. Após a amplificação existem três possibilidades distintas: ou ele passa por um filtro passa-alta, onde se isola o perfil de rugosidade (perfil R); ou ele passa por um filtro passa-baixa, onde se isola o perfil de ondulação (perfil W); ou ele não passa por filtragem alguma e então se tem o perfil primário (perfil P), onde se sobrepõem os perfis R e W. Em seguida o sinal, ampliado e filtrado, está em condições de ser processado matematicamente para obtenção dos respectivos parâmetros. Na figura.13

é apresentado um esquema da seqüência de tratamento do sinal de textura do apalpador à saída dos filtros (SANDER, 1989).

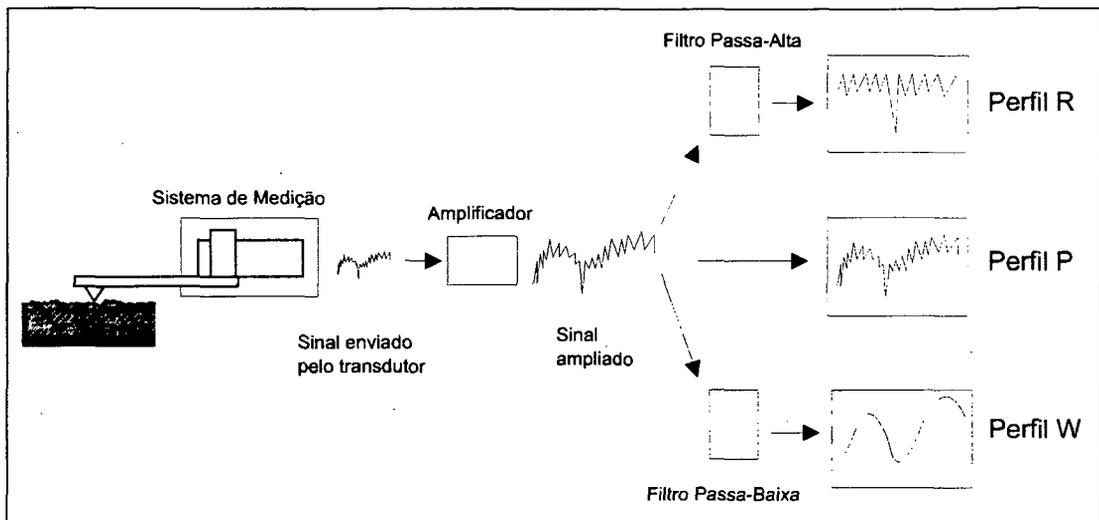


FIGURA 13. Processamento da Filtragem elétrica. [SANDER, 1989]

A filtragem do sinal da textura de uma superfície se assemelha ao peneiramento de um determinado material granulado, onde ocorre a separação dos diversos componentes, de acordo com suas dimensões, através de diferentes malhas.

Os filtros elétricos diferenciam-se em filtros passa-alta e passa baixa (domínio da frequência). Os primeiros suprimem as ondas longas, ou de baixa frequência, (ondulação) e deixam passar apenas os desvios com ondas curtas e de alta frequência (rugosidade). Neste tipo de filtragem também ocorre a transformação da linha média do perfil, a qual acompanha as ondulações e a forma geral do perfil, em uma reta de referência. A partir desta reta são feitos os cálculos dos parâmetros de rugosidade.

Os filtros passa-baixa, por sua vez, suprimem as ondas curtas, ou de alta frequência (rugosidade) e deixam passar apenas os desvios com ondas longas (ondulação e desvios de forma).

Estes filtros são construídos com combinações de resistores e capacitores e por isso são denominados filtros RC. Embora tenham sido utilizados por muitos anos nos equipamentos de medição de rugosidade, estão sendo abandonados, pois causam

grandes distorções em relação ao perfil real, implicando em erros no cálculo dos parâmetros (SANDER, 1989). Os equipamentos modernos ainda os têm como opção, para que se tenha a possibilidade de se comparar resultados atuais com os obtidos antes do advento dos filtros digitais.

A principal característica de um filtro de rugosidade é o seu comprimento de onda limite, também denominado de “cut-off” e simbolizado por λ_c , (ABNT, 1988) e (DIN, 1990a). O “cut-off” estabelece um valor limite, todos elementos geométricos do perfil abaixo dele serão considerados como pertencentes à rugosidade e todos acima serão considerados como ondulação (WHITEHOUSE, 1994), (WEINGRABER, 1989) e (SANDER, 1989).

As normas (ABNT, 1988) e (DIN, 1990a) prescrevem cinco valores para λ_c : 0,08 - 0,25 - 0,8 - 2,5 e 8mm. Para cada valor de λ_c o filtro apresenta uma curva com suas características funcionais. Na figura 14 são apresentadas as curvas correspondentes a cada um dos λ_c , para um filtro do tipo RC (ABNT, 1988) e (DIN, 1990a).

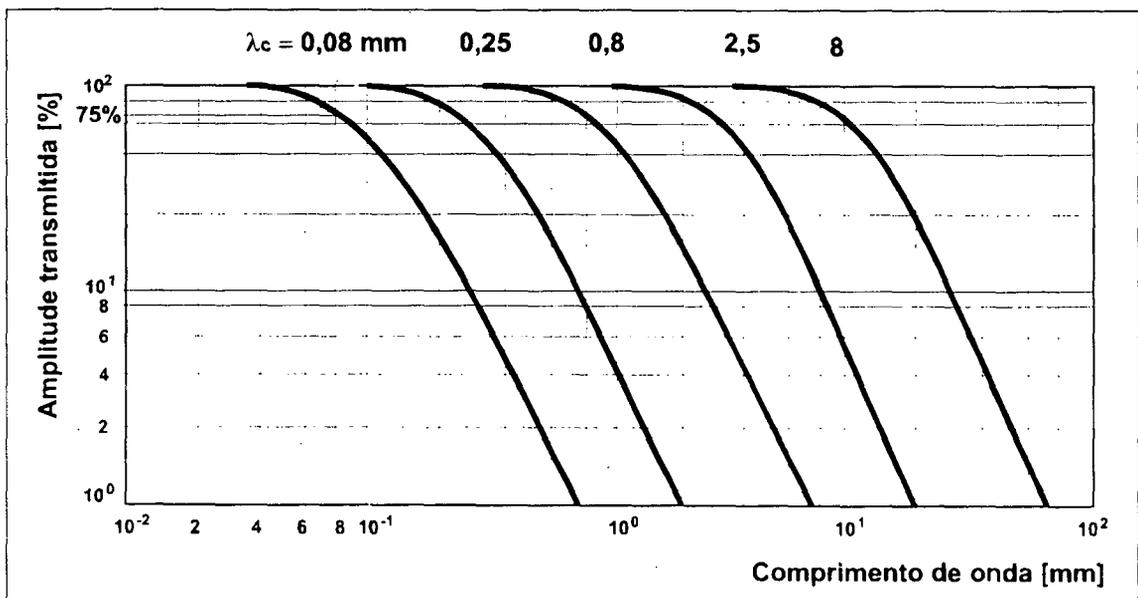


FIGURA 14. Curvas de transmissão características para filtros RC passa-alta.

[DIN, 1990a]

A seleção do valor adequado para λ_c é feita segundo recomendações de normas (ABNT, 1988) e (DIN, 1990b), que abrangem tanto superfícies com perfis periódicos como superfícies com perfis aperiódicos.

No sistema M o valor do comprimento de amostragem (l_e) é igual ao valor do "cut-off" (λ_c), portanto, o percurso de apalpamento (l_t) e o percurso de medição (l_m) são dependentes do valor adotado para λ_c (ABNT, 1988) e (DIN, 1990b).

Na figura 14 também pode-se observar que existe uma perda na amplitude do sinal transmitido, sendo esta perda uma característica inerente aos filtros reais. Para um filtro RC passa-alta esta perda é igual a 25%, quando o comprimento de onda da superfície medida for igual ao valor de λ_c . Isto quer dizer que somente 75% do perfil de rugosidade será considerado, ficando os restantes 25% englobados pela ondulação. Situação semelhante ocorre com os filtros passa-baixa. Não se pode concluir daí que quanto menor for o "cut-off" escolhido melhor será a filtragem, pois poderá estar se cometendo o erro de considerar como ondulação elementos geométricos que funcionalmente se comportam como rugosidade (SANDER, 1989). Devem ser seguidas as recomendações das normas.

A principal desvantagem na aplicação de um filtro RC, reside no fato dele causar uma forte distorção de fase quando aparecem vales muito profundos e estreitos no perfil de rugosidade (SANDER, 1989), (VANHERCK, 1994) e (WHITEHOUSE, 1994). Esta distorção de fase leva a erros consideráveis no cálculo dos parâmetros de rugosidade verticais e no levantamento da curva de suporte do perfil (item 44, Apêndice 2) (BÖHM, 1992), porém, ela deixa de existir quando se aplicam filtros digitais, assunto do próximo item.

□ Filtragem digital

De acordo com WHITEHOUSE (1994a), a filtragem é uma maneira natural de se isolar as faixas específicas de informação geométrica de uma superfície (desvios de forma, ondulações e rugosidade). Os primeiros métodos de filtragem aplicados à

rugosímetros, implicavam na passagem do sinal elétrico originado no transdutor e posteriormente ampliado, através de um circuito elétrico ativo ou passivo. O tratamento deste sinal se dava no domínio da frequência e este não é o domínio natural da superfície, que é espacial. Portanto, a introdução do uso de métodos digitais para filtragem de sinais oriundos da textura de superfícies é considerado um passo importante na metrologia de superfícies (WHITEHOUSE, 1994).

Neste caso o sinal elétrico passa por um conversor A/D (analógico/digital) e é digitalizado, sendo possível a sua leitura e armazenagem como um arquivo de dados em um microcomputador. Agora, cada medida digitalizada pode ser mais facilmente referenciada como um ponto sobre a superfície. A principal vantagem desses filtros é que eles tomam o sinal como ele é de fato, não assumindo nenhuma forma de onda particular (WHITEHOUSE 1994).

Como os filtros digitais não sofrem o problema de distorção de fase apresentado pelos filtros elétricos (RC) eles também são denominados de filtros de fase corrigida. O filtro Gaussiano (DIN, 1990a) é um exemplo de filtro de fase corrigida e está implementado na maioria dos rugosímetros que utilizam sistemas de apalpamento por estilete mecânico ou óptico.

Segundo SANDER (1989) e WHITEHOUSE (1994) o emprego de filtros de fase corrigida apresenta as seguintes vantagens em relação ao emprego dos filtros RC:

- O perfil será filtrado em fase corrigida, ou seja, modificações locais entre a linha média e o perfil serão evitadas;
- O perfil não será distorcido pela sobre-oscilação da filtragem. Esta distorção do perfil (picos pronunciados após um vale) tem reflexo negativo sobre alguns parâmetros de rugosidade (R_p e t_{pi} , definidos no Apêndice 2); e
- O filtro de fase corrigida pode ser utilizado tanto na medição da rugosidade como na medição da ondulação. Isto quer dizer que a linha média também será empregada para o cálculo do parâmetro W_t (Apêndice 2).

Vanherck (1994) analisando a aplicação de filtros de fase corrigida na medição da textura chegou a algumas conclusões, destacando entre elas:

- Diferentes implementações de filtros Gaussianos podem produzir filtragens idênticas, mas a experiência neste campo mostra que alguns testes são úteis para detectar possíveis erros;
- Padrões calibrados para filtros RC não devem ser utilizados para filtros Gaussianos sem uma recalibração;
- Para usos industriais, de modo geral, pode-se considerar que os tradicionais parâmetros R_a e R_q (Apêndice 2) serão praticamente idênticos para os filtros Gaussiano e RC; e
- Os parâmetros menos comuns tais como R_p e R_v (Apêndice 2), os quais são úteis nas aplicações tipicamente tribológicas, são muito mais representativos após uma filtragem com filtros Gaussianos.

Klimczak (1995) afirmou que os métodos de filtragem convencionais são limitados quando se está tratando com características geométricas (features) superficiais multi-escalares e propôs o uso de filtros com faixas de transmissão dinamicamente controladas, tal como os utilizados no processamento de imagens. Este método de filtragem permitiu uma separação apropriada de características geométricas de diferentes escalas, as quais possuem diferentes designações funcionais e por isso devem ser analisadas separadamente. Esta nova técnica também foi aplicada com sucesso na filtragem de dados obtidos em 3D e mostrou sua utilidade potencial na preparação de dados para a análise de características geométricas tais como ranhuras, pontos de contato, canais de lubrificação, orientação de raias de usinagem e defeitos (KLIMCZAK, 1995).

Embora a filtragem de sinais cause distorções, ela é necessária para que se possa analisar e comparar os diferentes tipos de características geométricas de uma superfície e os respectivos parâmetros descritivos. Um pronunciado avanço se deu ao serem introduzidos os métodos digitais, transferindo o processo de filtragem para o

domínio da amplitude (domínio natural da superfície). O desenvolvimento dos filtros digitais aponta para a possibilidade de tratamento dos sinais sem que existam distorções significativas, permitindo se tirar conclusões mais fidedignas a respeito da textura de superfícies.

Deve-se, sempre, ter em mente que a escolha do tipo de filtro, com a correspondente seleção do “cut-off”, representa uma das mais importantes condições para obtenção de dados apropriados sobre a textura de superfícies.

3.4.4 Metodologia para a medição da textura

Na medição da rugosidade de uma peça surgem quatro questões básicas:

- Com qual equipamento medir?
- Qual parâmetro utilizar?
- Em qual direção medir? e
- Em quantos pontos?

A primeira questão será abordada com mais profundidade no item 3.5 e a segunda no item 3.6 e no Apêndice 2.

A direção de medição da rugosidade deve ser aquela na qual se obtenha o pior grau de acabamento da superfície. Este pior grau de acabamento pode, em princípio, ser avaliado por parâmetros verticais simples tais como R_a , R_z , R_{max} e R_y . Quanto maior o valor destes parâmetros pior o grau de acabamento da superfície.

Superfícies com perfis periódicos (anisotrópicas) devem ser medidas segundo a direção perpendicular aos sulcos da superfície. São exemplos típicos as superfícies obtidas com ferramentas de usinagem com geometria definida (torneadas, fresadas, furadas e aplainadas), ou com sulcos com direção bem definida (superfícies oriundas de retificação plana).

Superfícies que não possuam sulcos com direção definidas são isotrópicas e em princípio, não apresentam uma direção preferencial de medição. São exemplos típicos

as superfícies, obtidas por processos de usinagem com ferramentas abrasivas (lapidação, polimento, corte com jato abrasivo e usinagem por ultrassom), por processos térmicos (eletroerosão por faíscas, feixe de elétrons e feixe laser), por processos termo-químicos e químicos (usinagem eletroquímica) e as superfícies jateadas. Nestes casos a direção de medição deverá ser escolhida levando-se em conta a função da superfície, como por exemplo, no caso das superfícies de vedação, das superfícies para mancais e das superfícies para ajustes prensados.

Uma possível exceção poderá ocorrer no caso específico de se desejar medir isoladamente a rugosidade cinemática e a rugosidade de processo. Um exemplo para a rugosidade cinemática são as raias deixadas por uma ferramenta de geometria definida sobre a superfície usinada. Esta rugosidade varia com a forma geométrica da quina da ferramenta, com o avanço e com a profundidade de corte. A medição da rugosidade cinemática é feita perpendicularmente às raias de usinagem.

A rugosidade de processo, por sua vez, é função do mecanismo de formação do cavaco e depende, entre outros fatores, da velocidade de corte, do ângulo de saída da ferramenta e do material da peça. Neste caso a medição deverá ser efetuada dentro de uma das raias de usinagem.

A determinação do número de pontos de medição sobre a superfície, bem como a localização deste pontos sobre a superfície, depende em parte, das respostas à primeira e à segunda questões. Também é necessário se conhecer o tipo de textura esperada para o processo de fabricação da peça. Sabe-se que a confiabilidade de um resultado experimental também está intimamente relacionada com número de medições efetuadas na coleta dos respectivos dados. Mas, para se definir o tamanho da amostra é necessário se conhecer a distribuição estatística dos valores dos parâmetros a serem medidos.

Embora a maioria das distribuições de frequência que surgem naturalmente correspondam a uma distribuição normal, existe na prática um número razoável de exemplos que estão fora desta condição (MESQUITA, 1992).

No caso da medição de superfícies técnicas surge um problema adicional. Para superfícies periódicas (anisotrópicas), o comportamento da maioria dos parâmetros de rugosidade verticais, horizontais e de forma é praticamente o mesmo em todos os pontos da superfície em estudo. O mesmo não pode ser afirmado para superfícies aperiódicas (isotrópicas), principalmente quando estão sendo medidos parâmetros verticais de máxima, tais como: R_y , R_p e R_{max} .

O primeiro passo é verificar se os parâmetros medidos possuem distribuição normal. Assim, pode se utilizar a equação 3 na determinação do tamanho representativo para a amostra.

$$n = \left(\frac{Z_{a/2}}{e} \times s \right)^2 \quad (3)$$

onde: n = tamanho da amostra;

$Z_{a/2}$ = valor extraído da tabela de distribuição normal em função da confiabilidade a desejada, por exemplo: $z_{95\%} = 1,96$

s = desvio padrão

e = probabilidade de erro, por exemplo: $e = 5\%$ para $a = 95\%$

MESQUITA (1992) sugere o uso do teste de Kolmogorov-Smirnov para avaliar se um determinado número de dados possui distribuição normal ou não e justifica a escolha comparando-o com teste qui-quadrado, afirmando que:

- Ele pode ser utilizado também nos pequenos tamanhos de amostras, onde uma divisão de classes dos valores medidos para utilização do teste qui-quadrado não é significativa.
- A probabilidade de se recusar uma hipótese para o teste de Kolmogorov-Smirnov é, em geral, maior do que para o teste qui-quadrado para iguais probabilidades de erro.

Caso a distribuição não seja normal, a equação 3 não se aplica e, portanto é necessário se procurar a distribuição de frequências que melhor se adapte aos dados e o correspondente tamanho representativo da amostra.

3.4.5 Comentários gerais

Em princípio não existe ainda uma metodologia sistematizada para medição da rugosidade. Tanto na prática industrial como na pesquisa, cada caso específico é estudado em separado, de acordo com as suas peculiaridades.

A elaboração de uma metodologia que permitisse orientar a medição da textura, tomando por base dados simples a respeito da superfície, tais como: isotropia ou anisotropia, material do qual ela é constituída, função a qual se destina e dimensão total, é de grande valia científica e tecnológica.

3.5 Instrumentos para medição da textura

Na medição da textura de superfícies surgem dois problemas básicos, quais sejam: qual a metodologia de medição que deverá ser utilizada e qual o tipo de instrumento ou equipamento mais adequado à medição desejada.

A primeira questão já foi discutida no item 3.4 e diz respeito ao domínio que se tem sobre o processo de fabricação utilizado. Neste caso são definidas as regiões da superfície onde serão feitas as medições, quantas medições deverão ser realizadas em cada região e em quantas peças de cada lote deverão ser efetuadas essas medições, de modo a assegurar uma confiabilidade dos resultados.

A resposta à segunda questão depende, em parte, da definição dos parâmetros a serem medidos e da solução adotada para a primeira questão. Cada classe de instrumento possui sua faixa de aplicação típica, que deverá ser adequada às

necessidades impostas pelos tipos de parâmetros em análise e à metodologia de medição mais apropriada ao caso.

Neste item serão apresentados os mais importantes processos de medição de textura. Também será feita uma comparação mais detalhada entre uma sonda mecânica e uma sonda óptica, dois instrumentos semelhantes no que diz respeito ao método de varredura da superfície, porém bem distintos no modo de apalpamento. O primeiro executa um perfilamento da superfície com um apalpador mecânico, também denominado de estilete, em cuja extremidade se encontra um cone de diamante. O segundo também faz um perfilamento da superfície, mas com um feixe óptico.

No início, a análise da textura era realizada predominantemente através de métodos qualitativos, com grande dependência da habilidade do analista. Schaffer (1988) cita um texto técnico escrito para inspetores durante a segunda grande guerra onde os autores afirmavam que *“se a ponta de um dedo é movida sobre uma superfície a velocidade constante de uma polegada por segundo, é possível se sentir irregularidades tão pequenas quanto 0,0005 polegadas (12,7 μ m), em alguns casos podem ser determinadas irregularidades de 0,00001 polegadas (0,254 μ m)”*. Uma variante deste método qualitativo, também apresentada na mesma publicação, sugeria o uso de uma bola de tênis de mesa, que quando levemente esfregada sobre a superfície transmite vibrações para a mão. Do mesmo modo que no caso anterior, um analista habilidoso poderia estimar a rugosidade em função das diferentes intensidades de vibração transmitidas para mão.

A dificuldade prática encontrada com técnicas deste tipo, ou outras técnicas tradicionais mais antigas, é que elas apenas detectam a rugosidade ao passo que a textura abrange uma matriz complexa e interrelacionada de características geométricas, as quais precisam ser descritas e avaliadas.

WHITEHOUSE (1994a) traçou um resumo histórico dos primórdios da instrumentação aplicada à medição da textura, o qual pode ser resumido na lista apresentada abaixo:

- 1929 Na Alemanha G. Schmalz cria a primeira máquina de medir superfície baseada em apalpadores;
- 1933 J. Abbott concebe o seu perfilômetro (USA);
- 1934 Desenvolvimento do microscópio de superfícies por W. Linnik na URSS;
- 1934 Método do brilho (gloss) desenvolvido por Carl Zeiss na Alemanha;
- 1935 Perfilômetro de apalpamento de Flemming, Alemanha;
- 1936 J. Perthen desenvolve o medidor de superfície capacitivo, Alemanha;
- 1938 Na Inglaterra Tomlinson desenvolve o registrador de acabamento superficial;
- 1939 P. Nicolau desenvolve o medidor de superfícies pneumático, França.

As novas exigências tecnológicas pressionaram o surgimento de equipamentos mais sofisticados e atualmente existe uma grande gama de instrumentos e métodos que permitem uma análise quantitativa e qualitativa muito acurada da superfície. Dentre estes instrumentos e métodos podem ser citados: apalpadores mecânicos do tipo estilete, sondas ópticas, microscopia eletrônica, sistemas capacitivos, sistemas pneumáticos, técnicas holográficas, sistemas térmicos e por ultrassom (Whitehouse 1994a).

3.5.1 Classificação dos instrumentos para medição da textura

A grande variedade de instrumentos utilizados na medição da textura torna difícil uma classificação pormenorizada. Entretanto, uma possível classificação é apresentada na tabela 2 (ISO,1983). Esta classificação foi baseada nas seguintes considerações:

- Tipo de medição: método da área ou método do perfil;
- Tipo de transformação: progressiva ou instantânea.
- Tipo de interação entre o instrumento e a peça: com ou sem contato.

As características dos instrumentos podem resultar da combinação das várias características apresentadas na tabela 2 e instrumentos não mencionados na tabela podem ser incluídos, desde que suas características sejam compatíveis (ISO, 1983).

TABELA 02. Classificação de instrumentos e dispositivos utilizados para medição da textura.

INSTRUMENTOS PARA MEDIÇÃO DA TEXTURA			
MÉTODO	TRANSFORMAÇÃO	INTERAÇÃO	INSTRUMENTO
Do perfil	Progressiva	Com contato	registrador de perfil medidor de perfil (sistema M)
		Sem contato	registrador de perfil medidor de perfil (sistema M)
	Instantânea	Sem contato	por seção de luz
			interferômetro por varredura
Da área			óptico
			pneumático
			capacitivo
			amostras de rugosidade

No *método do perfil* a medição da textura é feita através de uma única linha, gerando um perfil que representa toda a superfície. Os dois tipos de instrumentos largamente utilizados por este método são os que utilizam apalpadores mecânicos do tipo estilete e os que utilizam sistemas de interferometria óptica (SME, 1987a).

O termo *método da área* é utilizado para designar as técnicas que medem uma área representativa da superfície, gerando dados quantitativos de textura dependentes de propriedades médias da área medida (SME, 1987a). As técnicas capacitivas, ópticas e pneumáticas são as mais comumente aplicadas. As técnicas baseadas no método da área podem ser utilizadas como comparadores, distinguindo a textura superficial de peças fabricadas por processos similares ou para a medição repetitiva de peças em linhas de montagem (SME, 1987a).

Por *transformação* entende-se o modo pelo qual a conversão da informação sobre a superfície passa de uma forma para outra. Com apalpadores do tipo estilete, onde a superfície é varrida progressivamente, a transformação é progressiva. Já no caso de microscópios de varredura a transformação é instantânea.

Com relação aos dois tipos possíveis de interação se analisa a existência ou não de contato mecânico entre a superfície a ser medida e o instrumento de medição. Segundo MATHIA (1995) é com este tipo de diferenciação que se classificam os dois grandes grupos de instrumentos de medição de textura. Dois exemplos muito comuns dos dois tipos de medição são encontrados nos instrumentos que se utilizam de apalpadores do tipo estilete mecânico e nos microscópios de interferometria, respectivamente com e sem contato.

Os instrumentos e métodos que serão apresentados e analisados a seguir não seguirão estritamente a classificação da tabela 2, uma vez que normalmente eles se compõem da combinação de várias possibilidades ali enumeradas.

3.5.2 Princípio básico de funcionamento de um rugosímetro

O princípio básico de funcionamento dos rugosímetros com apalramento contínuo independe do tipo de apalpador utilizado, estilete ou sonda óptica. O apalpador percorre a superfície segundo uma trajetória linear e com velocidade constante. Este movimento é realizado por uma unidade de avanço, *drive unit* (ISO, 1995), que possui uma referência interna. A topografia da seção apalpada (saliências e reentrâncias) faz com que o apalpador tenha um movimento vertical, que é transformado em um sinal elétrico por um transdutor. Este sinal é amplificado, filtrado, e armazenado na forma de pares de pontos xy. Estes pontos são processados e podem ser expostos graficamente na forma de um perfil de rugosidade, de ondulação ou uma combinação de ambos. Perfil este que é uma representação bidimensional de uma seção da superfície.

Os transdutores utilizados na maioria das sondas dos equipamentos de bancada são do tipo indutivo (WEINGRABER, 1989), (SANDER, 1989) e (WHITEHOUSE, 1994a), mas existem equipamentos com transdutores baseados em sistemas interferométricos. Nestes equipamentos um feixe laser é dividido em dois feixes, um deles serve de referência e o outro tem a trajetória definida por um prisma

fixado na ponta do estilete. O movimento vertical do estilete produz um padrão de franjas mensuráveis, as quais podem ser comparadas com o feixe de referência. Com este tipo de transdutor se consegue um campo de medição, que é a faixa permissível de deslocamento vertical do apalpador, seis vezes maior do que com os transdutores indutivos e resoluções de $0,01\mu\text{m}$ ao invés dos $0,03\mu\text{m}$, valores estes também obtidos com transdutores indutivos (NOAKER, 1991).

Não é possível se reproduzir fielmente o perfil real de uma superfície e o resultado do processo de medição representa uma aproximação desse perfil real e recebe a denominação de perfil efetivo (ABNT, 1988). Os fatores que não permitem a obtenção do perfil real são vários e muitas vezes, eles estão interrelacionados. Os principais fatores são: tipo de material da superfície da peça, complexidade da textura da superfície, tipo e geometria do apalpador, transdutor e filtro do sistema de medição.

3.5.3 Sondas com apalpadores do tipo estilete

Os equipamentos de medição da textura com estiletes mecânicos foram introduzidos por Schmalz e Abbott já há mais de cinquenta anos (REASON, 1963), (HASSELT, 1963) e (WHITEHOUSE, 1994a) e até nossos dias ainda se desenvolvem trabalhos onde se procura aprimorar a capacidade de medição e a aplicação destes instrumentos (NARA, 1971), (SOUSA, 1989), (LINDSEY, 1988) e (WHITEHOUSE, 1994a). Soma-se ainda, o fato de que os instrumentos baseados no uso de estilete continuam sendo os mais encontrados nas aplicações industriais.

Este tipo de apalpador é montado dentro de uma sonda, "*pick-up ou probe*" (ISO, 1995), no qual também se encontra alojado o transdutor, normalmente do tipo indutivo ou piezoelétrico (WHITEHOUSE, 1994a) e (SANDER, 1989). Cada sonda possui geometria e dimensões adequadas a um tipo de peça e/ou superfície. As pontas dos estiletes são constituídas de cones de diamante com um ângulo de 90° ou de 60° e com raio de ponta variando entre 2 e $5\mu\text{m}$ (ISO, 1995) e (MATHIA, 1995). A força de medição deve ser tal que garanta o contato contínuo entre o apalpador e a

superfície, sem que no entanto ocorra qualquer dano a ela. O valor admissível para força de medição depende do raio da ponta do estilete, variando de 0,7mN para apalpadores com raio de ponta de $2\mu\text{m}$ a 4mN para raios de $5\mu\text{m}$ (ISO, 1979). A geometria da ponta do estilete, portanto, é um compromisso entre a capacidade de reproduzir a superfície o mais fielmente possível e a sua durabilidade enquanto em operação. Na figura 15 é mostrado um esquema de uma sonda (*pick-up*) com o respectivo estilete (SANDER, 1989). E na figura 16 é mostrada a extremidade de um estilete com a ponta de diamante.

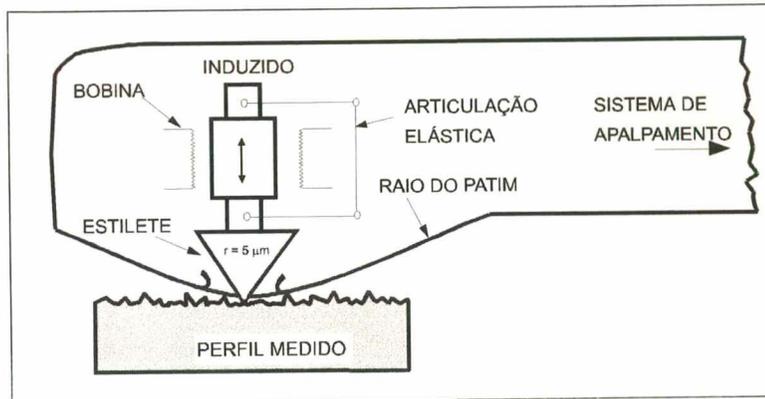


FIGURA 15. Sonda com estilete e transdutor indutivo. [SANDER, 1989]

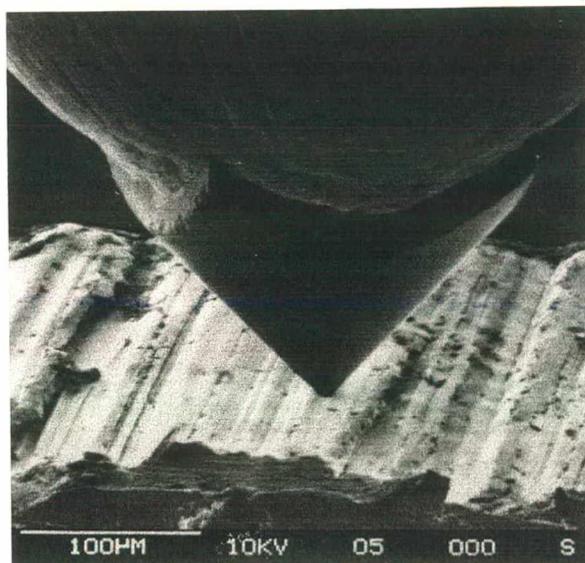


FIGURA 16. Ponta de diamante de um estilete. [SANDER, 1989]

Segundo Schaffer (1988) existem dois tipos básicos de sondas com estiletes: aquelas que utilizam patins de apoio, ou simplesmente patins, e aquelas que não usam patins. Os patins servem como referência para o deslocamento vertical do estilete. Este tipo de construção é muito comum nos rugosímetros portáteis (NOAKER, 1991) onde a construção é mais compacta. Na figura 17 estão representadas algumas configurações básicas de sondas com patins.

Nos rugosímetros de bancada a superfície de referência está alojada dentro da unidade de avanço e as sondas não necessitam de patins auxiliares para medição da textura da superfície (figura 17).

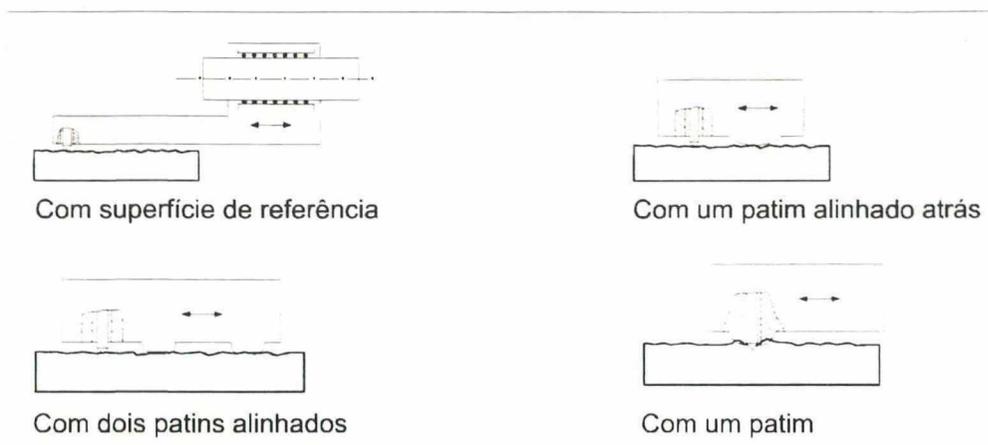


FIGURA 17. Esquemas de sondas com patins e com superfícies de referência [SANDER, 1989]

O uso de sondas com apalpadores do tipo estilete apresenta algumas vantagens significativas:

- O uso deste tipo de dispositivo remonta mais de meio século (WHITEHOUSE, 1994a), portanto, sua tecnologia de fabricação e de aplicação já é bem dominada.
- Os procedimentos de uso e calibração destas sondas já estão normalizados há algum tempo (DIN, 1979), (DIN, 1981), (DIN, 1982c), (ISO, 1985a) e (ISO, 1985b).

- A maioria das peças produzidas pela indústria metal-mecânica são construídas com materiais que permitem o uso de estiletes sem que haja dano significativo à superfície.
- A maioria dos rugosímetros portáteis, utilizados extensivamente e em campo, utilizam sondas com estiletes, devido principalmente à sua relativa robustez e simplicidade de operação.
- Por fim, o procedimento de calibração das sondas com estiletes é simples e confiável, principalmente para aqueles que utilizam transdutor indutivo (Sander 1989).

Embora o uso de sondas com estiletes esteja bastante difundido, não se pode deixar de mencionar as suas principais desvantagens operacionais:

- A dimensão mínima do raio da ponta do estilete e a sua geometria ainda não são suficientemente pequenas para permitir a exploração do fundo das micro-cavidades, limitando a capacidade de apalpamento da superfície (MATHIA, 1995), como mostra a figura 3 (item 3.2.2). Esta limitação atua como um filtro indesejado, mas somente para as cavidades, uma vez que os picos são na sua maioria relativamente bem detectados e caracterizados. Assim, é introduzida uma fonte de erros sistemáticos na determinação de alguns parâmetros de rugosidade, como por exemplo, o coeficiente de simetria S_k (parâmetro 38, Apêndice 2), que é um importante parâmetro para caracterizar a aplicação de uma superfície (MATHIAS, 1995). No atual estado da técnica pouco pode ser feito para minimizar esta influência, mas alguns pesquisadores tem tentado quantificá-la, dentre eles Anbari (1990) e Whitehouse (1974 e 1994a).
- O uso de patins de apoio implementa outra fonte de erro. REASON (1971) e WHITEHOUSE (1994a) fizeram uma comparação entre alguns tipos de sondas com patins e um sistema ideal, com referência independente da superfície a ser medida, mostrando que todas elas de alguma forma influenciam a medição. Segundo SCHAFFER (1988) e NOAKER (1991) um

patim atua como um filtro mecânico do tipo passa-alta, bloqueando a ondulação e, portanto, o estilete responderá somente à rugosidade. O efeito de filtragem, neste caso, é determinado por fatores tais como o raio do patim e a distância entre o centro do patim e o estilete. Entretanto, SCHAFFER (1988) afirma que as sondas com patins podem ser utilizadas como calibres “passa não-passa” no chão de fábrica, ficando os rugosímetros mais sofisticados para as salas de medição ou para os laboratórios. Na figura 18 são apresentadas algumas distorções causadas pelo uso de patins (SANDER, 1989). Tom BREM, citado por NOAKER (1991), afirma que as sondas com patins trabalham bem com R_a na faixa de de 0,30 a 0,51 μm , mas em superfícies com R_a na faixa de 0,05 a 0,10 μm os ruídos no sinal distorcem a leitura.

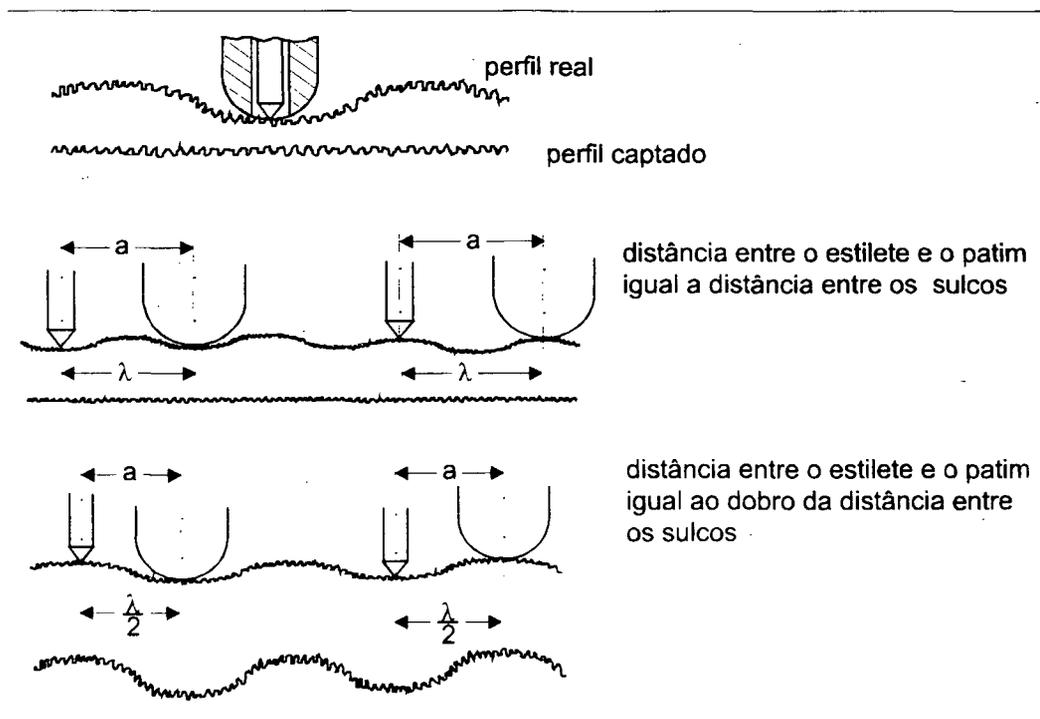


FIGURA 18. Erros na representação de um perfil ocasionados pelo uso de patins.

[SANDER, 1989]

- Mesmo com a pequena força de medição, freqüentemente existe pressão suficiente na zona de contato entre ponta do estilete e a superfície da amostra

em medição para causar algum dano permanente, especialmente sobre picos muito delgados, de modo que a exatidão da medição pode ser questionada. Ainda que sob o ponto de vista funcional, a superfície seja mantida intacta, a pressão exercida pela ponta do estilete achata os picos de rugosidade por micro-deformação mecânica e tende a diminuir a amplitude dos elementos geométricos característicos da textura (“features”) (MATHIA, 1995). O contato mecânico é uma das grandes desvantagens do emprego de sondas com estiletos, danificando a superfície de materiais macios, segundo Sout (1997) com dureza inferior a 200HV e impedindo a medição de superfícies com alguns tipos de recobrimentos. Por outro lado, materiais extremamente duros causam um desgaste progressivo na ponta do estilete, também levando a uma reprodução cada vez menos exata da superfície real da peça.

- Embora já se tenha dispendido bastante esforços na tentativa de melhorar a utilização das sondas com estiletos na medição da textura em 3D (CONTET, 1995), (DONG, 1995), (YANAGI, 1995), (NELLE, 1971) e (TAMAKI, 1995), o tempo para coleta dos dados ainda é excessivamente alto, quando comparado com as técnicas ópticas. Esta é uma das maiores desvantagens atuais dos sistemas com estilete na medição tridimensional da textura de superfícies (MATHIA, 1995).
- Segundo Mathia (1995) alguns pesquisadores afirmam que na medição em 3D, utilizando-se sondas com estiletos, a distância entre as medições adjacentes (entre 1 e 20 μ m) podem interferir com a periodicidade dos “motifs” da superfície levando a dificuldades no processamento dos dados.

3.5.4 Sonda óptica do tipo seguidor

Embora a sonda óptica seja um equipamento que se utiliza de um feixe de luz como elemento de apalramento, optou-se por incluí-lo agora, e não no item exclusivo de dispositivos ópticos, porque o princípio geral de medição é o mesmo da sonda

mecânica. A diferença reside basicamente no fato de se utilizar um *estilete óptico* e não um *estilete mecânico*.

A existência do contato inerente entre o apalpador mecânico (estilete) e a superfície é um dos maiores problemas da medição de textura com estiletos. Uma boa solução seria se utilizar um apalpador que não tivesse contato mecânico com a superfície e, ao mesmo tempo, utilizasse o mesmo tipo de processamento de sinal utilizado nas sondas com estilete, ou seja, mesmo tipo de transdutor, amplificador e filtragem. A partir desta idéia foram desenvolvidas as sondas com apalpadores ópticos, ou simplesmente sondas ópticas.

Em uma sonda óptica um feixe de luz desempenha o mesmo papel de um estilete, não existindo, portanto, mais contato entre a superfície da peça e o apalpador (WHITEHOUSE, 1994) e (METALWORKING, 1990). Porém, são exigidos cuidados adicionais na avaliação dos resultados obtidos com uma sonda óptica, o que será discutido posteriormente.

Existem muitas técnicas de sondagem óptica e várias delas se baseiam no exame do comportamento do foco de um feixe luminoso (STOUT, 1995) e (WEINGRABER, 1989). Segundo STOUT (1997), é utilizada uma adaptação da tecnologia empregada em toca discos compactos (CD player).

A sonda óptica aqui discutida funciona sob o princípio do método focal, idealizado por Dupuy (WHITEHOUSE, 1994) e está representada na figura 19 (CATÁLOGO, 1989), (WEINGRABER, 1989) e (SANDER, 1989). Um diodo laser gera uma luz infravermelha que atravessa um colimador, onde adquire a forma de um feixe paralelo, o qual é guiado por um prisma para a micro-objetiva. Outro prisma direciona a luz sobre a superfície. A objetiva foca o feixe a uma distância fixa abaixo da abertura do braço de medição. A luz refletida pela superfície retorna pelo mesmo caminho, é coletada pela microobjetiva e passa através do sistema óptico, onde um divisor do feixe luminoso a direciona para o detector de foco. Este é parte de uma malha de controle fechada e converte o sinal óptico em um sinal elétrico, o qual contém a

informação sobre a distância da superfície da peça ao ponto focal. Um motor linear reajusta continuamente o braço de medição, mantendo-o a uma distância constante da superfície da peça. Quando a sonda se desloca sobre a superfície da peça o braço de medição acompanha as irregularidades do perfil local. A este braço de medição se acopla um transdutor indutivo que transforma os deslocamentos em sinais elétricos. Deste ponto em diante o processamento do sinal é semelhante ao que ocorre nas sondas com estiletes.

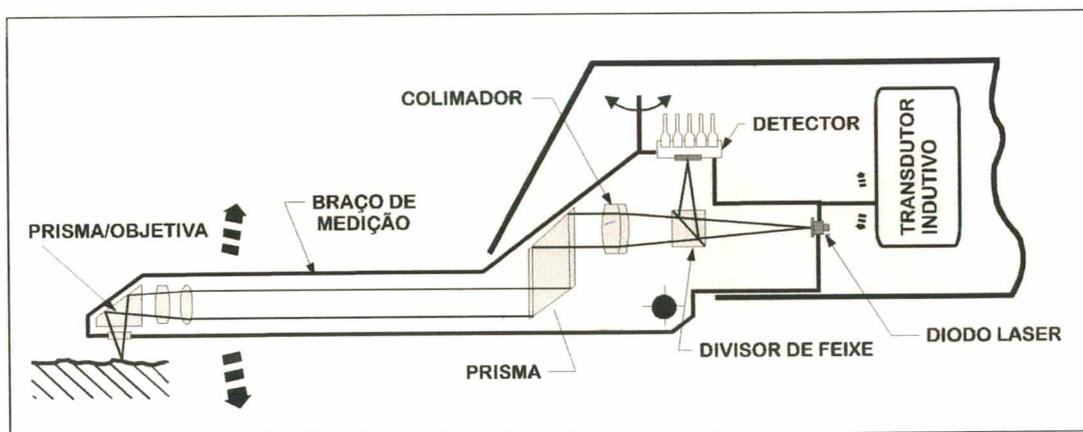


FIGURA 19: Esquema de uma sonda óptica. [FEINPRÜF, 1989]

Existem outros instrumentos baseados no método focal. Dentre eles destacam-se os sistemas que utilizam drives piezoelétricos para a correção da posição do foco do feixe luminoso, dispensando o uso de alavancas mecânicas, o que diminui a inércia do sistema e permite a execução de medições mais rápidas (STOUT, 1995)

Em princípio a sonda óptica tem o mesmo campo de aplicação das sondas com estiletes, mas na prática ela é utilizada, de preferência onde o uso de um estilete possa causar danos à superfície medida ou ao próprio estilete (CATÁLOGO, 1989), (SANDER, 1989) e (STOUT, 1995):

- Peças construídas com materiais macios tais como cilindros de alumínio de fotocopiadoras, discos de memória para microcomputadores (HD) e vários

materiais não-metálicos tais como borracha, carvão, tipos especiais de papéis e lacas.

- Peças delgadas, folhas, molas de contato altamente flexíveis e filmes podem se deformar elasticamente sob a ação de um estilete e este problema não existe com uma sonda óptica.
- Superfícies metálicas utilizadas em dispositivos ópticos com altos níveis de qualidade.
- Peças com superfícies que tenham bordas agudas muito duras causam um desgaste progressivo e prematuro da ponta do estilete e até mesmo a sua destruição. Exemplos práticos são os rebolos diamantados e as cerâmicas duras, com poros profundos e bordas agudas.

O uso de sondas ópticas não se justifica apenas onde houver problema de contato. O feixe de luz de uma sonda óptica é mais delgado do que a ponta de um estilete, capacitando a medição a uma profundidade maior. Esta é uma característica útil na medição da textura de cilindros de impressão gravados a Laser, os quais possuem um padrão de furos de pequenos diâmetros e relativamente profundos, que são rigorosamente espaçados na superfície. É impossível se captar corretamente este padrão de textura com um estilete (CATÁLOGO, 1989).

Deve se estar sempre atento a algumas condições limitantes do método focal, a fim de que sejam obtidos resultados confiáveis e comparáveis aos obtidos com estiletos. Os principais fatores influentes no funcionamento de uma sonda óptica por método focal são (CATÁLOGO, 1989) e (SANDER, 1989):

- Inclinação dos flancos do perfil: a intensidade da luz refletida pela superfície deve ser suficiente para controlar o detector. Somente então estará garantido que o braço de medição acompanhará o perfil da amostra. Para superfícies com reflexão ideal, o ângulo de inclinação crítico encontra-se entre 10° e 15°.
- Refletância da superfície (PADILHA, 1997) e (CALLISTER, 1997): a focagem é impossível em superfícies que reflitam menos que 4% da luz irradiada pelo

diodo Laser. Muitos materiais, ainda que extremamente escuros ou transparentes (carvão, borracha e vidro), possuem propriedades reflexivas suficientes. Também podem ocorrer desvios em peças com grande reflexibilidade associada a contraste óptico superficial elevado, como por exemplo em transições repentinas de claro/escuro. A ordem destes desvios é em torno de $1\mu\text{m}$. A importância dos desvios entre os perfis medidos opticamente e mecanicamente diminui com o aumento da rugosidade.

- Geometria específica da textura: microestruturas côncavas ou convexas e bordas agudas do perfil influenciam o sinal de medição. Em materiais transparentes, o ponto de focagem está sujeito a uma freqüente incerteza e são possíveis desvios da ordem de centésimos de milímetros no plano vertical.
- Meio ambiente: a superfície da peça e a sonda óptica devem estar isentas de sujeira e de quaisquer líquidos. Como não há contato, as vibrações naturais causadas pela mudança no comportamento friccional da superfície da peça não existem. Esta característica favorável da sonda ótica deve ser mantida por um meio isolado de vibrações exteriores.

A soma de todas estas influências resulta no perfil medido, o qual poderá desviar significativamente do perfil medido por uma sonda com estilete (HILLMANN, 1990).

A maior vantagem no uso da sonda ótica ainda é a ausência de contato na medição. Outra grande vantagem é que a capacidade de penetração do feixe ótico nas irregularidades do perfil é muito maior que a das pontas dos estiletos, como mostra a figura 20 (SANDER, 1989).

Devido ao princípio ótico de medição empregado, o perfil registrado pela sonda ótica é formado pela sobreposição de uma componente puramente geométrica, comparável ao perfil medido por estilete e de uma segunda componente puramente ótica. Esta componente ótica é função dos desvios que são gerados pelos fatores

influentes no funcionamento da sonda óptica por método focal, que já foram discutidos anteriormente. Portanto, o perfil medido opticamente difere do perfil medido por um meio mecânico (CATÁLOGO, 1989). Em aplicações inéditas de uma sonda óptica é exigido um julgamento visual cuidadoso do perfil obtido antes de se tirar qualquer conclusão. SANDER (1989) afirma que técnicos experientes são capazes de fazer distinção entre as componentes ópticas e geométricas a partir do registro de um perfil de rugosidade. Mas, ainda é impossível se fazer qualquer afirmação geral sobre a relação entre as componentes ópticas e geométricas. Portanto, cada caso deve ser examinado individualmente e cuidadosamente.

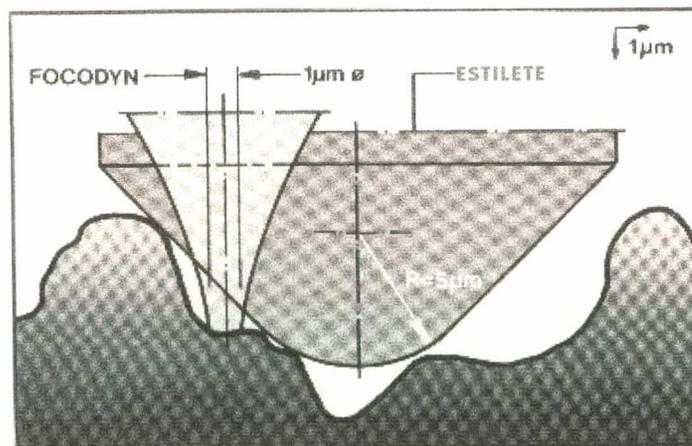


FIGURA 20. Comparação entre as capacidades de penetração nos vãos de um perfil, para a ponta do estilete de uma sonda mecânica e para o feixe laser de uma sonda óptica. [CATÁLOGO, 1989]

3.5.6 Comparação entre estilete e sonda óptica

É possível se utilizar sondas com estilete mecânico na maioria das atividades industriais que exijam medição da textura. Suas características de funcionamento e de reprodução de perfis são suficientemente conhecidas, garantindo a confiabilidade necessária aos dados obtidos. Praticamente todos os rugosímetros comerciais utilizam estiletos (WEINGRABER, 1989), (WHITEHOUSE, 1994) e (MATHIA, 1995). A construção robusta associada a uma grande disponibilidade de acessórios e o

processo de medição simplificado, permitem o seu uso tanto em laboratórios como no chão de fábrica. Suas principais limitações são o contato com a superfície que se encontra em medição, podendo não só danificá-la pelo efeito da ponta, mas também pela ação do patim de apoio, que está presente na maioria dos equipamentos portáteis. Soma-se a isto o fato de que a geometria da ponta do estilete, que não pode ser aguçada muito mais do que já o é atualmente, pode causar distorções relativamente grandes em relação ao perfil real.

A sonda óptica, por sua vez, é de uso mais restrito, tipicamente em laboratório. Isto se deve principalmente ao efeito negativo que o meio ambiente pode exercer sobre o resultado da medição. Além disso, as influências da microgeometria localizada surtem um efeito muito maior sobre os resultados obtidos do que com o uso de um estilete. Em algumas aplicações, onde o acesso à superfície é complicado, acaba sendo impossível se utilizar uma sonda óptica, devido as suas dimensões e forma. Porém, os constantes progressos no campo da miniaturização de componentes mecânicos, eletrônicos e ópticos podem diminuir sensivelmente os limites de acessibilidade deste tipo de sonda.

Em superfícies com textura totalmente desconhecida é recomendável, para efeito de comparação, um apalpamento com sonda óptica e com estilete. Caso exista a probabilidade de se danificar a superfície com este apalpador, as medições com apalpamento mecânico devem ser efetuadas em partes não funcionais ou rejeitadas.

Os algoritmos de avaliação dos rugosímetros que utilizam tanto sondas com estiletos como sondas ópticas, não conseguem fazer distinção entre os componentes ópticos e geométricos do perfil. Portanto, parâmetros sensíveis a picos locais do perfil, tais como R_z , R_y , R_p e R_{max} , devem ser avaliados com as devidas reservas. Entretanto, como regra prática, é possível assumir que o componente óptico tem uma amplitude máxima de $1\mu\text{m}$. Assim, para perfis com amplitudes claramente acima de $50\mu\text{m}$ esta componente pode ser ignorada. No caso de amplitudes inferiores à $50\mu\text{m}$, observadores habilidosos podem distinguir visualmente as duas componentes,

tomando por base o registro do perfil. Nestes casos, é necessário decidir caso a caso se a (componente óptica) tende a interferir na avaliação do perfil, ou se ela fornece uma informação adicional sobre as características da superfície. (CATÁLOGO, 1989)

Os fatores que influenciam o comportamento da sonda óptica ainda não permitem que se tenha total confiabilidade nos resultados obtidos, a menos que se conheça em detalhes o tipo de superfície a ser medida. Uma solução, é se comparar, sempre que possível, os resultados mecânicos e ópticos. Uma ferramenta muito útil é a análise gráfica do perfil medido. Neste caso, é fundamental a experiência do operador em determinar quais componentes do perfil são de fato geométricas e não ópticas e qual a influência destas no cálculo dos parâmetros de rugosidade em questão.

Não se pode deixar de levar em conta o mais de meio século de utilização de sondas mecânicas e que neste longo período a maioria das teorias concernentes ao comportamento funcional de superfícies técnicas se basearam em dados obtidos com esse tipo de sonda. Embora uma sonda óptica do tipo seguidor atue de maneira similar à sonda mecânica, os perfis resultantes da medição com um e outro tipo de instrumento podem resultar muito diferentes, dependendo do material e da textura superficial da amostra. As diferenças se tornam maiores quanto maior for a influência das alturas das ordenadas do perfil, que afetam diretamente o processamento dos parâmetros verticais e de alguns parâmetros de forma. Por conseguinte, a análise de dados oriundos de superfícies medidas com uma sonda óptica baseando-se em teorias desenvolvidas com a tecnologia de medição com sondas mecânicas, pode levar a conclusões errôneas. Deve-se ter um completo entendimento dos dois processos e das influências da amostra (material e textura) e do meio sobre os resultados de medição, antes de se partir para análises conclusivas sobre o estado real da superfície.

Alguns pesquisadores (HILLMANN, 1990), (SANDER, 1989) (WHITEHOUSE, 1994a) e (STOUT, 1997) afirmam que sondas ópticas são bastante promissoras, mas que em princípio, elas só devam ser utilizadas em (materiais e microgeometrias

impossíveis de serem medidas com um estilete. Nestes casos, mesmo com valores absolutos de rugosidade pouco confiáveis, podem ser feitas comparações de grande utilidade prática. Com o uso mais difundido deste tipo de sonda e com total conhecimento entre as diferenças dos resultados obtidos com elas e com as sondas mecânicas, tornar-se-á possível ultrapassar a barreira da simples comparação entre superfícies e se partir para uma caracterização mais confiável de superfícies. Isto também permitirá a aplicação direta dos conhecimentos já adquiridos com sondas mecânicas na classificação e aplicação de superfícies técnicas.

3.5.7 Instrumentos capacitivos

O método capacitivo para medição da textura já vem sendo estudado há bastante tempo, tendo surgido simultaneamente aos métodos ópticos e com estiletes na década de trinta com estudos de J. Perthen (WHITEHOUSE, 1994a). Na figura 21 é apresentado um esquema de uma sonda capacitiva que é conduzida sobre uma superfície. Um sensor é mantido firmemente contra a superfície por uma almofada de elastômero não condutivo.

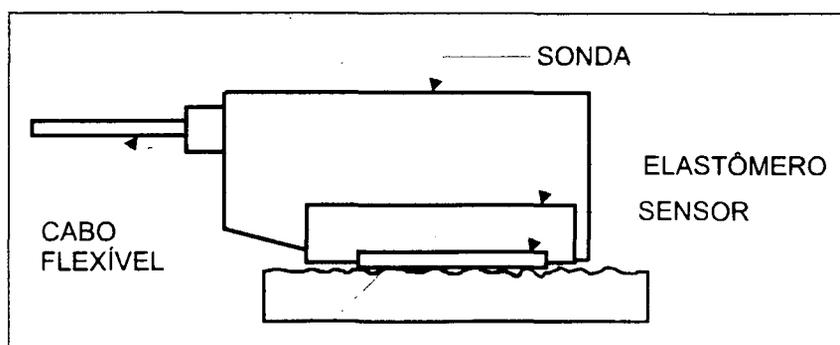


FIGURA 21. Esquema de um sensor capacitivo para medição de rugosidade.

[WHITEHOUSE, 1994a]

BRECKER (1977) afirma que as sondas capacitivas podem ser utilizadas tanto em superfícies geradas por processos de usinagem que formem (sulcos bem definidos,) como as resultantes dos processos de torneamento, de fresamento e de furação, como naquelas que não os tenham, tais como as superfícies geradas por eletro-erosão (EDM), jato de areia e em superfícies de peças fundidas. Por outro lado, Ralph RESNICK, citado por NOAKER (1991), comparando sondas capacitivas com sondas com estilete mecânico, afirma que o uso de sondas capacitivas é mais adequado para superfícies isotrópicas, pois neste tipo de superfície é comum o estilete sofrer deflexão lateral passando ao redor dos picos, ao invés de passar sobre eles, deixando de reproduzir características importantes da textura. Além disso, este tipo de instrumento não reproduz os detalhes do tipo de sulco presente como a sonda mecânica, pois executa a medição sobre uma área, enfatizando mais ainda o seu (uso em superfícies isotrópicas) (SEM, 1987a).

Nesta técnica se utiliza uma sonda contendo uma placa de material condutor (sensor capacitivo) com área e forma pré-determinadas. A sonda é isolada eletricamente da superfície, evitando um possível curto-circuito. Durante a medição a sonda repousa sobre os picos de rugosidade e fornece uma medida de (capacitância que é proporcional aos vazios entre a superfície da sonda e a correspondente superfície medida) (WHITEHOUSE, 1994a) e (SEM, 1987a). A forma do sensor deve se adequar à forma da superfície a ser medida. Assim, sensores côncavos ou convexos são utilizados para medição de superfícies cilíndricas. Mas, recentes tentativas para incorporar às sondas capacitivas alguns compostos flexíveis e com propriedades dielétricas bem definidas, certamente resolverão o problema do ajuste da sonda em superfícies não planas (WHITEHOUSE, 1994a).

A superfície a ser medida funciona como uma placa de um capacitor e a superfície da sonda como a outra placa. Quando a sonda é colocada sobre a superfície a ser medida ela se apóia sobre os picos, deixando um espaço vazio entre ela e a superfície real que é preenchido com ar. Esta (camada de ar se comporta como um dielétrico.) Quando a separação entre as placas aumenta a espessura média da

camada de ar também aumenta. Como a capacitância diminui com a camada de ar e esta aumenta com a rugosidade, existe uma relação indireta entre capacitância e rugosidade.

Para se obter um valor para a rugosidade média, a espessura média da camada de ar, medida pela capacitância, é convertida em um parâmetro de rugosidade padronizado. Esta conversão é feita pela comparação entre a capacitância medida e a capacitância de uma superfície de referência, da qual já se conhece a rugosidade. Os dados da superfície de referência são introduzidos previamente no instrumento, permitindo um cálculo interno. Por exemplo, se a capacitância medida indicar que existe uma camada de ar duas vezes maior do que na superfície de referência, então a rugosidade da superfície medida é tida como sendo duas vezes maior que a da superfície de referência. Estas superfícies de referências devem ser fabricadas pelo mesmo processo das superfícies a serem medidas, fornecendo uma base de comparação confiável. Assim, os instrumentos capacitivos são calibrados de acordo com o tipo de textura a ser medida.

Na aplicação de sondas capacitivas deve-se observar uma perfeita limpeza entre as partes em contato, porque os valores da capacidade de isolamento do ar e de outros materiais tais como óleos e fluídos de corte são diferentes, alterando portanto a medição. Além disso, partículas de sujeira sobre superfícies finamente acabadas tendem a afastar a sonda da superfície dando o efeito de uma maior rugosidade do que de fato existe. Superfícies isoladas eletricamente ou não condutivas não podem gerar capacitância. Portanto esta técnica está limitada à peças com superfícies condutoras ou, pelo menos, semi-condutoras. São também fatores limitantes na aplicação de sondas capacitivas a influência da pressão de contato, do desgaste com o uso repetido e a forte dependência da temperatura de medição (WHITEHOUSE, 1994a).

Modelos convencionais de sondas capacitivas só podem medir o valor de R_a , porém, já existem modelos com capacidade de medir R_a , R_z e R_y , os quais também apresentam bom potencial para medição em processo (NOAKER, 1991). Além disso as

sondas capacitivas permitem velocidades de medição de dez a cem vezes maiores do que as obtidas com sondas de estiletes (NOAKER, 1991).

A técnica capacitiva se enquadra dentro do campo dos métodos de área, diferindo completamente do método por estilete e por alguns métodos ópticos. Segundo WHITEHOUSE (1994a) o método parece ser muito mais efetivo para avaliação da forma e para a medição de algumas dimensões em particular, do que para a avaliação da rugosidade.

3.5.8 Instrumentos ópticos

A idéia de se utilizar princípios ópticos para medição de superfícies não é nova. SCHMALZ, citado por WHITEHOUSE (1994b), já em 1929 estudava os efeitos de reflexão da luz sobre uma superfície, tendo como intento a análise da textura. A ele se seguiram vários pesquisadores e atualmente existem vários métodos ópticos para análise de superfícies, um dos quais já discutidos no capítulo anterior. Mas, somente alguns destes métodos estão desenvolvidos o bastante para a utilização na caracterização da textura de superfícies técnicas. Dentre estes destacam-se os que utilizam a interferometria (MATHIA, 1995) e (SHAFFER, 1988), a qual é uma importante técnica para determinação da rugosidade e da forma de superfícies ópticas de alta qualidade.

□ Microscópio de interferometria

Os métodos interferométricos para análise da textura de superfícies já vêm sendo utilizados há bastante tempo (WEINGRABER, 1963). Um esquema de um interferômetro de dois feixes é mostrado na figura 22 (SEM, 1987a).

Uma luz colimada é dividida em dois feixes coerentes por um espelho de transmissão parcial. Um dos feixes é refletido por uma superfície de referência lisa e

plana, o outro é refletido pela superfície a ser avaliada. Os feixes são então recombinados no espelho e uma imagem da superfície é produzida pela lente. Sob condições de perfeito alinhamento é observado um padrão circular de franjas paralelas claras e escuras. Quando os feixes refletidos não são alinhados apropriadamente ocorrem variações no padrão de franjas. A ondulação e a rugosidade podem ser determinadas pela contagem do número de franjas e pela verificação das distorções de cada franja. A exatidão desta técnica depende do tipo de fonte de luz utilizada (SME, 1987a).

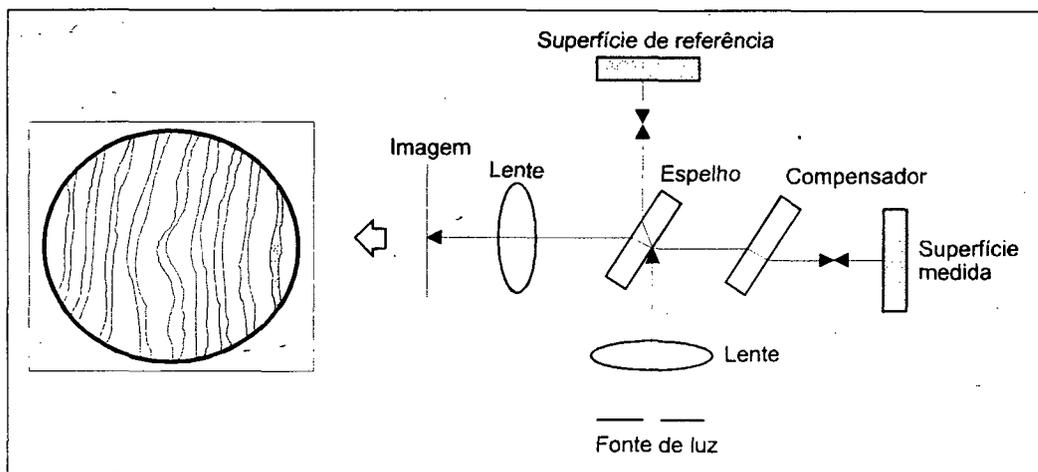


FIGURA 22. Esquema de um interferômetro de dois feixes. [SME, 1987a]

Outros tipos de interferômetros para perfilamento óptico são baseados nos microscópios de interferometria heteródinos de Mirau, Linnik e Michelson. Mathia (1995) descreve sucintamente o princípio de funcionamento destes microscópios: um feixe único de luz monocromática é dividido em dois feixes. Um destes feixes serve de referência e tem a sua trajetória precisamente controlada por um drive piezoelétrico. O outro feixe atua como uma sonda e a sua trajetória varia de acordo com as alterações na geometria da superfície (picos e vales). A interferência que ocorre entre os dois feixes produz um interferograma. As alterações que ocorrem na superfície (picos e vales) são proporcionais às variações de fase do interferograma. Então, a medição

destas variações de fase permitem uma determinação direta do relevo da superfície. Os (interferogramas podem ser observados por uma câmara CCD) (Charge Coupled Device) e as intensidades registradas automaticamente para extrair os parâmetros de rugosidade. A exatidão do sistema depende da qualidade do espelho de referência e não da retilineidade do deslocamento entre superfície e objetiva ou da estabilidade da velocidade de deslocamento, pois não existe mais o movimento relativo superfície/objetiva, mas sim uma vibração induzida (drive piezoelétrico) do espelho de referência (SEM 1984a).

As técnicas envolvendo a perfilometria óptica com interferômetros evoluíram muito nos últimos anos, sendo possível agora se fazer medidas sub-nanométricas em questão de segundos (WYANT, 1992). A grande evolução não se deve somente ao desenvolvimento de técnicas ópticas, mas também ao aumento da capacidade computacional dos equipamentos. Novas técnicas e dispositivos vêm sendo desenvolvidos e a tendência é aplicar o método para determinação da textura em 3D (DECK, 1995).

□ **Medição da textura por dispersão (difração) de luz**

A idéia básica deste método consiste na detecção da luz que é dispersa pela superfície de uma amostra. Quando um feixe de luz é refletido ele carrega informações sobre a superfície refletora. Em princípio, é possível se reconstruir o perfil de uma superfície refletora desconhecida a partir do padrão de dispersão de luz (GRIFFITHS, 1994).

A reflexão de um feixe de luz, o qual é direcionado sobre uma superfície com um determinado ângulo de incidência, é determinada pela textura (altura e espaçamento dos picos de rugosidade e ondulação), pelas condições da superfície (filmes, recobrimentos e discontinuidades) e pelo comprimento de onda da luz incidente. Para superfícies muito finas, onde R_q for menor que o comprimento de onda

da luz incidente (λ), a maior parte do feixe é refletido na direção especular (GRIFFITHS, 1994). Como as superfícies geralmente apresentam um certo nível de rugosidade, uma grande parcela do feixe é dispersado, diminuindo a componente especular e aumentando a componente de dispersão. Segundo GRIFFITHS (1994) os métodos de avaliação da dispersão de luz podem ser divididos em cinco classes. No primeiro método só é avaliada a componente especular, método este útil para superfícies especulares. Nos métodos seguintes é feita uma combinação numérica entre os valores medidos da componente especular e da componente de dispersão.

A técnica de dispersão de luz não é uma técnica microscópica, em termos estritos, mas a rugosidade pode ser determinada pelo exame das linhas de dispersão. Segundo Bosse e outros, citados por Mathia (1995), o sinal especular está relacionado com os momentos centrais da distribuição de amplitudes, ou seja, R_q , curtose (K_u , parâmetro 39, Apêndice 2) e coeficiente de simetria (S_k), enquanto que o sinal incoerente (componente de dispersão) está relacionado com as funções de correlação da superfície (Apêndice 2).

LONARDO (1991) afirma que a dispersão do feixe de luz incidente sobre uma superfície representa a transformada de Fourier das amplitudes da rugosidade e a partir das imagens obtidas com o método podem ser determinados parâmetros para o reconhecimento da textura da superfície.

MIYOSHI (1995), por sua vez, apresenta um novo método de medição óptico por dispersão de luz, baseado no padrão de difração de Fraunhofer, demonstrando experimentalmente que é possível se medir com exatidão a textura de superfícies de placas de silício utilizadas na micro-eletrônica, obtendo-se valores de R_q inferiores a 1nm.

Uma outra variação do método de dispersão foi apresentada por KARPINSKI (1977) e por ele denominado de "Método fotométrico" (Photometric Method). Com este método ele determinou uma relação teórica entre o brilho da superfície (gloss) e o desvio padrão da derivada do perfil, por ele denominada de σ_z . Além disso, ele

determinou uma relação experimental entre σ_z e o valor de R_a , para superfícies retificadas e polidas com rebolos de retificação com aglomerantes resinóides.

O método da dispersão de luz ainda não está plenamente desenvolvido, porém parece ser bastante promissor, na medida em que dá acesso direto aos mais importantes e mais utilizados parâmetros de textura em 3D (GRIFFITHS, 1995).

□ Outros métodos ópticos

Além dos métodos ópticos já discutidos existem outros, não tão comuns, porém não menos importantes sob o ponto de vista científico e tecnológico, dentre eles destacam-se:

- Métodos das franjas de Moiré (WHITEHOUSE, 1994a).
- Métodos holográficos (WHITEHOUSE, 1994a).
- Análise do "speckle" (WHITEHOUSE, 1994a) e (YOUNG, 1980)
- Microscopia confocal (MATHIA, 1995).
- Método da focagem dinâmica (BROWN, 1995) e (BREITMEIER, 1992).

3.5.9 Microscópio de varredura por tunelamento

Com o microscópio de varredura por tunelamento, MVT (scanning tunnelling microscope, STM) é possível se fazer a medição tridimensional da textura de superfícies, sem contato e com grande resolução lateral e longitudinal, segundo VALADARES, CURY E HENINI (1995) com um MVT é possível se obter aumentos da ordem de 100 milhões de vezes. Este tipo de equipamento permite medições da ordem de décimos de nanômetros e os equipamentos mais comuns possuem resolução lateral de 0,1 a 1nm e resolução longitudinal de 0,01 a 0,1nm (METALWORKING,

1990) e (STOUT, 1997). Na figura 23 é mostrado um esquema de funcionamento de um MVT. A varredura horizontal é feita com uma sonda, com forma de estilete com uma ponta cônica aguda e construída com material condutor (transmissor), a qual é posicionada muito próximo à superfície, que também deve ser condutora. Segundo HONG (1992), o estilete utilizado na confecção de uma sonda para um MVT possui uma ponta com (raio de $0,03\mu\text{m}$) e um ângulo de 3° . Uma corrente elétrica de tensão constante e muito pequena é aplicada entre a sonda e a superfície da amostra, a fim de gerar uma corrente de tunelamento, a qual é muito sensível à distância entre a sonda e a superfície. A corrente de tunelamento é mantida constante pelo monitoramento do deslocamento vertical "z" da sonda. Todo o movimento da sonda nas direções "x", "y" e "z" é fornecido por um drive piezoelétrico e pode ser registrado, gerando assim um mapa em 3D da textura da superfície. Estima-se que no prazo de dez anos, em função da precisão de posicionamento dos drives piezoelétricos, a resolução vertical possa atingir níveis inferiores a $0,001\text{nm}$ (MATHIA, 1995).

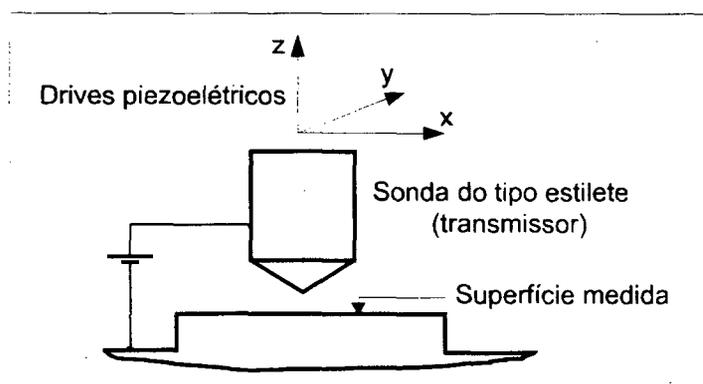


FIGURA 23. Esquema de funcionamento de um microscópio de varredura por tunelamento (MVT). [STOUT, 1997]

Este é, em essência, um método de medição de textura com estilete, embora com princípios físicos de medição bem distintos do método com estilete mecânico, uma vez que trata com dimensões razoavelmente menores e não existe contato efetivo entre a sonda e a superfície. Porém, dependendo do tipo de superfície em estudo e da

sua posterior função, deve ser levada em conta a geometria do estilete. Hong (1992) comparou o uso de um (MVT com o de um microscópio de varredura por feixe de elétrons (MEV) na medição sub-micrométrica da estrutura superficial de circuitos integrados de grande integração (CIGI) e constatou que a geometria do estilete exercia uma forte influência, sendo necessária a implementação de uma metodologia específica de medição para compensá-la, embora também tenha constatado que havia grande vantagem na substituição do MEV pelo MVT na medição de um CIGI.

Existem, porém, algumas restrições à utilização de MVT. A principal delas é que o funcionamento só é possível em superfícies condutoras muito bem limpas. Além disso o campo de medição ainda é pequeno, aproximadamente $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ (METALWORKING, 1990) e (STOUT, 1997).

Um outro problema inerente à medição com MVT é a alteração localizada do estado físico da matéria. A imagem da textura obtida por MVT é baseada na existência de uma corrente de tunelamento, o que implica na criação de uma ligação do tipo química entre a sonda e a superfície (MATHIA, 1995). Através destas ligações a ponta do estilete puxa e deforma localmente a superfície. Conseqüentemente existe uma tendência de aumentar a dimensão vertical de certos elementos geométricos da microgeometria, produzindo o efeito reverso (MATHIA, 1995).

No futuro, com a solução de parte destes problemas e uma melhor caracterização e quantificação dos efeitos dos problemas restantes, o MVT certamente passará a ser uma ferramenta de uso efetivo (MATHIA, 1995).

3.5.10 Microscópio de força atômica

O microscópio de força atômica (MFA) é um equipamento de aplicações semelhantes ao MVT quanto ao nível de resolução, mas permite que sejam feitas medições em escala atômica tanto em superfícies condutoras como em superfícies não condutoras (MATHIA, 1995) e (ICHIDA 1993). Na figura 24 é apresentado um

esquema de um MFA. Neste caso, a sonda é composta de uma viga com uma extremidade engastada e outra em balanço (viga cantilever) em cuja face inferior da extremidade em balanço é fixado uma ponta do tipo estilete e na correspondente face superior é fixado um espelho. A viga é engastada em um suporte de montagem fixo. Na medição, o estilete é posicionado de maneira tal a facear a superfície e esta é transladada na horizontal e na vertical por drives piezoelétricos. Se o estilete for levado a ter contato com a superfície ele sofrerá a ação de forças de repulsão atômica (forças de exclusão de Pauli) e se ele se afastar muito (50nm) ele sofrerá a ação de forças de atração molecular (forças de Van Der Waals) (MATHIA, 1995). Sob ação destas forças a viga cantilever sofre deflexões, as quais são registradas. Assim, quando a amostra é deslocada horizontalmente, produz-se uma imagem tridimensional da rugosidade em nível atômico.

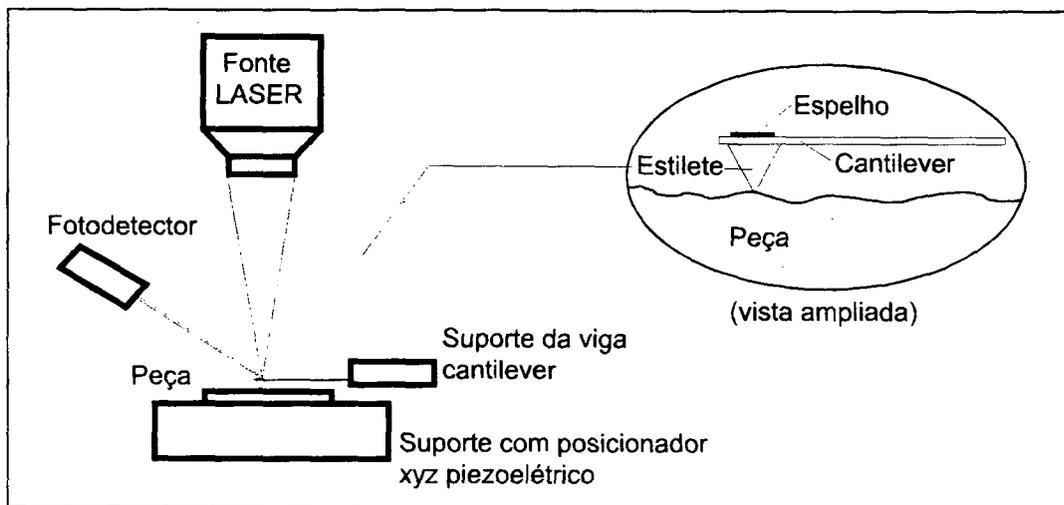


FIGURA 24. Esquema de funcionamento de um microscópio de força atômica (MFA).

[MATHIA, 1995]

A constante elástica da viga cantilever é da ordem de centésimos de N/m, permitindo que ela se flexione sob a ação das pequenas forças envolvidas. A sensibilidade do sistema pode ser melhorada com uma amplificação óptica das

deflexões sofridas pela viga. Isto é obtido com a reflexão de um feixe de laser sobre o espelho colocado na face superior da extremidade livre da viga.

Assim como no caso do MVT, tem-se um método de medição por estilete, mas com características particulares. Como há contato entre a superfície e a sonda existe uma tendência de “alisamento” da superfície da amostra. Entretanto, a reação das forças de Pauli à compressão da matéria são muito fortes e a influência do processo de medição sobre os resultados é muito menor do que qualquer outro método que utilize uma sonda do tipo estilete (MATHIA, 1995).

3.5.11 Outros métodos

Existem ainda outros numerosos métodos para medição da textura. Muitos deles foram surgindo para solução de problemas específicos, alguns inclusive tem funcionamento baseado na função a ser controlada. Segundo WHITEHOUSE (1994a), em muitos casos, a fundamentação teórica para o funcionamento destes instrumentos não é conhecida em detalhe e sua credibilidade é creditada somente ao uso. Portanto, estes instrumentos têm aplicação restrita e não podem ser considerados como fortes competidores dos sistemas com estiletos e dos sistemas ópticos. A seguir serão dados alguns exemplos de métodos e equipamentos deste tipo

- **Ultra-sônicos.** SCHAFFER (1988) cita o desenvolvimento de sistemas para medição da textura com sondas ultra-sônicas, as quais permitem o monitoramento da rugosidade de peças durante a usinagem. A chave do sistema é o fluido de corte, que funciona como um acoplamento intermediário entre o transdutor ultra-sônico e a peça. O transdutor fica alojado em um bocal especial, enviando os pulsos ultra-sônicos pelo fluxo de fluido de corte e, também por ele, recebendo o retorno de energia dispersada pela superfície. Com uma instrumentação adequada esta energia pode ser interpretada como uma medição da rugosidade.

Pneumáticos. Quando um jato de ar é emitido por um bocal que é mantido perpendicular e próximo a uma superfície, o fluxo de ar resultante do orifício é uma função da rugosidade da superfície contra a qual ele está sendo impingido (SEM, 1987a). Instrumentos baseados neste princípio foram introduzidos por Nicolau em 1939 e atualmente já estão desenvolvidas técnicas que permitem se medir R_a na faixa de $0,2\mu\text{m}$ a $6\mu\text{m}$ (WHITEHOUSE, 1994a). Não só a monitoração do fluxo pode ser utilizada, mas também a pressão resultante, a qual é função da relutância ao escape de ar pelo bocal devido o efeito inibidor da textura da superfície medida. Aparentemente o processo tem potencialidade para medição em processo, principalmente em baixas velocidades, mas somente como comparador (WHITEHOUSE, 1994a).

- **Métodos com líquidos.** MOORE, citado por WHITEHOUSE (1994a), propõe um método no qual um tubo com um terminal anelar é colocado sobre uma superfície e preenchido com água. O tempo que um dado volume de água leva para escoar forneceria uma medida do grau de acabamento da superfície. BICKERMAN, também citado por WHITEHOUSE (1994a), sugere como método para determinação da rugosidade, o cálculo da relação entre o volume e a área de uma mancha de óleo espalhada artificialmente sobre uma superfície. Em uma variante deste método ele sugere medição do tempo necessário para que uma gota de óleo escoe sobre uma superfície inclinada. Uma outra variante implica na cobertura da superfície com um líquido não volátil. Depois a superfície é mantida na vertical até que o líquido não mais escoe, estimando o valor de R_q como sendo de uma a duas vezes a espessura da camada resultante de líquido. Como pode ser facilmente observado estes métodos são muito interessantes, porém com muito pouca aplicabilidade prática.

- **Térmicos e friccionais.** Por fim, existem métodos que se valem das propriedades térmicas e friccionais das superfícies para a determinação da rugosidade, porém, a correlação entre estas propriedades e a textura é muito fraca, inviabilizando a sua aplicação prática.

3.5.12 Considerações gerais

Foram apresentadas várias metodologias para medição da textura de uma superfície técnica, cada qual baseada em um determinado princípio físico. Dentre elas a que apresenta o uso mais difundido no meio industrial é, sem dúvida alguma, aquela baseada em sondas com estiletes mecânicos. Mas existem problemas destas sondas que inviabilizam o seu uso dentro de necessidades mais específicas. Como opção mais viável existem os sistemas ópticos, os quais têm tido um grande desenvolvimento e uma aplicação crescente nas últimas décadas.

De uma maneira geral, os trabalhos que vêm sendo desenvolvidos na área de instrumentação aplicada à medição de textura têm procurado atingir os seguintes objetivos:

- Medição sem contato entre a sonda e a superfície;
- Aumento da resolução, alcançando o nível de nanômetros;
- Aumento na velocidade de medição;
- Capacidade para medição em processo;
- Capacidade de medição tridimensional com tempo reduzido.

Obviamente, alguns destes objetivos são muito difíceis de serem atingidos simultaneamente, mas grandes esforços têm sido dispendidos neste sentido. Em princípio, alguns instrumentos ainda continuarão sendo de aplicação restrita a laboratórios e salas de medição, enquanto que outros, que até pouco tempo a elas estavam limitados, estão migrando para o chão de fábrica e até para as próprias máquinas de usinagem.

Nem todo tipo de equipamento permite a medição da gama completa de parâmetros de textura existente. Então a seleção de um equipamento deve estar relacionada não só ao custo, correndo-se o risco de aquisição de equipamentos além ou aquém das necessidades. O primeiro passo deve ser a eleição das superfícies que de fato necessitam de monitoramento da textura. A seguir se deve determinar qual conjunto de parâmetros melhor classificam ou qualificam estas superfícies. A partir daí se justifica uma análise de custos.

Neste trabalho é feita uma análise comparativa de dois instrumentos de medição da textura. Um deles utiliza uma sonda mecânica (estilete), que é o tipo de instrumento mais utilizado no meio industrial. O outro utiliza uma sonda óptica, baseada no princípio da detecção de foco e têm um grande potencial para substituir as sondas mecânicas em superfícies macias e finamente acabadas (alto grau de acabamento) ou em superfícies que podem causar danos ao estilete da sonda mecânica, principalmente nos casos em que não se podem utilizar técnicas avançadas como a de resfriamento superficial (aumento da dureza) ou de aplicação de réplicas superficiais em resina epoxi (STOUT, 1997). Pretende-se com isto contribuir na compreensão das diferenças existentes entre os perfis de superfícies obtidos com os dois tipos de sonda e ampliar o campo de aplicação da sonda óptica.

Por fim, os sistemas com apalpadores do tipo estilete já estão em uso a muito tempo e, embora existam atualmente diversos sistemas ópticos, os primeiros continuam sendo os mais utilizados, não só pela versatilidade, mas também pelo custo relativamente baixo.

3.6 Parâmetros para caracterização da textura de superfícies

Nos itens anteriores foram apresentados os métodos e técnicas para a medição da textura. A evolução destes, por sua vez, fez com que também evoluíssem os meios

de se atribuir valores numéricos às características geométricas de uma superfície. Estes “meios” são denominados de parâmetros de textura de superfícies e serão tratados daqui por diante simplesmente pelo nome de parâmetros.

Os primeiros parâmetros surgiram com a finalidade básica de controlar o processo de fabricação, mas posteriormente passou-se a dispendir esforços crescentes na tentativa de se determinar um parâmetro ou um conjunto de parâmetros que descrevessem a textura de uma superfície satisfatoriamente e este tem sido o enfoque atual (WHITEHOUSE, 1978), (NOAKER, 1991) e (SME, 1987a).

Atualmente há uma grande quantidade de parâmetros, existindo quem afirme a ocorrência de mais de cem (TABENKIN, 1995) e (SCHAFFER, 1988), embora o número de parâmetros em uso efetivo seja bem menor, segundo alguns pesquisadores em torno de cinquenta (MESQUITA, 1992), (WHITEHOUSE, 1978), (NOAKER, 1991) e (SME, 1987a). Isto mostra a grande variedade de problemas que são encontrados na tentativa de se descrever uma superfície de maneira quantitativa e objetiva.

Nos sub-itens de 3.6.1 a 3.6.8 serão discutidos os aspectos mais importantes dos principais parâmetros para a caracterização da textura de superfícies.

3.6.1 Generalidades

O levantamento de um parâmetro de rugosidade exige o processamento matemático do perfil da superfície. LEROY (1974) estudou os possíveis métodos de processamento de um perfil de uma superfície e propôs que o problema fosse tratado como uma função estocástica “ $Y(t)$ ” com uma componente determinística “ $D(t)$ ” e outra aleatória $\varepsilon(t)$, a qual corresponde aos possíveis erros decorrentes do processamento. A partir daí e de algumas considerações complementares LEROY (1974) concluiu que existem três princípios básicos sobre os quais se apoiam a análise de perfis:

- a. Um que considera $Y(t)$ como sendo uma amostra da população e pode ser analisada utilizando-se métodos estatísticos.

- b. Outro que considera $Y(t)$ como sendo uma função determinística para a qual os métodos usuais de análise matemática podem ser aplicados.
- c. Por fim $Y(t)$ é considerada como sendo completamente determinada e deve ser representada por uma função híbrida na qual se avalia e se separa as variações ordenadas, as quais podem ser representadas analiticamente, das aleatórias, que por sua vez só podem ser analisadas através de métodos estatísticos, assumindo que o restante da parte analítica seja uma variável completamente randômica.

Neste trabalho não será discutido o problema específico da análise matemática do perfil, mas somente o resultado desta análise, ou seja, os parâmetros.

A expressão “descrever a textura de uma superfície satisfatoriamente” é subjetiva e não indica por si só o seu real significado. Na realidade, existem várias maneiras de se tentar descrever a textura de uma superfície, mas a linha que teve, e ainda tem tido, o maior desenvolvimento é aquela que relaciona a textura da superfície com a função a ser desempenhada por ela (SME, 1987a). Assim os parâmetros têm sido desenvolvidos com a intenção de prever o comportamento da superfície em trabalho e, com certeza, uma descrição que se ocupe dos aspectos geométricos por si só não é de grande utilidade prática.

Já foi discutido anteriormente o fato de que a metrologia de superfícies, ou a medição da textura, envolve conceitos distintos da metrologia dimensional, uma vez que se ocupa da medição de desvios em relação a uma forma ideal. No item 3.4.1 foram apresentados os sistemas de medição da textura e foi dado um destaque especial ao sistema da linha média (“Sistema M”), o qual é sem dúvida alguma o mais utilizado atualmente. Todos os parâmetros discutidos neste item têm por base o Sistema M.

No sistema M se destaca o comprimento de amostragem (l_e) como medida fundamental na definição dos parâmetros de textura. Deve ser selecionado um comprimento que garanta uma boa representação estatística da superfície, mas deve

se evitar que após a filtragem para obtenção do perfil de rugosidade ainda existam elementos geométricos correspondentes à ondulação e aos desvios de forma. A seleção de l_e exige, portanto, o cumprimento de um compromisso bem definido.

Segundo WHITEHOUSE (1994a), estudos práticos realizados na década de quarenta envolvendo centenas de superfícies técnicas típicas, levaram a seleção de 0,8mm como sendo o valor ideal para l_e . Nestes estudos chegou-se a conclusão que o comprimento de medição (l_m) deveria ser igual a cinco comprimentos de amostragem. BÖHM (1992) trabalhando com parâmetros para avaliação do comportamento de desgaste de superfícies também afirma que 0,8mm é o melhor valor a ser selecionado.

Nos equipamentos de medição da textura a seleção de l_e se dá de maneira indireta, pelo seu equivalente que é o comprimento de onda limite (cut-off ou λ_c). Este por sua vez está correlacionado com o processo de filtragem do sinal obtido a partir da superfície e é selecionado de acordo com o tipo de superfície (periódica ou não) em tabelas normalizadas (ABNT, 1988), (DIN, 1999b), (ISO, 1982) e (ISO, 1985)

Na figura 25 é mostrado um gráfico de perfil, o qual pode ser representado por uma função $z = f(x)$ e que pode ser considerado como tendo o aspecto de um tipo particular de onda. Uma maneira simplificada de se analisar tal perfil é considerá-lo como sendo composto de elementos geométricos (features) caracterizados pela amplitude (alturas) e elementos geométricos caracterizados por comprimentos de ondas (espaçamentos), os quais são independentes entre si (WHITEHOUSE, 1994a).

O primeiro passo na caracterização da textura é determinar um conjunto mínimo de parâmetros que descrevam estes elementos geométricos (alturas e espaçamentos) adequadamente. Muitos parâmetros foram surgindo com a geração de novas teorias envolvendo a análise da textura de superfícies. Soma-se a isso o desenvolvimento de novos equipamentos permitindo a implementação industrial de parâmetros antes restritos a uso puramente laboratorial. Os rugosímetros atuais permitem a aquisição de dados com grande confiabilidade e o processamento de boa parte dos parâmetros normalizados. Além disso, o grande desenvolvimento da microeletrônica e da informática facilitou a comunicação entre os equipamentos de medição da textura e

microcomputadores, trazendo novas possibilidades de tratamento dos dados captados. Um dos objetivos propostos por este trabalho é aproveitar estes avanços, na geração de um programa computacional (software) para comunicação entre um rugosímetro e um microcomputador, permitindo optar por uma combinação de parâmetros ou até mesmo a implementação de novos parâmetros e de novas técnicas de filtragem, tornando a análise da textura de superfícies bastante flexível.

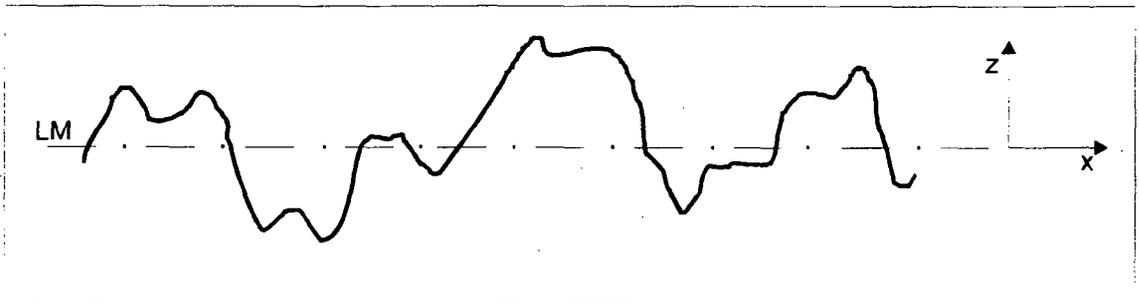


FIGURA 25. Gráfico de perfil de rugosidade típico.

Além dos avanços no campo da pesquisa laboratorial, muitos fabricantes de componentes, com altas exigências quanto à textura, desenvolveram parâmetros próprios que, embora não normalizados, são de validade técnica reconhecida (SCHAFFER, 1988). Assim, foram surgindo mais e mais parâmetros, os quais ultrapassaram a idéia simplista de caracterizar apenas alturas e espaçamentos, até permitindo, em casos específicos, a reconstrução do perfil da superfície a partir de alguns parâmetros (STAUFERT, 1977). Decorreu daí a necessidade da separação dos parâmetros em classes distintas, facilitando a compreensão e melhor orientando a aplicação dos mesmos. As classificações mais utilizadas se baseiam no tipo de desvio que os parâmetros pretendem caracterizar (DIN, 1994), (ISO, 1984), (NOVASKY, 1994), (WEINGRABER, 1989), (WHITEHOUSE, 1994a), (MESQUITA, 1992), (SCHAFFER, 1988), (STAUFERT, 1977), (SME, 1987a), GRIFFITHS, 1994)

Não é objetivo deste item descrever detalhadamente os parâmetros de rugosidade, pois os mesmos serão apresentados segundo uma classificação específica no Apêndice 2 e também estão bem definidos por diversas normas (DIN, 1994), (DIN, 1989), (ISO, 1984) e (ABNT, 1988). Daqui por diante se fará uma discussão da aplicabilidade de alguns parâmetros, tendo como referência as funções que uma superfície pode desempenhar em serviço e seguindo a classificação dada no Apêndice 2.

3.6.2 Parâmetros verticais

Fornecem informações sobre a ordem de grandeza das ordenadas do perfil (alturas). Dentre eles os parâmetros R_a , R_q , R_y , R_z , e R_{max} , são os mais difundidos devido a sua simplicidade de processamento nos rugosímetros e não é raro se encontrar equipamentos portáteis que só tenham capacidade de processar R_a , R_z e R_{max} . Os parâmetros verticais não fornecem nenhuma informação sobre a forma de evolução do perfil e por esta razão devem ser usados preferencialmente na comparação de superfícies geradas por processos de fabricação semelhantes e, de preferência, com padrão de formação de superfície bem conhecido (NOAKER, 1991). Sua aplicação é bem aceitável no monitoramento da usinagem com ferramentas de gume definido, tais como torneamento, aplainamento e fresamento (PETERS, 1979).

R_a é o parâmetro mais conhecido, aceito e aplicado mundialmente (WHITEHOUSE, 1994a), (NOAKER, 1991) e (GONZALES, 1982). É utilizado em praticamente todos os processos de fabricação e todos os equipamentos convencionais de medição de textura (rugosímetros) o tem como opção. GONZALES (1982), afirma que distribuição das amplitudes para a maioria das superfícies está de acordo com a curva de Gauss e que ela é relativamente bem caracterizada por R_a .

Porém, R_a apresenta algumas desvantagens que restringem a sua aplicação. Como ele representa uma média, o aparecimento de um pico ou de um vale não típico

pode mudar substancialmente o seu valor, não representando mais o valor médio da superfície. Por isso é aconselhável que se façam várias medições para que a análise forneça um valor o mais confiável possível. O valor de R_a não traz nenhuma informação a respeito da forma do perfil, portanto podemos ter o mesmo R_a para perfis bastante distintos, figura 26.

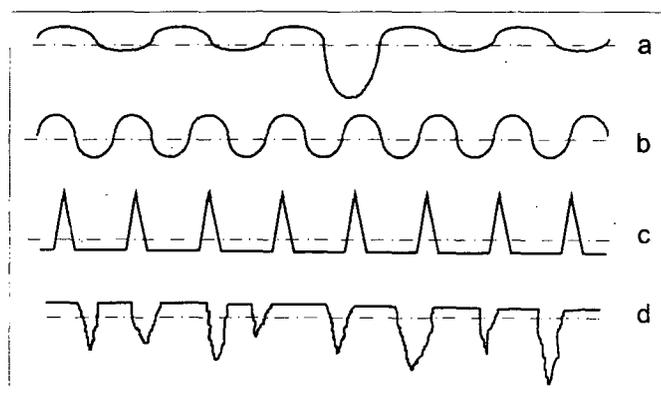


FIGURA 26. Perfis com formas distintas e mesmo R_a .

R_a também não é indicado para processos de fabricação que geram perfis com frequência elevada de picos e vales, como é o caso dos sinterizados, pois as distorções causadas pelos filtros eleva o erro a níveis inaceitáveis (NOAKER, 1991).

O parâmetro R_q apresenta o mesmo campo de aplicação de R_a , embora possua melhor resolução. Devido à potência quadrática, R_q dá um peso mais elevado para as ordenadas maiores, sendo que, para o mesmo perfil captado, seu valor é cerca de 11% maior do que R_a . Em muitos casos esta diferença é importante, como por exemplo em superfícies onde o objetivo é a detecção da existência de picos ou vales acentuados, mesmo quando estes aparecem ao acaso (GONZALES, 1982) e (NOAKER, 1991).

Mas, a obtenção gráfica e numérica de R_q é mais complexa do que a de R_a e, como este último, não transmite uma representação concreta quanto a forma do perfil.

Os parâmetros de média R_a e R_q devem ser utilizados em conjunto com R_{max} ou R_y (na maioria das publicações em que aparece o termo R_t , ele tem o mesmo significado de R_y), que por sua vez são parâmetros de máxima, para que transmitam melhor uma representação da média das ordenadas de um perfil de rugosidade.

Os parâmetros de média R_a e R_q foram adotados pelos EUA e pelo Reino Unido logo de início, principalmente pelo fato destes serem fáceis de calcular e estatisticamente mais estáveis, o que os tornam mais adequados para o controle de qualidade nos processos de fabricação (WHITHOUSE, 1994a).

Na Alemanha e demais países europeus se dá preferência até hoje para os parâmetros de máxima, tais com R_{zDIN} (R_z), R_{max} e R_y (WHITEHOUSE, 1994a). A justificativa reside no fato de que com estes tipos de parâmetros é muito fácil se relacionar as medidas pico-a-vale com os desvios da retilineidade ocorridos nas franjas de interferometria, possibilitando uma comparação fácil entre os resultados obtidos com equipamentos ópticos e com equipamentos mecânicos. Surge daí uma outra família de parâmetros verticais bastante utilizados.

R_z é um destes parâmetros e é calculado pela média das distâncias pico-a-vale de cinco comprimentos de amostragem ($l_m = 5.l_e$), enquanto que R_a e R_q são calculados pela média ao longo de todo percurso de medição (l_m). Desta maneira R_z é mais sensível a picos ou vales locais do que R_a e R_q .

R_z pode ser usado nos casos em que pontos isolados não têm influência significativa na função da peça a ser controlada, como por exemplo em superfícies de apoio e de deslizamento e de ajustes mecânicos. Assim como R_a e R_q é muito útil na comparação entre duas superfícies oriundas de um mesmo processo de fabricação, ou seja, é útil para monitoramento de processos de fabricação.

Em algumas aplicações a consideração do perfil por partes não é aconselhável, pois um "ponto isolado" acentuado será mediante a divisão de 1/5, considerado somente em 20%. Mesmo assim R_z dilui menos do que R_a e R_q . R_z , também não transmite nenhuma informação sobre a forma do perfil.

A maior das distâncias pico-a-vale dentro dos cinco comprimentos é definida como R_{max} , que por sua vez é útil na avaliação de superfícies de vedação e de superfícies carregadas dinamicamente (GONZALES, 1982). Também é útil para classificação de superfícies de deslizamento onde o perfil efetivo é periódico, mas deve vir acompanhado da inclinação e da ondulação. R_{max} é de fácil obtenção em equipamentos de medição que fornecem o gráfico da superfície e é bastante utilizado em nível mundial.

Porém deve-se ser cuidadoso na avaliação de perfis tomando por base R_{max} , pois ele apresenta desvios que muitas vezes não representam a superfície como um todo, como por exemplo um risco causado após a usinagem e que não caracteriza o processo. Também não apresenta informação suficiente a respeito da superfície, isto é, não informa nada sobre a forma da superfície.

O parâmetro R_y tem os mesmos empregos de R_{max} , mas é mais rígido, pois avalia a maior distância pico-a-vale dentro do percurso de medição. Com este parâmetro é possível se determinar as condições de pré-acabamento necessárias para operações de acabamento subseqüentes tais como brunimento ou lapidação (SME, 1987a), pois ele indica que quantidade de material pode ser removida antes que a dimensão da peça atinja um limite em particular. Também pode ser útil para determinar quando o processamento contínuo de uma peça produz pouco ou nenhum efeito (SME, 1987a), estabelecendo a durabilidade da peça, ou seja, quanto de desgaste a superfície da peça pode suportar até perder certas qualidades necessárias ao preenchimento de sua função, como por exemplo a tolerância dimensional. Porém, R_y tem as mesmas desvantagens de aplicação de R_{max} . Na maioria dos casos a profundidade de alisamento R_{pm} (descrita a seguir) é mais eficiente que R_y .

A profundidade de alisamento (R_{pm} , parâmetro 10, Apêndice 2) dá uma aproximação da taxa de suporte do perfil. Quanto menor for o valor de R_{pm} maior a capacidade de suporte do perfil. É um parâmetro muito útil quando os picos são mais representativos do que os vales no desempenho da função da superfície. Por exemplo,

se a condição ideal para duas superfícies for o máximo contato, a existência de picos acentuados ao longo destas superfícies irá impedir um contato pleno. Neste caso R_{pm} irá indicar quanto destes picos deve ser retirado para proporcionar o contato desejado (NOAKER, 1991).

A utilização de alguns parâmetros verticais associados entre si permite diferenciar melhor perfis com formas diferentes, como apresentado na figura 27, mas mesmo assim pouco pode se inferir da forma do perfil apenas com o fornecimento destes parâmetros, ou seja, sem a aquisição gráfica do perfil.

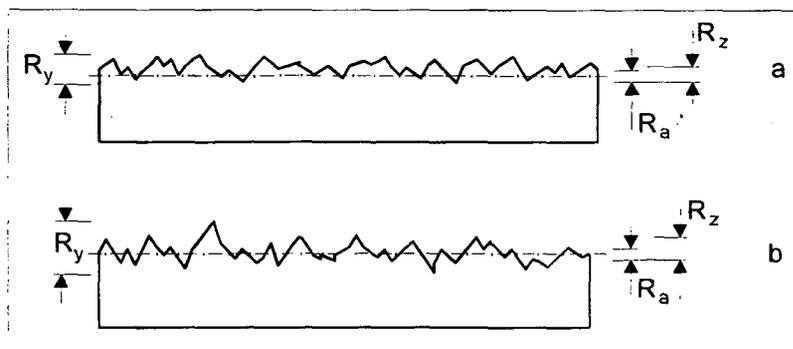


FIGURA 27. Associações de parâmetros verticais para a diferenciação de perfis.

Alguns casos particulares permitem inferências. Como R_{max} é um parâmetro de máxima e R_z é a altura média da rugosidade, pode-se concluir que se R_{max} e R_z tiverem valores aproximadamente iguais, a superfície provavelmente é periódica, caso típico do torneamento e aplainamento (GONZALES, 1982). Porém, a textura da superfície de uma peça pode ser complexa o suficiente para que se tenha perfis muito distintos em sua forma com valores de R_{max} e R_z bem parecidos. Mais uma vez pode se afirmar que estes parâmetros são úteis para comparar superfícies originadas pelo mesmo processo de fabricação, mas não para descrevê-las. Uma maneira de distinguir perfis com parâmetros verticais semelhantes, mas com formas distintas, é associar estes parâmetros a parâmetros horizontais tais como a contagem de picos P_c (parâmetro 25,

Apêndice 2). Na figura 28 são apresentados esquemas de perfis com valores semelhantes de R_z e R_{max} , mas com valores de P_c bem distintos.

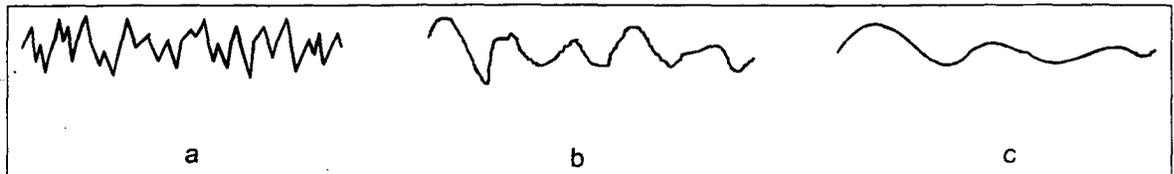


FIGURA 28. Perfis com R_z e R_{max} semelhantes, mas P_c bem distintos.

3.6.3 Parâmetros horizontais

A maioria dos parâmetros de textura de superfícies utilizados na prática industrial são do tipo vertical. Entretanto, existem vários parâmetros relacionados aos espaçamentos entre os picos presentes em um perfil, estes parâmetros são denominados de parâmetros horizontais.

Existem três tipos distintos de parâmetros horizontais. Um grupo fornece informações sobre os períodos com os quais os desvios geométricos na evolução do perfil podem aparecer. Os mais utilizados são S_m e A_w (parâmetros 23 e 29, Apêndice 2), respectivamente para o perfil de rugosidade e de ondulação. São parâmetros lineares médios e a partir deles pouco se pode deduzir sobre a variação das distâncias que, para valores médios iguais, podem ser muito diferentes. Podem, porém, ser utilizados na diferenciação de perfis com parâmetros verticais semelhantes.

Outro grupo faz uma contagem do número de elementos característicos do perfil por comprimento de medição, também são definidos como parâmetros para a contagem de picos, os mais utilizados são P_c e HSC (parâmetros 25 e 26, Apêndice 2), os quais já trazem alguma informação sobre a evolução do perfil, mas sempre são utilizados em associação com outros parâmetros. P_c é o mais comumente utilizado, principalmente na qualificação e medição de superfícies que estão destinadas a receber um recobrimento qualquer, tal como um polímero ou uma tinta (NOAKER,

1991). Quando usado em associação com R_a , fornece informações essenciais sobre a qualidade de superfícies antes do recobrimento (SME, 1987a), (BARDAL, 1973). P_c também é utilizado na qualificação e medição de alguns moldes para plásticos, onde se deseja gerar superfícies com aspecto visual e sensibilidade ao tato bem definidas, utilizadas em interiores de automóveis e em alguns tipos de brinquedos (NOAKER, 1991) e (SME, 1987a).

Outro parâmetro horizontal que tem se mostrado útil na qualificação de superfícies sujeitas a recobrimento é a razão de comprimentos do perfil L_r (parâmetro 28 do Apêndice 2) (BARDAL, 1973). Ele representa a razão entre o comprimento retificado do perfil (L_0) e o percurso de medição l_m , portanto ele é maior que a unidade para qualquer superfície real. Quando L_r assume um valor próximo da unidade significa que se tem uma superfície com poucos detalhes e suave (figura 28c), enquanto que valores de L_r grandes implicam em superfícies repletas de detalhes (figura 28a). Segundo ZIPIN (1992), superfícies randômicas são de natureza fractal, ou seja, são representáveis na dimensão fractal e, conseqüentemente, não se pode atribuir a elas um valor tão preciso para L_r quanto é possível para superfícies determinísticas ou periódicas. O reconhecimento de que superfícies tendo perfis randômicos são de natureza fractal deve se tornar cada vez mais importante, visto que todas as superfícies, quando olhadas em alguma escala, estão sujeitas a exibir alguma característica randômica (ZIPIN, 1992).

O terceiro grupo de parâmetros dá uma idéia da capacidade de suporte do perfil. O primeiro deles n_p (parâmetro 40 do Apêndice 2) mede o comprimento de suporte que existe em uma profundidade C do perfil, medida a partir do pico mais elevado. O segundo, t_p (parâmetro 41 do Apêndice 2) dá a porcentagem de comprimento de suporte em relação ao comprimento de medição (n_p/l_m). Ou seja, se um perfil possuir um valor de t_p maior que outro para a mesma profundidade, terá, portanto, maior capacidade de suporte de carga. t_p também pode ser visto como um simulador do desgaste em várias profundidades de corte da superfície (GONZALES,

1982) e (SCHAFFER, 1988). Os valores de t_p fornecem informações importantes sobre a forma do perfil e são muito utilizados para o estudo de superfícies porosas, tais como as das peças sinterizadas, principalmente no caso das superfícies tribológicas (SME, 1987a). Seu cálculo também é necessário para a geração da curva de suporte de perfil, ou curva de Abbot-Firestone, comentada mais adiante.

3.6.4 Parâmetros para ângulos e declives

São utilizados para analisar os ângulos médios dos picos (γ) e dos vales (δ) (parâmetros 30 e 31, Apêndice 2) e a inclinação média dos flancos do perfil de rugosidade (D_a e D_q) (parâmetros 32 e 33, Apêndice 2). São úteis quando se deseja analisar a formação da cunha do filme lubrificante, que também depende da forma dos vales existentes no perfil (MESQUITA, 1992).

D_a fornece uma medida da resistência ao esmagamento das superfícies. Se a inclinação média D_a for maior que 10° , a superfície é considerada elástica, recuperando-se depois da remoção da carga. Reciprocamente, se a inclinação for menor que 10° , a superfície é considerada plástica e permanecerá deformada após a remoção da carga (SME, 1987a). Outras aplicações de D_a se encontram no campo da óptica e de vibrações. Superfícies ópticas possuem melhores propriedades reflexivas para pequenos valores de D_a (SME, 1987a). D_a também é utilizado na análise do ruído gerado pela rugosidade das superfícies (SME, 1987a).

3.6.5 Parâmetros híbridos

Uma maneira de se obter informações complementares a respeito da forma dos perfis de rugosidade é pela combinação matemática de parâmetros, sejam eles verticais, horizontais ou de inclinação, ao invés da análise isolada de cada um deles para um dado perfil.

O comprimento médio de onda do perfil (λ_a) (parâmetro 35, Apêndice 2) é a combinação mais utilizada. Esta combinação envolve parâmetros verticais e de inclinação. Ele fornece uma relação direta com a dimensão média do tamanho de grão em operações de retificação. Monitorando-se λ_a , podem ser obtidas informações relacionadas com os efeitos das mudanças do estado do rebolo ou até mesmo determinar quando o rebolo necessita de uma dressagem para manter a qualidade da superfície da peça (SME, 1987a).

λ_a também relaciona-se diretamente com as marcas de avanço da ferramenta em operações de torneamento de precisão. Algumas mudanças que ocorrem neste tipo de processo não são refletidas pelo valor de R_a , mas alteram drasticamente o valor de λ_a (SME, 1987a)

Portanto, λ_a é um parâmetro útil no monitoramento destes processos de fabricação.

3.6.6 Parâmetros de forma

Estes parâmetros permitem uma análise mais detalhada sobre a geometria do perfil e são obtidos a partir da curva de suporte do perfil e da curva de densidade de amplitudes do perfil, as quais por si só já fornecem informações qualitativas importantes.

A aplicação básica destes parâmetros se dá em superfícies onde a forma da microgeometria do perfil é fundamental para o desempenho da função do componente.

□ Parâmetros obtidos a partir da curva de suporte do perfil (curva de Abbott)

A curva de Abbott, representa os valores de t_p (parâmetro 41, Apêndice 2) em função da profundidade C , medida a partir do topo do perfil. Uma análise qualitativa da sua forma já fornece informações a respeito da capacidade de suporte da superfície, figura 29. Da curva de Abbott são obtidos mais três parâmetros que permitem

quantificar com boa precisão se uma superfície é adequada ou não às funções tribológicas, são eles: altura reduzida dos picos R_{pk} (parâmetro 46, Apêndice 2), profundidade da rugosidade central R_k (parâmetro 45, Apêndice 2) e profundidade reduzida dos vales R_{vk} (parâmetro 47, Apêndice 2).

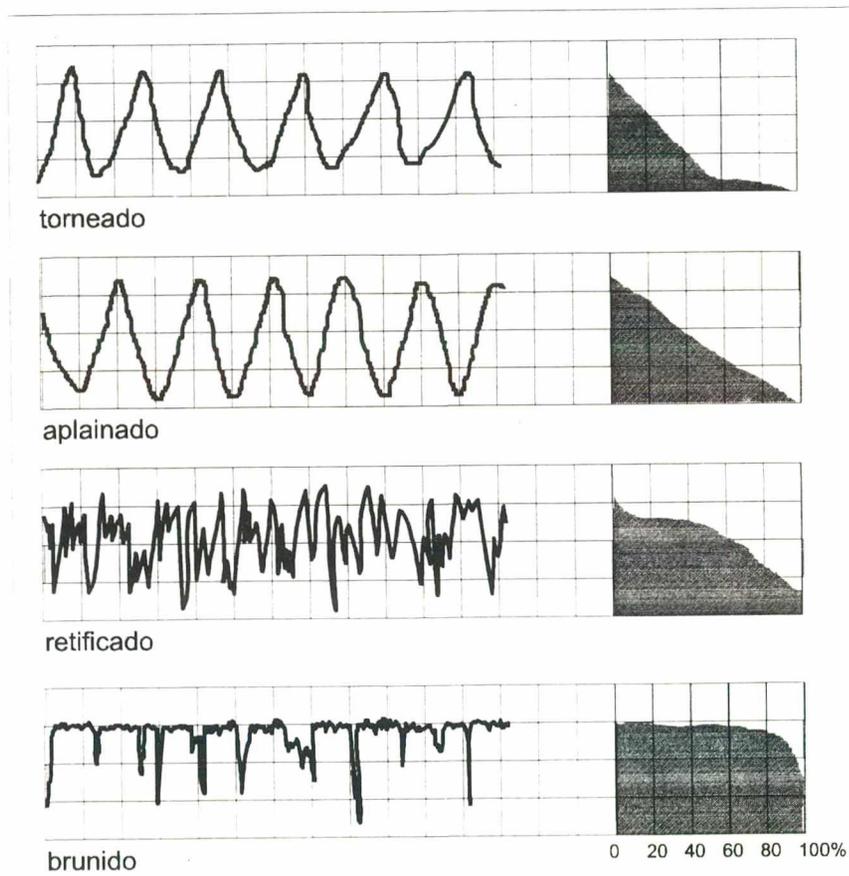


FIGURA 29. Curvas de Abbott para superfícies com diferentes capacidades de carga.
[BÖHM, 1992]

Segundo BÖHM (1992) é possível que duas superfícies com o mesmo valor de R_a e de R_z possuam perfis com formas bem diferentes, pois estes parâmetros, bem como outros parâmetros verticais, não trazem nenhuma informação a respeito da forma ou da função da superfície, figura 30. Portanto, superfícies que devam ser submetidas a funções tribológicas não podem ser avaliadas apenas com parâmetros verticais. Para tal se adequam R_{pk} , R_k e R_{vk} (BÖHM, 1992), (MESQUITA, 1992), (KING, 1995), (NOAKER, 1991).

Os parâmetros R_{pk} , R_{vk} e R_k tratam distintamente picos e vales. A altura total do perfil será então subdividida em três partes, correspondentes às partes funcionais da superfície de contato. R_{pk} relaciona-se com as propriedades de atrito e desgaste e R_{vk} informa sobre as propriedades de retenção de fluido. O núcleo de rugosidade R_k deve ser o menor possível para assegurar um bom contato com a contra-peça (WHITEHOUSE, 1994a) e (MESQUITA, 1992). Dentre os dois perfis apresentados na figura 30, o perfil *a* é o mais adequado para suporte de carga, com R_{pk} e R_k pequenos e R_{vk} grande. Por sua vez, a inclinação da curva de Abbott tem sua utilidade na análise de quão rápido a superfície se desgastará e de quanto a precisão dimensional mudará após o uso (BÖHM, 1992).

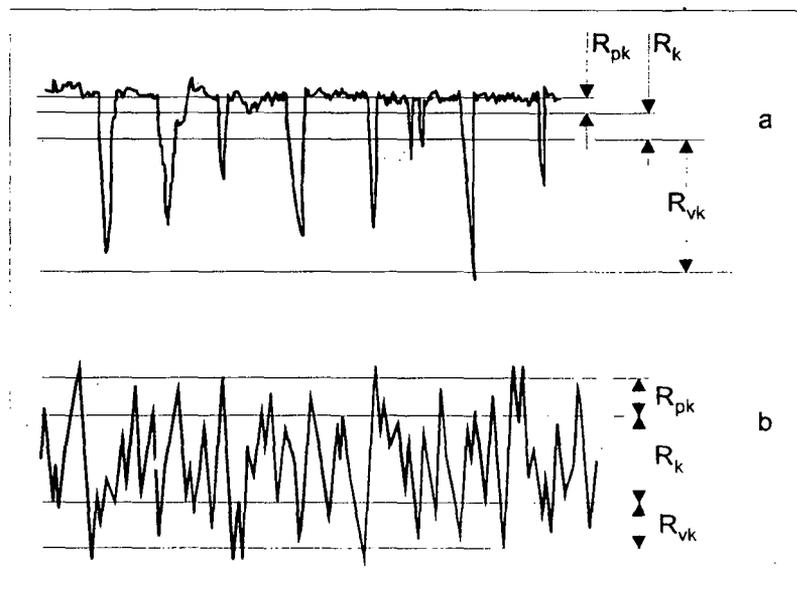


FIGURA 30. Comparação entre os valores de R_{pk} , R_{vk} e R_k para dois perfis com o mesmo R_a , valores em μm . [BÖHM, 1992]

Peça a: $R_{pk} = 0,1$ $R_k = 0,2$ $R_{vk} = 4,7$

Peça b: $R_{pk} = 1,0$ $R_k = 5,0$ $R_{vk} = 1,0$

R_{pk} descreve os picos que se sobressaem da parte central do perfil e dá informações a respeito dos processos de acomodação da superfície, ou seja, o desgaste que a superfície sofre inicialmente até que estabeleça uma superfície de

suporte estável. Na fabricação da superfície deve-se manter o valor de R_{pk} o menor possível, diminuindo ao máximo a fase de estabilização. (BÖHM, 1992), (MESQUITA, 1992), (KING, 1995).

R_k é a parte do perfil de rugosidade sem picos ou vales e se encontra na fase mais plana da curva de Abbott. É onde ocorre a maior concentração de material e, portanto, R_k também deve ser o menor possível, garantindo que haja uma área de contato suficiente com a contra peça. (BÖHM, 1992), (MESQUITA, 1992), (KING, 1995).

R_{vk} descreve a parte do perfil onde os vales se projetam da região de rugosidade central para o interior da peça. Com isso têm-se informações a respeito do volume de lubrificante que pode ser retido pela superfície durante o funcionamento da peça. Portanto, durante a fabricação da peça devem ser objetivados valores de R_{vk} grandes. (BÖHM, 1992), (MESQUITA, 1992), (KING, 1995).

Estas considerações a respeito de R_{pk} , R_k e R_{vk} são utilizadas integralmente no processo de brunimento platô (KING, 1995).

JONES (1995) propôs um novo parâmetro baseado na curva de Abbott, denominado de $3\sigma_{50}$, o qual seria o mais indicado para a determinação da rugosidade em superfícies operando com filmes de óleo de pouca espessura. Este novo parâmetro corresponde à diferença de alturas entre os níveis da superfície com t_p (porcentagem de suporte do perfil) iguais a 50% e 0,13%. Segundo o pesquisador o filme de óleo deve ter uma espessura de no mínimo $2 \times 3\sigma_{50}$. No caso do equipamento de medição não possuir recursos para o cálculo de $3\sigma_{50}$, ele propõe R_{pm} como sendo a melhor aproximação. Além disso, o pesquisador também afirma que $3\sigma_{50}$ pode ser obtido tanto para medições bidimensionais como tridimensionais.

MESQUITA (1992) também sugeriu um novo parâmetro obtido a partir dos parâmetros R_{pk} , R_k e R_{vk} da curva de Abbott, denominado de ângulo de inclinação central θ_k (parâmetro 53, Apêndice 2), o qual permitiria comparar quantitativamente

diferentes superfícies quanto aos seus patamares, sem a presença das referidas curvas de Abbott.

□ Parâmetros obtidos a partir da curva de distribuição de amplitudes

A curva de distribuição de amplitudes (CDA) é na prática, uma plotagem da frequência na qual as diferentes ordenadas do perfil ocorrem (WHITEHOUSE, 1978) e a partir dela, assim como a partir da curva de Abbott, podem ser tiradas algumas conclusões a respeito da forma do perfil. Da CDA são extraídos parâmetros tais como R_{Sk} (coeficiente de simetria da curva de distribuição de amplitudes, parâmetro 38, Apêndice 2) e R_{Ku} (Curtose, parâmetro 39, Apêndice 2) e também a função Beta e a análise de Fourier (itens 62 e 63 do Apêndice 2).

Uma análise puramente visual da CDA permite tirar as seguintes conclusões: valores positivos de R_{Sk} indicam superfícies com predominância de picos e valores negativos superfícies platafórmicas (figura 31). Por sua vez, R_{Ku} assume valores maiores que 3 com superfícies que possuam picos agudos e valores menores que 3 com superfícies que apresentem micro-geometrias tipicamente abauladas (figura 35) (MESQUITA, 1992), (WHITEHOUSE, 1994a), (PETERS, 1979) e (SCHAFFER, 1988). Estes parâmetros serão discutidos mais detalhadamente a seguir. Na figura 31 são apresentados esquemas de alguns perfis de rugosidade e as correspondentes curvas de distribuição de amplitudes.

Existem três questões importantes sobre a função densidade de probabilidade de amplitudes: a posição relativa da distribuição, as dimensões relativas desta distribuição e a forma desta distribuição. A primeira foi resolvida com a adoção da linha média como referência. A segunda pode ser solucionada com parâmetros simples como R_a ou R_q . A terceira é a mais complexa das três e pode ser discutida quantitativamente em termos dos parâmetros R_{Sk} , R_{Ku} e dos parâmetros m e n (equação 37 do Apêndice 2) da função Beta (WHITEHOUSE, 1978).

Outro parâmetro importante neste tipo de análise, mas que não está diretamente relacionado à curva de distribuição de freqüências, é o coeficiente de vazio K_p (parâmetro 54, Apêndice 2), que também auxilia na definição da aplicação de uma superfície. Um valor próximo da unidade indica que R_p tende a R_y , deslocando a linha média para baixo, enquanto que R_p tendendo a zero implica em R_p muito menor que R_y , ou seja, a linha média se aproxima do topo do perfil, indicando uma superfície com boas características de suporte (PETERS, 1979). Na figura 32 são apresentados dois perfis com valores bastantes distintos de K_p . Existe uma correlação entre K_p e R_{Sk} que será discutida adiante.

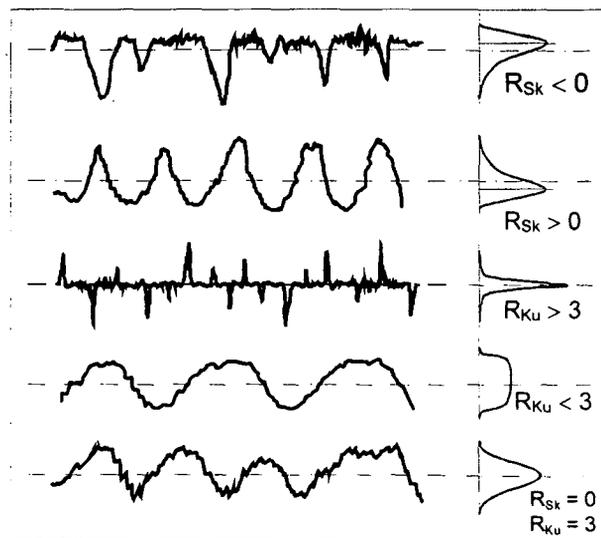


FIGURA 31. Curvas de densidade de amplitudes para diferentes formas de perfis de rugosidade. [WHITEHOUSE, 1994a]

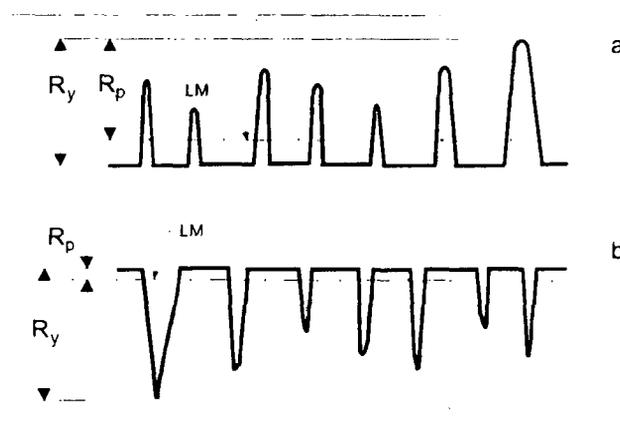


FIGURA 32. Superfícies com diferentes valores para o coeficiente de enchimento K_p .

R_{SK} é uma medida para a simetria da distribuição das ordenadas do perfil em relação à linha média. Uma inclinação negativa significa que existe uma predominância de ordenadas do perfil acima da linha de referência (linha média), ou seja, boa parte do material do corpo acima da linha média, indicando uma superfície com boas características de suporte (SCHAFFER, 1988), (NOAKER, 1991), (WHITEHOUSE, 1978) e (PETERS, 1979). R_{SK} positivo é, algumas vezes, especificado para contatos elétricos, porque até mesmo leves cargas de contato criam pressão suficiente para deformar alguns poucos picos protuberantes ao ponto de quebrar um filme de isolante inelástico expondo o metal condutor limpo (SCHAFFER, 1988).

R_{SK} também pode ser utilizado em conjunto com R_a para comparar superfícies de sinterizados porosos ou de fundidos, uma vez que estas superfícies podem produzir valores de R_a idênticos com valores de R_{SK} completamente diferentes (NOAKER, 1991).

A curtose R_{Ku} , por sua vez, indica o quanto a distribuição de amplitudes é mais *alongada* ou mais *achatada* do que uma ou distribuição normal (respectivamente, com uma dispersão muito pequena ou muito grande). Em termos da forma do perfil, ela indica a predominância de um perfil com picos suaves ou de um perfil com picos mais agudos. Os valores numéricos de R_{Ku} são comparados com o número 3 (três) e segundo Whitehouse (1978):

- se $R_{Ku} = 3$, a distribuição das ordenadas do perfil é normal (Gaussiana).
- se $R_{Ku} > 3$, a distribuição das ordenadas do perfil é mais delgada que uma distribuição normal.
- se $R_{Ku} < 3$, a distribuição das ordenadas do perfil é mais achatada que uma distribuição normal.

Aparentemente pode-se fazer uma escolha indistinta entre o uso de K_p e R_{SK} , pois os dois refletem o mesmo tipo de propriedade do perfil, o quanto predomina a frequência de ordenadas positivas. Porém, para perfis com a curva de distribuição de

amplitudes deslocada para o lado negativo ($R_{Sk} < 0$), K_p se apresenta mais sensível que R_{Sk} , enquanto que para perfis com a curva de distribuição de amplitudes deslocada para o lado positivo ($R_{Sk} > 0$), R_{Sk} passa a ser mais sensível que K_p (PETERS, 1979).

É reconhecido o fato de que R_{Sk} e K_p são importantes parâmetros para caracterizar a distribuição de ordenadas em torno da linha média. Entretanto, segundo WHITEHOUSE (1978) e PETERS (1979), os expoentes m e n da função Beta são mais discriminantes, mesmo que aparentemente eles não apresentem nenhuma informação adicional.

Whitehouse (1978) também afirma que R_{Sk} e R_{Ku} possuem alguns problemas básicos e propõe uma alternativa. O primeiro deles é que estes parâmetros são muito sensíveis à possíveis anomalias no perfil, pois as ordenadas são elevadas à potências de terceira e quarta ordem, para R_{Sk} e R_{Ku} , respectivamente. Portanto, para se obter valores confiáveis devem ser feitas muitas medições. O segundo problema está relacionado à dificuldade de computação. Por fim, estes parâmetros não são independentes um do outro. Uma curtose elevada necessariamente implica em um elevado coeficiente de simetria. O ideal seria empregar uma alternativa que minimizasse estes problemas e que ainda reduzisse o número de variáveis envolvidas. Assim pensando, WHITEHOUSE (1978) propôs o uso da função Beta para análise da distribuição das ordenadas dos perfis de rugosidade.

A filosofia básica é que qualquer distribuição real de amplitudes pode ser aproximada por uma função Beta. A interpretação física dos expoentes m e n da função Beta mostra que os vales e os picos são enfatizados de maneiras diferentes. Enquanto m corresponde ao peso dado às ordenadas medidas do vale mais profundo para cima, n dá peso às ordenadas medidas em sentido inverso, ou seja, do topo do perfil para baixo. (WHITEHOUSE, 1978). Estes pesos são função apenas da forma da distribuição de ordenadas, portanto, um expoente não influencia o outro e a forma da distribuição de ordenadas é descrita completamente por dois parâmetros somente. Além disso m e n podem ser expressos em termos de R_q , R_v , R_p e R_y , sendo facilmente

calculados e também são pouco influenciados por anomalias da superfícies (picos extremos ou vales muito profundos), uma vez que os parâmetros envolvidos entram na potência unitária. (WHITEHOUSE, 1978).

Experimentos envolvendo processos de usinagem tais como torneamento, fresamento, retificação, EDM e brunimento foram realizados por WHITEHOUSE (1978) e PETERS (1979) e pode ser constatado que m e n foram capazes de diferenciar estes processos muito mais claramente do que os parâmetros R_{Sk} e R_{Ku} . Além disso a função Beta pôde reproduzir a forma da distribuição de amplitudes com razoável fidelidade. Com a elaboração de ensaios mais completos podem ser levantadas tabelas com valores típicos para m e n , permitindo a caracterização de algumas superfícies e tornando a aplicação deste tipo de parâmetro promissora.

De uma maneira geral, m e n semelhantes resultam de perfis simétricos ($R_v = R_p$ e $R_{Sk} = 0$). Para perfis com ordenadas concentradas acima da linha média ($R_{Sk} < 0$ e $R_v > R_p$) m é maior que n , por fim, para perfis com coordenadas concentradas abaixo da linha média ($R_v < R_p$ e $R_{Sk} > 0$) m é menor que n . De fato m é proporcional a R_v/R_y e n é proporcional a R_p/R_y (PETERS, 1979).

Mas, m e n também estão relacionados com a curtose. Quanto maior for o valor de m ou de n , mais elementos estarão concentrados em torno da moda, ou seja, mais estreita é a distribuição de ordenadas. (PETERS, 1979)

A única desvantagem que pode restringir o uso da função Beta é a sua dependência de picos e vales, pois mesmo que esta dependência seja bem menor do que no caso de R_{Sk} e R_{Ku} , acaba implicando em uma certa instabilidade (WHITEHOUSE, 1978).

□ Curvatura dos picos

MESQUITA (1992) propôs o uso de um parâmetro ainda não normalizado, curvatura dos picos (C_m , parâmetro 60, Apêndice 2), na avaliação de superfícies de deslizamento lubrificadas, visto que a forma dos picos de rugosidade, bem como a

inclinação, exercem forte influência na formação das micro-cunhas de lubrificante. Porém, a computação destes parâmetros exige instrumentação e condições de medição cuidadosamente calibradas, o que nem sempre é disponível em ambientes não laboratoriais (PETERS, 1979).

3.6.7 Função de auto-correlação

Com a aplicação de computadores acoplados aos rugosímetros, tornou-se possível calcular parâmetros e funções pouco utilizados no passado devido à sua complexidade.

Um exemplo é a função de auto-correlação (item 61, Apêndice 2), a qual permite estimar em que medida um determinado padrão de forma de onda da superfície se repete. Envolve essencialmente a determinação da relação de um ponto qualquer da superfície para todos os outros pontos, uma tarefa tediosa sem o uso de um computador.

A função de auto-correlação pode revelar a presença de elementos geométricos característicos repetitivos gerados pelo desgaste da ferramenta, ou pela vibração da máquina e também ressaltar um padrão randômico, como por exemplo, uma dilaceração da superfície gerada pela formação de gume postiço.

Os dados sobre as ondulações são produzidos pelo exame simultâneo da função de auto-correlação e do espectro de frequência versus amplitude, obtendo-se daí informações valiosas sobre a importância relativa dos componentes periódicos e randômicos. Estes componentes podem ser considerados como uma assinatura das condições de usinagem, do desgaste da ferramenta e das vibrações da máquina e podem ser utilizados mais extensivamente para monitorar o processo de fabricação (PETERS, 1979) e (SCHAFFER, 1988).

PETERS (1979) constatou que a função de auto-correlação, quando comparada com o espectro de amplitudes versus frequência, fornece mais facilmente informações

sobre os componentes de baixas frequências e apresenta mais acuradamente a contribuição relativa entre os diferentes componentes periódicos e randômicos. Esta capacidade de separar padrões de textura superficiais randômicos dos repetitivos, confere à função de auto-correlação um status de ferramenta valiosa no monitoramento de processos de usinagem (PETERS, 1979) e (SCHAFFER, 1988).

Whitehouse (citado por STOUT, 1997), também estudou a correlação entre a textura de superfícies e os processos de usinagem e mostrou que a função de auto-correlação contém muitas informações sobre a natureza do processo de fabricação da superfície e sobre a influência de fenômenos isolados tais como: da interface cavaco/ferramenta no mecanismo de formação do cavaco, do desempenho de componentes da máquina ferramenta (por exemplo guias e rolamentos) e do uso de fluidos de corte.

Mas, também é possível aplicar a função auto-correlação para descrever o estado de uma superfície. Staufert (1980) utilizou-a em associação com R_q , conseguindo obter informações bastante acuradas a respeito de propriedades tribológicas de algumas superfícies.

3.6.8 Parâmetros tridimensionais

A maioria dos instrumentos de medição de textura se baseiam na leitura de perfis bidimensionais e, portanto, a maioria dos parâmetros desenvolvidos até hoje são bidimensionais (parâmetros 2D). Com o desenvolvimento de equipamentos com capacidade de executar uma varredura de superfícies, inclusive em nível industrial, surgiu a necessidade da elaboração de parâmetros que descrevessem os mapas tridimensionais obtidos (parâmetros 3D) (SOUT, 1991). Segundo Carneiro (1995), Mathia (1995) e Stout (1995), existem grupos específicos trabalhando com o desenvolvimento de métodos para a caracterização da rugosidade em mapas tridimensionais de superfícies. Tais grupos também levam em conta a necessidade de

se padronizar os parâmetros 3D como uma maneira de se assistir a divulgação de resultados obtidos com medições tridimensionais de textura.

O conceito básico ainda é o mesmo aplicado no desenvolvimento de parâmetros 2D: compreendendo-se completamente o que representa um mapa topográfico em 3D e podendo quantificar os seus elementos geométricos, é possível se projetar e fabricar (topograficamente falando) superfícies que melhor se ajustem às funções para as quais foram designadas e também aprimorar o controle sobre os processos de fabricação (BOUDREAU, 1992), (YOUNG, 1980), (SOUT, 1991) e (VERMEULEN, 1995). Outro aspecto importante relatado por Dong (1992) e também estudado anteriormente por Loukyanov (1980) são alguns elementos inesperados da textura de superfícies, como por exemplo, rasgos, escamas e outros tipos de falhas. Os parâmetros 2D podem ser fortemente influenciados por eles, ficando muito difícil notar a presença de uma anomalia deste tipo em um único perfil de rugosidade. Porém, com uma medição tridimensional e com o subsequente processamento dos dados coletados pode-se avaliar perfeitamente o nível de influência deste tipo de irregularidade no cômputo de um parâmetro 3D (DONG, 1992).

Obviamente, o primeiro passo na elaboração de parâmetros 3D consistiu em adaptar para o campo tridimensional os parâmetros 2D já normalizados e mais utilizados (SOUT, 1991) e (CARNEIRO, 1995). Como o nome dos parâmetros 3D se mantiveram iguais aos correspondentes 2D, alterou-se o símbolo R por S , de maneira que não houvesse erro de interpretação (CARNEIRO, 1995). Muitos dos parâmetros 3D são medidos em uma região retangular $M \times N$, embora para parâmetros oriundos da transformada de Fourier seja assumida uma região quadrada ($M = N$) (CARNEIRO, 1995) e (SOUT, 1991). De acordo com as propostas de K. J. Stout et al. e de G. Barbato et al., citados por Carneiro (1995), os parâmetros 3D gerados a partir dos parâmetros 2D já em estudo para normalização são:

- S_a : Desvio médio aritmético de rugosidade
- S_q : Desvio médio quadrático de rugosidade
- S_y : Altura máxima do perfil
- S_z : Profundidade média de rugosidade
- S_{Sk} : Coeficiente de assimetria
- S_{Ku} : Curtose
- S_{Dq} : Valor médio quadrático do declive do perfil
- S_{pk} : Altura reduzida dos picos
- S_k : Profundidade da rugosidade central
- S_{vk} : Profundidade reduzida dos vales

Além destes parâmetros, K. J. Stout et al. e G. Barbato et al., citados por Carneiro (1995), propuseram parâmetros relacionados ou ao processo de medição em si ou à função da superfície, os quais não possuem correspondentes parâmetros 2D:

- S_{sc} : Curvatura média dos cumes
- S_{dr} : Razão de área superficial
- S_{bi} : Índice de superfície de suporte
- S_{ci} : Índice de retenção de fluido no núcleo
- S_{vi} : Índice de retenção de fluido nos vales
- S_{ds} : Densidade de picos
- S_{td} : Direção da textura
- S_{tdi} : Índice da direção da textura
- S_{rw} : Comprimento de onda radial
- S_{rwi} : Índice do comprimento de onda radial

Com a dissiminação do uso destes parâmetros, provavelmente surgirão propostas de normalização, as quais, juntamente com o desenvolvimento de novos equipamentos, estimularão o uso da análise de textura no campo tridimensional.

3.6.9 Outros parâmetros

Os parâmetros normalizados, em sua maioria, foram deduzidos de perfis obtidos por sondas mecânicas (com apalpadores do tipo estilete), mas já foi visto (item 3.5) que existem formas diferentes de se medir e representar uma superfície e o maior destaque se dá com os métodos ópticos (LONARDO, 1995).

Thwaite (1980) aplicou a transformada de Fourier em espectros de potência obtidos de superfícies retificadas e de algumas superfícies periódicas e afirmou que os resultados obtidos mostravam que havia possibilidade do uso desta transformada na análise da textura de superfícies retificadas. Neste trabalho são citados trabalhos do mesmo tipo sendo desenvolvidos para superfícies torneadas com diamante e lapidadas, confirmando a aplicabilidade do método à superfícies finamente acabadas.

Young (1980) analisou alguns métodos ópticos de medição da rugosidade, tendo por objetivo discutir a aplicabilidade destes processos na medição direta em processo e propõe o uso da *densidade do espectro de potência* (PSD) e de seus momentos como parâmetros de textura, afirmando que eles possuem informações suficientes para descrever todas as características importantes de superfícies técnicas.

R. S. Sayles, T. R. Thomas e B. D. Van Deusen, citados por Mulvaney (1985), também desenvolveram parâmetros de textura a partir do espectro de potência de superfícies usinadas. Mas estes parâmetros não permitiam uma comparação simples entre os valores obtidos para diferentes comprimentos de medição. Assim sendo, Mulvaney (1985) propôs um novo parâmetro denominado *valor de r.m.s. por milímetro* (Ψ_{1mm}). Segundo o pesquisador, as principais vantagens de aplicação deste parâmetro, quando comparado com os parâmetros de rugosidade correntemente utilizados,

residem no fato de não haver necessidade de filtragem dos dados e da possibilidade de se obter uma descrição completa do perfil de rugosidade apenas com um parâmetro, exceto no caso de perfis que mostrem espectros relacionados à picos de usinagem relativamente grandes.

O método por difração também parece ser promissor na medição da textura. Embora as imagens difratadas não permitam descrever totalmente a topografia de uma superfície, elas oferecem informações relevantes a respeito de harmônicos. Isto é útil no monitoramento de processos de usinagem, indicando se ocorrem mudanças significativas no material da peça ou na cunha de corte da ferramenta. O problema é que as imagens de superfícies reais possuem um grande número de componentes de frequência, dificultando a análise dos padrões de difração. Uma possível solução é apresentada por Lonardo (1995), que propõe a utilização de redes neurais, possibilitando uma interpretação precisa e rápida destes padrões de difração. Susic (1995), também propôs a utilização de redes neurais, porém, para a estimativa da rugosidade a partir de sinais de emissão acústica gerados por atrito.

3.6.10 Comentários

Pode-se concluir que os parâmetros de textura têm dois campos de aplicação distintos. O primeiro diz respeito ao monitoramento de processos de fabricação e para tal basta que o parâmetro permita comparar duas superfícies obtidas pelo mesmo processo, com um determinado nível de sensibilidade. O segundo campo de aplicação e, em determinados casos até mais importante que o primeiro, é aquele que implica na qualificação da superfície para o desempenho de uma função pré-determinada. É neste campo que se encontra a maior complexidade na especificação e medição dos parâmetros e, apesar dos esforços dispendidos, ainda existem muitas questões sem solução.

Há mais de cinquenta anos que se vem estudando a aplicação de parâmetros de textura e isto tem possibilitado um acúmulo razoável de dados. Mas com o avanço contínuo dos processos de fabricação e dos materiais sempre haverá a necessidade de qualificar melhor uma superfície. Grande parte dos esforços neste campo têm sido direcionados no sentido de se unir textura à função. Um exemplo mais recente foi o da indústria automobilística francesa, que foi pioneira no uso de diferentes famílias de parâmetros funcionais e do método MOTIF. Tabenkin (1995) aposta no uso da inteligência artificial como ferramenta para que o projetista possa selecionar automaticamente uma combinação de parâmetros baseada na função da superfície.

De maneira geral quanto menor for o número de parâmetros envolvidos e quanto mais eles aproximarem a superfície efetiva da superfície real, melhor será a descrição da textura. Embora exista um grande número de parâmetros, a prática tem mostrado que o uso tem se restringido a alguns relacionados às características verticais do perfil de rugosidade (R_a , R_q , R_z , R_{max} e R_y). Em poucos casos se observa a utilização dos parâmetros horizontais, de inclinação e de forma. Isto é insuficiente para a maioria das aplicações mais exigentes. Com a utilização de computadores acoplados aos equipamentos de medição da textura, existe uma forte tendência de se implementar mais e mais parâmetros, independentemente da complexidade de cálculo.

O problema principal da análise da textura é escolher os parâmetros mais significativos para cada caso. Quando o objetivo principal é a comparação entre peças fabricadas pelo mesmo processo um parâmetro de rugosidade simples, por exemplo R_a , talvez já seja suficiente. Se o que se pretende é caracterizar a superfície e determinar as propriedades compatíveis com a sua função, um único parâmetro isolado, provavelmente, não conseguirá fornecer todas informações necessárias. Para tal é necessário o uso de uma combinação apropriada de parâmetros para cada caso.

3. 7 Programas computacionais para rugosímetros

Os rugosímetros de bancada utilizados atualmente vêm equipados com unidades de processamento de dados que dispõem de programas internos, os quais possibilitam o cálculo de vários parâmetros de textura de superfície, bem como a representação gráfica dos perfis P, R e W e de algumas curvas características, tais como a curva de distribuição de amplitudes e a curva de taxa de suporte do perfil. Estes programas têm atendido razoavelmente bem as principais necessidades industriais, porém são limitados para aplicações científicas mais avançadas e não satisfazem exigências tecnológicas mais apuradas. Mesmo alguns equipamentos que permitem o acoplamento direto à microcomputadores, não possuem programas computacionais com a flexibilidade requerida para pesquisas mais avançadas em textura superficial. Estes programas são de arquitetura fechada e têm alguns fatores limitantes para a aplicação científica: não é permitido o acesso aos dados brutos de medição, não é possível se alterar as características dos filtros de ondas utilizados, nem adicionar novos tipos de filtros e não é possível se introduzir o cálculo de novos parâmetros de textura, ou até mesmo se fazer uma combinação entre os parâmetros já processados individualmente pelo programa.

Com a crescente utilização de computadores, tornou-se mais intensa a procura por novos e expressivos parâmetros de textura adaptados à função da superfície e por algoritmos que os calculem. Exemplos típicos são a norma DIN 4776 (1990), que trata dos parâmetros relacionados à curva de suporte do perfil (item 44 do Apêndice 2), a análise de Fourier, a função de auto-correlação, a função de correlação transversa e os parâmetros tridimensionais de textura superficial.

3.7.1 Exigências

A experiência industrial e a evolução técnico-científica no uso das tecnologias envolvendo a medição da textura superficial, têm mostrado a necessidade de programas mais sofisticados, com uma interface programa-usuário mais amigável e com arquitetura aberta. Dentre as principais características exigidas destacam-se as listadas abaixo.

- Incorporação de planilhas que possibilitem comparações entre diversos valores de parâmetros nas medições da textura, observando-se as tendências e as principais características de determinados tipos de superfície. Ajudando dessa forma a resolver outro problema da análise de superfícies, que é o de caracterizar um determinado perfil por um certo número de parâmetros relevantes.

- Geração de banco de dados de perfis. Com o armazenamento de perfis em memórias magnéticas (disquetes) ou ópticas (CDs), surgem duas grandes vantagens. Primeiro a possibilidade de análise a distância, ou seja, um microcomputador de pequeno porte e baixo custo pode ser ligado a um rugosímetro para coleta de dados, os quais poderão ser processados em um outro microcomputador mais potente, não necessariamente dedicado exclusivamente à análise de superfícies. Em segundo lugar torna possível o reprocessamento de um mesmo perfil por vários métodos diferentes em épocas diferentes. O que é impossível de se realizar em rugosímetros convencionais, que não permitem um reposicionamento idêntico do apalpador sobre a superfície e também porque os dados lidos são armazenados em memória volátil.

- **Elaboração de programas tarefa.** Os usuários mais experimentados poderão vir a criar seus próprios programas de medição (modo usuário), especificando todos os elementos de configuração da medição (cut-off, parâmetros e estatística necessária entre outros). Aqueles menos experientes podem confiar-se em programas de medição padrão, acessíveis no menu do processador do próprio rugosímetro, com os quais os problemas de medição triviais podem ser resolvidos mais simplificadaamente.

- **Implemento de estudos comparativos.** A escolha de determinados parâmetros com a finalidade de se avaliar características superficiais, dependem fundamentalmente da aplicação a que as superfícies serão submetidas. Sendo assim, fica clara a necessidade de um programa que também forneça as mais variadas opções de estudos comparativos entre perfis e parâmetros, com boa resolução gráfica e grande capacidade de cálculo e de armazenamento.

- **Opção para a introdução do cálculo de novos parâmetros.** Novos parâmetros estão sempre sendo criados com a finalidade de poder descrever e quantificar mais e melhor determinadas possíveis funções de uma superfície, tenha ela uma textura já conhecida ou uma textura oriunda de um novo processo de fabricação. Os programas devem viabilizar a introdução de rotinas para o cálculo desses parâmetros.

- Cálculos estatísticos avançados. A utilização de microcomputadores possibilita uma grande capacidade de armazenamento e tratamento matemático-estatístico de dados de medição. Esta vantagem deve ser utilizada para o aumento da confiabilidade no valor de cada parâmetro de textura calculado, para a inserção dos limites de tolerância e para a introdução de rotinas de controle de qualidade.

- Flexibilidade. É necessário o desenvolvimento de uma estrutura de programa que possa ser implementada facilmente com módulos de programação intercambiáveis, dedicados a um problema específico do usuário. Necessidades comuns pouco disponíveis são a representação e quantificação de estruturas superficiais tridimensionais ao invés do convencional perfil bidimensional e a análise gráfica de regiões específicas de um perfil de rugosidade com resoluções crescentes. Também se destacam aplicações avançadas, como por exemplo a introdução da análise fractal.

- Adaptação às normas. As normas técnicas específicas de tecnologia de superfícies são revisadas com frequência, podendo ocorrer alterações de nomenclatura, de procedimentos de medição e das rotinas de cálculo de parâmetros de textura. Soma-se a isto o fato de que é comum um componente ser especificado de acordo com as normas do país onde foi produzido, as quais nem sempre estão em concordância com aquelas do país de origem do equipamento de medição, mesmo com a forte tendência de se adaptar normas nacionais às normas internacionais ISO (internacionalização dos mercados). Portanto, os programas devem ser flexíveis o suficiente para permitir os ajustes necessários à adaptação caso a caso.

3.7.2 Comentários

O aumento constante na velocidade e na capacidade de processamento dos microcomputadores, permite um tratamento cada vez mais rápido e mais sofisticado dos dados da textura de superfície. Mais parâmetros e um maior volume de dados podem ser processados confiavelmente e rapidamente, incrementando a qualidade operacional de equipamentos para medição da textura. Os dados e resultados de medição podem ser armazenados em memórias magnéticas e ópticas, de fácil e rápido acesso. Estes dados e resultados também podem ser colocados à disposição de vários setores de uma indústria ou à disposição de mais de um centro de pesquisa, de forma rápida e segura através da interligação de computadores em rede (intranet ou internet). As vantagens aqui citadas somadas às exigências discutidas anteriormente demonstram claramente a necessidade de se investir no desenvolvimento de programas para comunicação rugosímetros-computadores que sejam flexíveis, de interface usuário-máquina amigável, de arquitetura aberta e com facilidades para anexação de módulos matemáticos e estatísticos.

CAPÍTULO 4

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Corpos de Prova

Na seleção dos tipos de Corpos de Prova (CP) para a realização dos experimentos de medição buscou-se satisfazer duas condições básicas: diferentes resistências das superfícies ao riscamento (deformação) pela ponta sensor mecânico (estilete) e diferentes níveis de acabamentos das superfícies, para destacar as propriedades relativas entre o sensor mecânico e o sensor óptico (feixe óptico). Parte dos CP foram preparados exclusivamente para este trabalho e parte deles foram aproveitados de trabalhos de parceria entre os pesquisadores do LASUS (Laboratório de Análise de Superfícies Usinadas) e outros pesquisadores do LMP (Laboratório de Mecânica de Precisão), do LABMAT (Laboratório de Materiais) e do Departamento de Odontologia da UFSC. Na tabela 3 são listados todos os tipos de CP estudados, uma breve descrição com os respectivos materiais e processos de acabamento das superfícies e as respectivas quantidades. No Apêndice I são dadas algumas características complementares destes CP.

4.2 Equipamentos

Para a medição da textura das superfícies dos CP foi utilizado um rugosímetro de bancada da marca PERTHEN, modelo S8P (figura 33), equipado com uma unidade de processamento de dados, uma unidade de deslocamento linear, um conjunto de sondas mecânicas (cada qual com um sensor com geometria distinta), uma sonda óptica tipo seguidor e vários dispositivos de posicionamento e fixação de peças. Além do equipamento de medição, tinha-se disponível um conjunto de padrões de calibração, devidamente calibrados e rastreáveis e um dispositivo específico para análise de desgaste da ponta do sensor mecânico. Dentre as sondas mecânicas

disponíveis se optou pela RHT 6-50 (figura 34/esquerda), que possui o sensor com o menor raio de ponta e portanto com a geometria mais próxima da do sensor óptico (feixe laser). A sonda óptica utilizada foi a Focodyn (figura 34/direita), do mesmo fabricante do rugosímetro. No Apêndice 1 são dados detalhes técnicos do rugosímetro, acessórios, padrões e dispositivos de calibração.

TABELA 03. Relação de corpos de prova utilizados na pesquisa.

CORPOS DE PROVA		QUANTIDADE
GRUPO	DESCRIÇÃO	
01	Aço ABNT 1045 retificado	20
02	Aço ABNT 1045 retificado e nitretado	10
03	Aço ABNT 1045 lapidado	19
04	Aço ABNT 1045 lapidado e nitretado	9
05	Aço ABNT 1045 polido	10
06	Aço inoxidável SAE 316 faceado (torno)	29
07	Aço inoxidável SAE 316 lapidado	10
08	Aço inoxidável SAE 316 polido	10
09	Aço DIN 100Cr6 retificado	96
10	Aço fundido FC25 (temperado/revenido) torneado	13
11	Aço sinterizado e nitretado (tipo 1)	12
12	Aço sinterizado	10
13	Aço sinterizado e nitretado (tipo 2)	9
14	Alumínio torneado	5
15	Alumínio polido	5
16	Cobre eletrolítico polido	5
17	Resina acrílica lixada manualmente	30
18	Resina acrílica polida quimicamente	30
19	Resina acrílica bruta de cura	30
20	Gesso bruto de cura	30

A avaliação qualitativa das superfícies foi feita por quatro tipos de microscópios (descritos no Apêndice 1). Dois deles pertencentes ao LASUS (Laboratório de Análise

de Superfícies Usinadas): microscópio de ferramentaria NIKON (figura 35), com aumento de 30x (trinta vezes) e microscópio estereoscópico ZEISS SV8 (figura 36), com aumento máximo de 64x, equipado com câmara de vídeo CCD, vídeo colorido e máquina fotográfica. Um microscópio de metalografia UNION do Laboratório de Ensaio Metalográficos da UFRN. Por fim, para as imagens de alta resolução foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura (MEV) XL30 do LABMAT (Laboratório de Materiais da UFSC) e selecionados aumentos na faixa de 100x a 800x.



FIGURA 33. Vista geral do rugosímetro PERTHEN S8P.

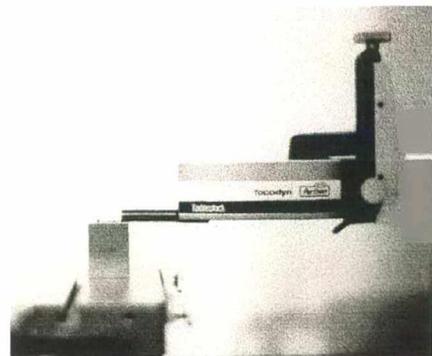
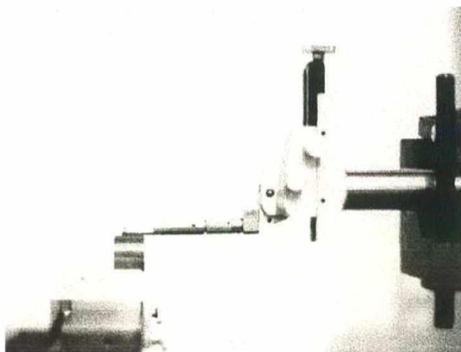


FIGURA 34. A esquerda sonda mecânica RHT 6-50 e a direita sonda óptica Focodyn.

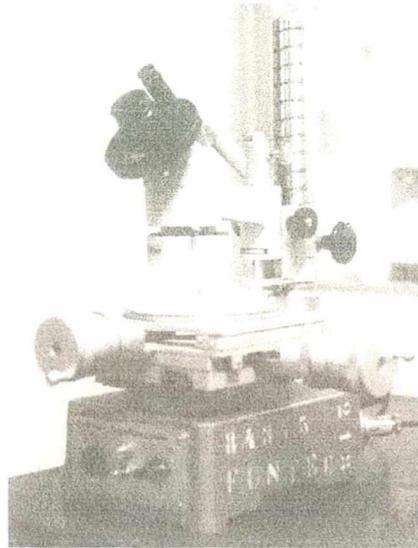


FIGURA 35. Microscópio de ferramentaria NIKON

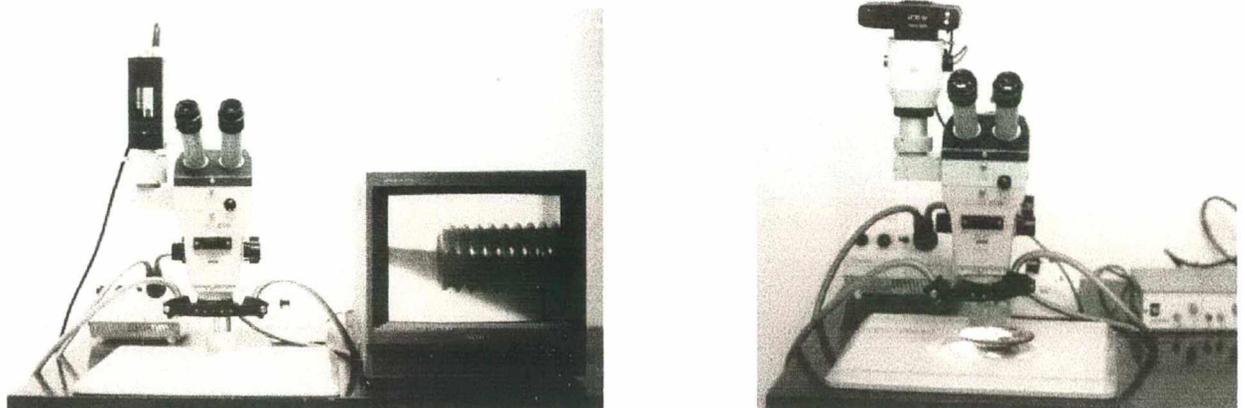


FIGURA 36. Microscópio estereoscópico Zeiss. A direita com câmara CCD e a esquerda com câmara fotográfica.

4.3 Calibração e ajuste das sondas

Neste trabalho seguiu-se o procedimento recomendado pela EAL (European Accredited Laboratories) para calibração de instrumentos tipo estilete (EAL-DM-95/4).

As normas internacionais ISO 5436/85 e ISO/CD 12179, citadas na EAL-DM-95/4, recomendam o uso de dois tipos de padrões na calibração de sondas para medição da textura de superfícies, que sejam equipadas com sensores mecânicos do tipo estilete. Um padrão de amplificação vertical, para garantia da exatidão da componente vertical do perfil captado e um padrão de rugosidade, que reproduz os parâmetros R_a , R_z e S_m possibilitando uma calibração geral do instrumento de medição. Para a calibração da sonda óptica seguiu-se a recomendação do próprio fabricante do equipamento e do grupo responsável pela medição de textura de superfícies do PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt - Alemanha). Segundo ambos, é possível se calibrar uma sonda óptica tipo seguidor com os mesmos padrões e procedimentos utilizados na calibração de uma sonda mecânica com sensor do tipo estilete.

O LASUS conta com três padrões para calibração de estiletos. Dois padrões de rugosidade, PGN1 e PGN3, cada um deles com diferentes ordens de grandeza para os parâmetros R_a , R_z e S_m e um padrão de amplificação vertical, PEN 10-1, dotado de duas ranhuras de calibração com profundidades distintas. Cada um destes padrões possui um certificado de aferição emitido pelo INMETRO e tem rastreabilidade garantida. Detalhes de cada um dos padrões se encontram no Apêndice 1.

Como já foi dito anteriormente, recomenda-se utilizar o mesmo procedimento de calibração para os dois tipos de sondas utilizados neste trabalho. Portanto a seqüência descrita a seguir foi executada tanto para a sonda mecânica quanto para a sonda óptica.

Procede-se inicialmente a calibração da sonda com o padrão de amplificação vertical. Verificando-se um desvio em relação ao estabelecido pelo certificado de aferição, efetua-se um ajuste seguido de nova calibração, até que haja concordância entre a leitura de calibração e o padrão. A correção da sensibilidade da sonda é feita através de uma rotina que faz parte do pacote computacional fornecido com a unidade de processamento de dados do rugosímetro.

Após o ajuste do ganho passa-se para a calibração com os padrões de rugosidade, onde verifica-se a reprodutibilidade do perfil do padrão. Na figura 37 é apresentado um protocolo de medição para o padrão PEN 10-1 medido com a sonda RHT 6-50, na figura 38 é apresentado um protocolo de medição para o padrão PGN3 medido com a mesma sonda e na figura 39 é apresentada a tela principal do programa para ajuste do ganho das sondas.

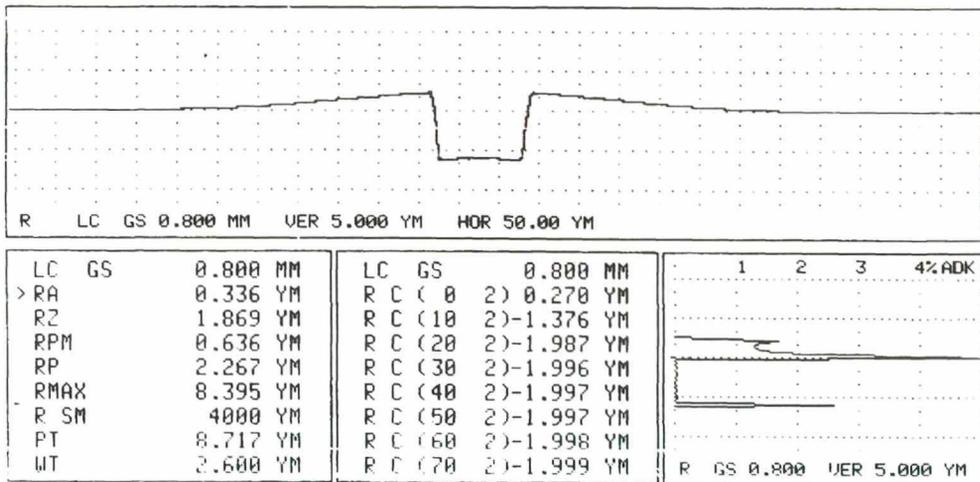


FIGURA 37. Protocolo de medição do padrão PEN 10-1 com sonda RHT 6-50.

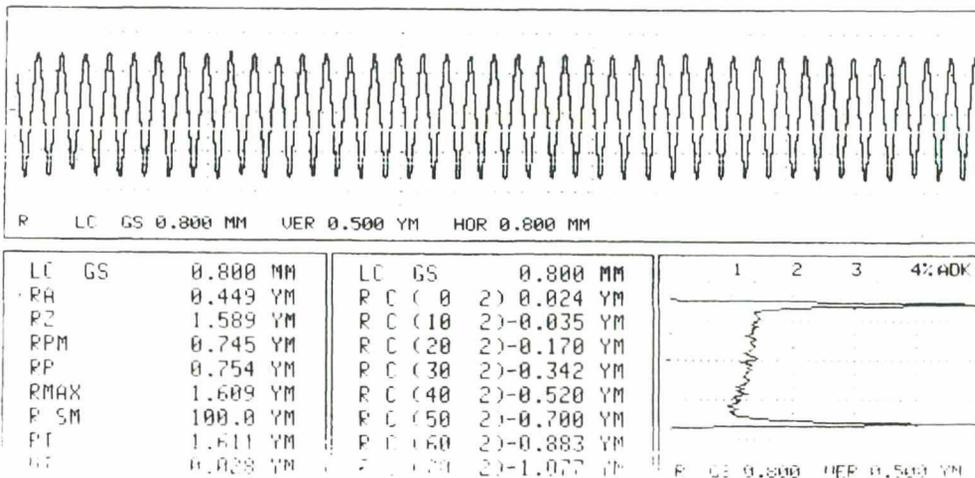


FIGURA 38. Protocolo de medição do padrão PGN 3 com sonda RHT 6-50.

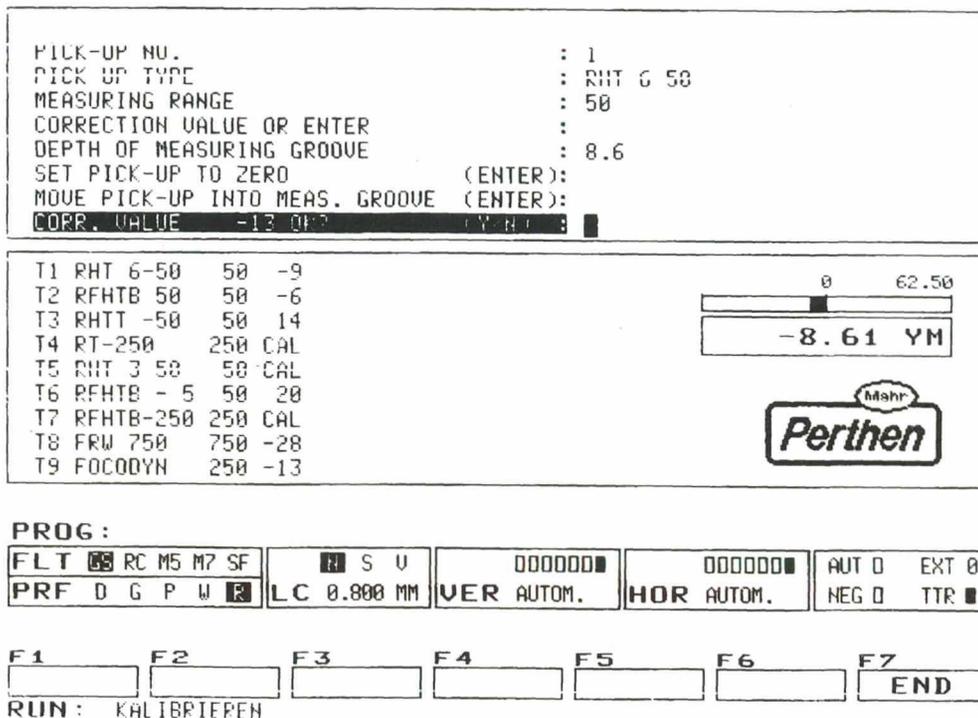


FIGURA 39. Tela do programa de ajuste de ganho das sondas.

Não existe uma norma específica regulamentando a frequência de calibração das sondas para medição da textura de superfícies. Optou-se por calibrar e, se necessário, ajustar as sondas com o padrão de profundidade no início da medição de cada novo tipo de CP e verificar o desempenho das sondas com os padrões de rugosidade com uma frequência mínima semanal, procedendo ajuste somente se necessário.

Também foi feita uma avaliação sistemática da integridade da ponta do sensor mecânico. Para tal utilizou-se um gabarito de forma e um dispositivo especial (Apêndice 1), o qual permite reproduzir a ponta do sensor em um protocolo gráfico. Faz-se a avaliação por comparação direta entre o resultado do protocolo gráfico e o gabarito de forma, sendo que neste caso o protocolo gráfico deve ser impresso em uma escala igual a do gabarito (2000:1). Sempre que se apresentava a necessidade de

se ajustar a sonda, simultaneamente se avaliava a ponta do sensor mecânico (estilete). Na figura 40 são apresentados um protocolo gráfico com a ponta do sensor da sonda RHT 6-50 e uma reprodução do gabarito de raios. Este protocolo gráfico foi obtido após o término da coleta de dados. Nesta figura pode-se observar que a ponta do sensor mecânico (estilete) não sofreu dano que comprometesse a análise dos dados obtidos.

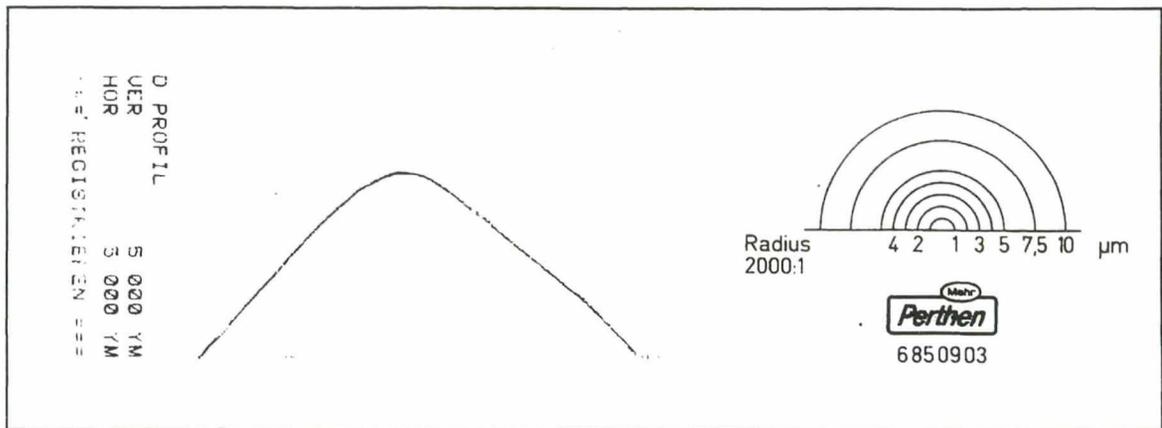


FIGURA 40. Reprodução da ponta do estilete da sonda RHT 6-50 e gabarito de raios.

4.4 Procedimentos de medição

Neste item será apresentada a metodologia de medição da textura de superfícies citada como um dos objetivos do trabalho (Capítulo 2) e a aplicação desta metodologia ao caso específico dos CP utilizados na parte experimental da pesquisa.

4.4.1 Local de medição

Em princípio, a definição da localização da região de um componente para medição da textura da superfície é tarefa simples. Independentemente do objetivo da

medição, seja para controlar o cumprimento de especificações de projeto, ou monitorar um processo de usinagem, ou ainda avaliar a influência da textura da superfície no desempenho funcional, o senso comum indica que qualquer porção da superfície em estudo é passível de ser medida. Mas alguns fatores devem ser levados em consideração.

Já foi dito no item 3.5.3 que a ponta do sensor da sonda mecânica exerce uma força sobre a superfície medida. Embora esta força seja de pouca intensidade, na faixa de 0,8mN a 1,2mN para o sensor da sonda RHT 6-50, a pressão resultante na região de contato entre o sensor e a superfície não é desprezível, pois a área de contato é muito pequena. Em superfícies de materiais macios a ação do sensor pode resultar em uma sulcagem profunda. O patim de apoio da sonda mecânica também pode causar danos. Ele suporta parte do peso da sonda apoiando-se sobre a superfície e a força resultante é da ordem de 0,5N (DIN4772, 1979). Na medição da textura de superfícies de materiais macios, pode-se notar marcas semelhantes a de desgaste abrasivo na região onde o patim deslizou (WHITEHOUSE, 1994a).

Os efeitos da passagem do patim e do sensor de uma sonda mecânica sobre a superfície devem ser levados em conta na seleção da região para a medição. Quando não houver dados suficientes a respeito da dureza da superfície é recomendável que se faça a medição em regiões não funcionais. Em casos extremos, sem opções de localização para uma medição isenta de danos, devem ser utilizadas técnicas especiais, tais como a modelagem da superfície com resinas epóxi ou o endurecimento localizado da superfície por super-resfriamento (STOUT, 1997).

Outro fator importante na determinação do local de medição é a observação da existência de falhas superficiais localizadas. As falhas de uma superfície não são

representativas do perfil geral e podem levar a resultados que não correspondam a superfície real.

Nos CP medidos nesta pesquisa não foram tomados cuidados especiais quanto a possibilidade de danos às superfícies, uma vez a análise da extensão destes danos faz parte do trabalho. Porém, a cada medição foi feita uma análise do perfil de rugosidade resultante, de modo a não serem computados dados que não caracterizassem de fato a superfície, a exemplo de falhas ou deposição de partículas de sujeira. De modo geral, os locais de medição foram distribuídos uniformemente ao longo da superfície de cada CP. No caso dos CP que faziam parte de trabalhos cooperativos com outros grupos de pesquisa, haviam regiões específicas de interesse. Nestes casos as medições se limitaram a estas regiões.

4.4.2 Direção de medição

Para definir a direção de medição da textura deve-se levar em conta a geometria da superfície (plana, cilíndrica, ou outra forma qualquer), a presença ou não de sulcos bem definidas de usinagem e o tipo de desvio que se deseja avaliar.

Superfícies planas isotrópicas não possuem direção preferencial de medição, porém deve ser evitada a ocorrência de cruzamento das trajetórias de medição com a conseqüente sobreposição de possíveis riscos causados pelo sensor mecânico. Nas superfícies planas anisotrópicas as medições devem ser feitas segundo a direção de maior valor para R_a . No caso de se desejar dados relacionados especificamente com os desvios de 4ª ordem (rugosidade de processo) é necessário se medir a textura da superfície na mesma direção dos sulcos de usinagem.

As superfícies cilíndricas usinadas normalmente possuem sulcos circulares perpendiculares às geratrizes do cilindro. Portanto, devem ser medidas na direção axial e tomando-se as devidas precauções para que o sensor se mantenha sempre sobre uma única geratriz. Deste modo, evita-se a inclusão de desvios com características próprias de desvios de forma de primeira ordem, neste caso um desvio de retilidade. Quando se desejar avaliar em detalhes os desvios de 4ª ordem, é necessário se efetuar a medição em uma direção perpendicular à das geratrizes do cilindro. Utilizam-se neste caso dispositivos especiais de medição.

Neste trabalho optou-se por utilizar a recomendação padrão: medir a textura das superfícies anisotrópicas sempre segundo a direção que resultasse no maior valor para R_a . No caso das superfícies isotrópicas, evitou-se o cruzamento entre as trajetórias de medição executadas pelo sensor mecânico (estilete).

4.4.3 Número de medições

No item 3.4.4 foi proposto que a determinação do tamanho da amostra deve se basear no tipo de distribuição de frequência que os parâmetros de textura de superfície apresentarem na medição. Portanto, é necessário se fazer um experimento prévio para se determinar qual é a distribuição resultante para um determinado parâmetro de textura, medido em um determinado tipo de superfície. Quando o número de parâmetros a serem processados e os tipos de superfícies estudadas forem pequenos, este procedimento é plenamente exequível e desejável. Porém, neste trabalho foram processados dezesseis tipos de parâmetros em vinte superfícies de texturas distintas. A combinação de parâmetros e tipos de superfícies implicaria em um número inadequado de ensaios prévios, tanto em termos de tempo quanto em termos de

número de CP necessários. Foi preciso se adotar uma metodologia que ao mesmo tempo fosse exeqüível e que fornecesse resultados confiáveis.

Para se definir o número de medições por tipo de CP optou-se por analisar a dispersão dos valores de um parâmetro vertical de rugosidade. Escolheu-se R_a como parâmetro de rugosidade de referência, primeiro por ser um parâmetro universalmente aceito e segundo por representar uma média das ordenadas do perfil. Optou-se por um número mínimo de cinco medições para cada CP. Caso o desvio padrão das cinco medidas resultantes se mantivesse inferior a 10% do valor médio de R_a , conservava-se como padrão cinco medições. Caso contrário, se acrescentavam mais cinco medições e se repetia o procedimento, até que se chegasse ao limite adotado. Na grande maioria dos casos foi aceitável efetuar dez ou menos medições por CP.

4.4.4 Seleção de λ_c e do tipo de filtro

Para a seleção do cut-off, λ_c , se faz necessária uma medição prévia de R_a ou de R_z em superfícies isotrópicas (com perfis de rugosidade aperiódicos) e de S_m em superfícies anisotrópicas (com perfis de rugosidade periódicos). O procedimento é simples e está plenamente descrito nas respectivas normas (ABNT 6405/88; DIN 4768/90 e ISO 3274/95), além de fazer parte do manual de operação da maioria dos equipamentos de medição da textura de superfícies.

A maioria dos CP utilizados nos experimentos deste trabalho se adequou a um λ_c igual a 0,8mm. Somente os CP polidos e lapidados foram medidos com um λ_c igual a 0,25mm.

As características dos filtros utilizados na medição da textura de superfícies foram apresentadas no item 3.4.3. De acordo com conteúdo deste item, percebe-se que a seleção do tipo de filtro mais adequado depende do conhecimento prévio do tipo de

textura presente na superfície, ou então da execução de medições prévias seguidas da análise dos gráficos de perfis de rugosidade resultantes.

Em princípio, deve ser evitado o uso de filtros do tipo resistivo-capacitivo, RC, que sofrem distorções de fase e conseqüentemente alteram a forma gráfica dos perfis de rugosidade e os valores dos parâmetros de textura. Os rugosímetros modernos conservam a opção de filtros RC para prover a necessidade de se comparar resultados com valores obtidos em equipamentos mais antigos, sem a opção de filtros com correção de fase.

Na grande maioria das superfícies usinadas podem ser utilizados os filtros de fase corrigida, como por exemplo o filtro Gaussiano e o filtro de Linha Média, sem que haja uma distorção suficiente para alterar os valores dos parâmetros de textura e a forma dos perfis de rugosidade. Porém, na medição da textura de superfícies brunidas, as quais possuem como principal característica a presença de vales estreitos e profundos intercalados com regiões platafórmicas (ver figura 29), nem mesmo a utilização de filtros com correção de fase é suficiente para evitar a presença de fortes distorções. O mesmo comportamento ocorre na medição da textura de superfícies de materiais sinterizados, com ou sem posterior usinagem. Para estes casos específicos recomenda-se o uso de filtros especiais, que separam do perfil primário as porções mais profundas dos vales antes de efetuar a filtragem e depois as recolocam no perfil já filtrado. Com isto se consegue eliminar qualquer tipo significativo de distorção de fase (VANHERK e LEUVEN, 1994).

Para se evitar possíveis distorções nos resultados, preferiu-se não utilizar filtros do tipo RC na coleta dos dados experimentais deste trabalho. Porém, foram selecionados dois tipos distintos de filtros para obtenção dos perfis de rugosidade. Para as superfícies usinadas optou-se pelo uso de um filtro de linha média do tipo

Gaussiano, GS, (DIN 4777, 1990 e ISO 11562, 1993). Para as superfícies dos CP sinterizados, com e sem nitretação, optou pelo uso de um filtro especial, SF, (DIN 4776, 1990), que é mais adequado para superfícies de materiais com poros.

4.4.5 Seleção de parâmetros de textura

No item 3.6 foram apresentados e comentados os principais parâmetros de textura de superfícies. Foi também indicada a aplicação de cada um deles com as respectivas vantagens e desvantagens. Informações deste tipo, fornecidas neste trabalho e na bibliografia especializada, devem ser consultadas antes de se especificar ou de se avaliar a textura de uma superfície.

Tanto no estudo do preenchimento de uma dada função por uma superfície técnica, quanto no monitoramento de processos de fabricação através da análise da textura de uma superfície, três questões básicas devem ser respondidas seqüencialmente:

- A textura da superfície tem de fato influência sobre o fenômeno estudado?
- Se a resposta a primeira questão for afirmativa, então qual é a provável relação entre a textura superficial e o fenômeno estudado?
- Uma vez determinada a relação questionada acima, resolve-se a última questão: qual é, ou quais são os parâmetros de textura de superfícies que melhor caracterizam esta possível relação?

Seguindo-se a seqüência de questionamentos proposta acima, a probabilidade de êxito na seleção dos parâmetros de textura para se especificar ou para se avaliar uma superfície será maximizada.

Um dos objetivos da parte experimental deste trabalho foi comparar os resultados de medição da textura de superfícies obtidos com dois tipos de sonda. Neste caso, a

metodologia utilizada na seleção dos parâmetros de textura a serem processados pôde divergir do exposto anteriormente. Para que se pudesse ter uma gama razoável de parâmetros para comparação do comportamento das sondas mecânica e óptica, optou-se pelo processamento de dezesseis parâmetros de textura para cada medição, todos descritos no Apêndice 2. Foram selecionados oito parâmetros verticais (R_a , R_z , R_{pm} , R_p , R_{max} , R_t , P_t e W_t), três parâmetros horizontais (S_m , P_c e HSC) e cinco parâmetros de forma (I_r , λ_a , Δ_a , t_p e S_k). Em algumas medições, além do processamento dos parâmetros também se optou pela geração das curvas de densidade de amplitude (ADK) e de taxa de suporte do perfil (TPK).

A unidade de processamento de dados do rugosímetro possui um programa padrão de medição com possibilidade de entrada de até oito parâmetros e das principais condições de medição, sendo que este programa pode ser replicado até dez vezes. Foram então elaborados dois programas de medição. O *Programa 1* para o processamento dos parâmetros verticais e o *Programa 2* para o processamento dos parâmetros horizontais e dos parâmetros de forma. Na figura 41 são mostradas as telas principais destes dois programas.

O primeiro tratamento matemático dos dados coletados em cada um dos programas pôde ser feito com uma estatística básica disponível no módulo estatístico do próprio equipamento. Assim puderam ser obtidos os dois principais tipos de protocolos de medição utilizados neste trabalho. O primeiro tipo (figura 42) com os valores isolados de cada parâmetro de textura, a curva de densidade de amplitudes do perfil ou a curva de taxa de suporte do perfil e uma representação gráfica do perfil, que poderia ser P, R ou W. O segundo tipo foi um protocolo estatístico (figura 43) com a média, o desvio padrão, a amplitude e os valores máximo e mínimo para cada parâmetro de textura processado a partir de um conjunto de medições feitas por CP.

PROGRAM NAME : PARAMETROS VERTICAIS				
MEAS. REC.			TEXT	
1 RA			T1 RHT 6-50 50 1	
2 RZ			INOX EDM	
3 RPH			MEDICAO PARALELA	
4 RP			LC GS	
5 RMAX			ALPHAN. INPUT	
6 RT			N 80	
7 PT			CREF 2.0 %	
8 WT			TPI 10.0 %	
			CC -6.000 YM	
			D0 1.000 YM	
PROFIL				
R ADK				
CL				
TRACING COND.		*** NOTES ***	F1/F2 (STD)	
LT 5.600 MM		PROGRAM: <KEY>	FU 8 = RPI	
UB 12.50 YM		DELETE: <F4> <KEY>	FU 9 = RZI	
PROG: 1				
FLT <input checked="" type="checkbox"/> RC M5 M7 SF	<input checked="" type="checkbox"/> S U	000000	000000	AUT 0 EXT 0
PRF 0 G P W <input checked="" type="checkbox"/>	LC 0.800 MM	VER AUTOM.	HOR AUTOM.	NEG 0 TTR <input checked="" type="checkbox"/>

PROGRAM NAME : PARAMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA				
MEAS. REC.			TEXT	
1 SM			T1 RHT 6-50 50 -9	
2 T1			ENGR. SINT. NIT.	
3 S			PECA	
4 LR			FACE SUPERIOR	
5 LA			ALPHAN. INPUT	
6 DA			N 6	
7 TP			CREF 2.0 %	
8 SK			TPI 10.0 %	
			CC -6.000 YM	
			D0 1.000 YM	
R PROFIL				
R ADK				
CL				
TRACING COND.		*** NOTES ***	F1/F2 (STD)	
LT 5.600 MM		PROGRAM: <KEY>	FU 8 = RPI	
UB 12.50 YM		DELETE: <F4> <KEY>	FU 9 = RZI	
PROG: 2				
FLT <input checked="" type="checkbox"/> RC M5 M7 SF	<input checked="" type="checkbox"/> S U	000000	000000	AUT 0 EXT 0
PRF 0 G P W <input checked="" type="checkbox"/>	LC 0.800 MM	VER AUTOM.	HOR AUTOM.	NEG 0 TTR <input checked="" type="checkbox"/>

FIGURA 41. Parte superior: tela do Programa 1, para os parâmetros verticais. Parte inferior: tela do Programa 2, para os parâmetros horizontais e de forma.

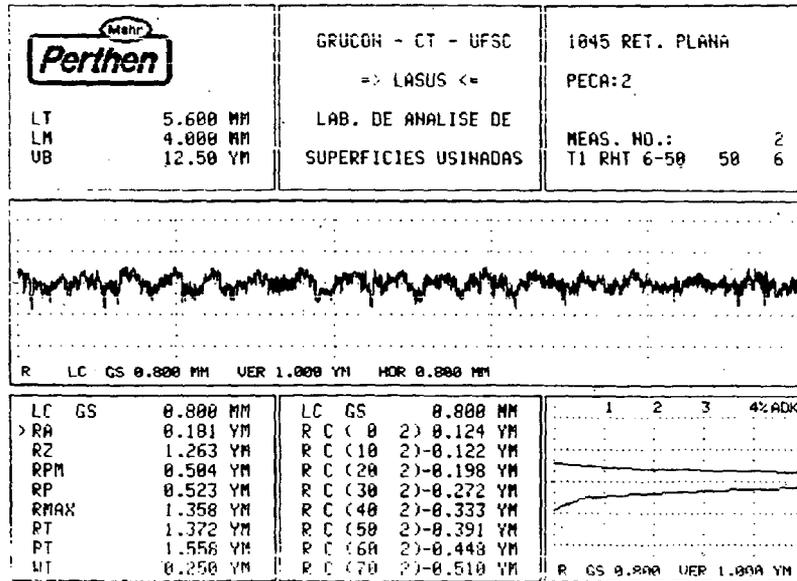


FIGURA 42. Exemplo de protocolo de medição, com apresentação de parâmetros verticais, curva ADK e perfil de rugosidade.

		GRUPOH - CT - UFSC => LASUS <=		1045 RET. PLANA PECA:3	
LT	5.600 MM	LAB. DE ANALISE DE		MEAS. NO.: 9	
LM	4.000 MM	SUPERFICIES USINADAS		T1 RHT 6-50 50 6	
UB	12.50 YM				

PARAMETER			STATISTICS N = 9							
	LC	GS	0.800 MM	M	S	P	MAX	MIN	RM	TM
1	RA	YM		0.147	0.012	0.037	0.163	0.126		
2	RZ	YM		1.454	0.081	0.294	1.615	1.321		
3	RPM	YM		0.412	0.040	0.107	0.458	0.351		
4	RP	YM		0.503	0.007	0.259	0.632	0.373		
5	RMAX	YM		1.439	0.148	0.534	2.102	1.658		
6	RT	YM		2.018	0.143	0.496	2.192	1.696		
7	PT	YM		2.093	0.142	0.500	2.279	1.778		
8	UT	YM		0.200	0.056	0.175	0.297	0.118		

FIGURA 43. Exemplo de protocolo estatístico para parâmetros verticais com nove medições por CP: valor médio (X), desvio padrão (S), valor máximo (MAX), valor mínimo (MIN) e amplitude (R).

4.5 Programa de comunicação rugosímetro-microcomputador

Nesta fase do trabalho objetivou-se primeiramente desenvolver um programa que permitisse um acesso livre aos dados brutos de medição (conjunto de pares de pontos xy que descrevem a topografia do perfil medido em relação a um perfil de referência), tornando possível não só reproduzir todos os cálculos efetuados pelo processador interno do equipamento, mas principalmente dando liberdade para que se fizesse qualquer tipo de processamento matemático/estatístico desejado. Isto abriria a oportunidade para numa etapa posterior se desenvolver rotinas matemáticas com novas formas de tratamento dos sinais, como por exemplo diferentes opções de filtragem, cálculo de novos parâmetros e de combinações de parâmetros.

4.5.1 Equipamentos e métodos

Foram utilizados o rugosímetro Perthen S8P, com os devidos acessórios e um microcomputador padrão IBM PC486. Como meio físico de comunicação foram aproveitadas as portas seriais padrão RS232, existentes no microcomputador e no rugosímetro.

O passo inicial foi verificar a funcionalidade da comunicação via porta serial RS232. A primeira tentativa foi feita com o programa de comunicação *Terminal* (pacote *Windows*), seguindo as respectivas instruções contidas no manual do rugosímetro: 7 bits de dados, um bit de paridade par e um *stop bit*. A comunicação foi efetuada, porém o número de pontos lidos a cada medição (8064 pares de coordenadas xy) é muito superior à capacidade de processamento do programa *Terminal* (aproximadamente 800 pares de coordenadas xy). Partiu-se então para o desenvolvimento de um

programa específico, optando-se pela linguagem de programação C++ em ambiente *Windows*.

A análise da textura se baseia fortemente em dados gráficos, que fornecem informações qualitativas do estado da superfície (WHITEHOUSE, 1994a). Partindo-se desta premissa resolveu-se utilizar um interfaceamento em ambiente *Windows*. As possibilidades encontradas neste tipo de programação facilitam muito a obtenção de figuras com boa resolução gráfica (HOLZNER, 1994). Também foi considerada a necessidade de se ter um programa de utilização prática e, baseado no que se tem de mais moderno nos programas comerciais, novamente o interfaceamento em ambiente *Windows* mostrou ser o mais viável para uma futura aplicação industrial. O ambiente *Windows* também permite a fácil geração de telas de ajuda integradas, que facilitam a utilização e o aprendizado dos usuários, inclusive daqueles usuários pouco familiarizados com a análise de superfícies, fornecendo em tempo real explicações sobre parâmetros e propriedades de determinados perfis.

Optou-se pela linguagem de programação C++ pela sua grande potencialidade funcional e facilidade de programação no ambiente *Windows*, além dos destacados recursos gráficos que oferece (HOLZNER, 1994). A possibilidade de se implementar o programa principal de comunicação com a simples adição de rotinas matemáticas e estatísticas, tornando-o um programa completo de coleta e tratamento de dados, foi outro fator decisivo na opção pela linguagem C++.

O programa básico de comunicação, desenvolvido nesta primeira etapa, somente recebe os dados enviados pela unidade de processamento do rugosímetro. O rugosímetro S8P permite o envio de quatro tipos diferentes de conjuntos de dados pela porta serial RS232. Estes conjuntos de dados são pares de pontos (coordenadas xy) correspondendo às coordenadas do perfil medido em relação a uma superfície de

referência. Cada conjunto de dados se refere a um tipo específico de perfil:

- Perfil D: perfil lido diretamente, contém os dados brutos de medição sem nenhum tipo de filtragem eletrônica ou digital.
- Perfil G: perfil nivelado, correspondente ao perfil D com filtragem dos desvios de inclinação e de desnivelamento em relação à superfície de referência.
- Perfil P: perfil primário, correspondendo ao perfil D com os percursos de entrada (l_i) e de saída (l_v) removidos.
- Perfil R: perfil de rugosidade, correspondendo ao perfil P submetido a um filtro passa-alta.
- Perfil W: perfil de ondulação, correspondendo ao perfil P submetido a um filtro passa-baixa.

De posse dos perfis P, R e W, podem ser feitos todos os cálculos para determinação dos parâmetros normalizados ou para outro qualquer tratamento matemático ou estatístico de interesse do usuário.

Para verificar a eficiência da transmissão e armazenamento de dados, partiu-se para a medição de superfícies com vários tipos de textura e subsequente comparação dos dados brutos de medição lidos diretamente na tela do S8P com os dados armazenados no microcomputador. Verificou-se que houve total concordância entre os dados de uma e de outra fonte, dando segurança para o prosseguimento do desenvolvimento do software.

O passo seguinte foi o desenvolvimento de rotinas para o cálculo de alguns parâmetros verticais: R_a , R_q , R_{max} e P_t . Uma vez prontas as rotinas de cálculo estas foram adicionadas ao programa básico e feita, como no caso da leitura de dados, uma conferência, confrontando os resultados obtidos com o programa desenvolvido com os resultados lidos diretamente na tela do S8P. Mais uma vez houve concordância total de

resultados.

Na figura 44 é apresentado um esquema simplificado da estrutura do programa básico com a rotina de cálculo. O bloco de transferência de dados (esquerda) se encontra totalmente desenvolvido. O bloco de cálculos (central) se encontra em desenvolvimento.

Na figura 45 é apresentado uma das telas de entrada do programa de transferência de dados.

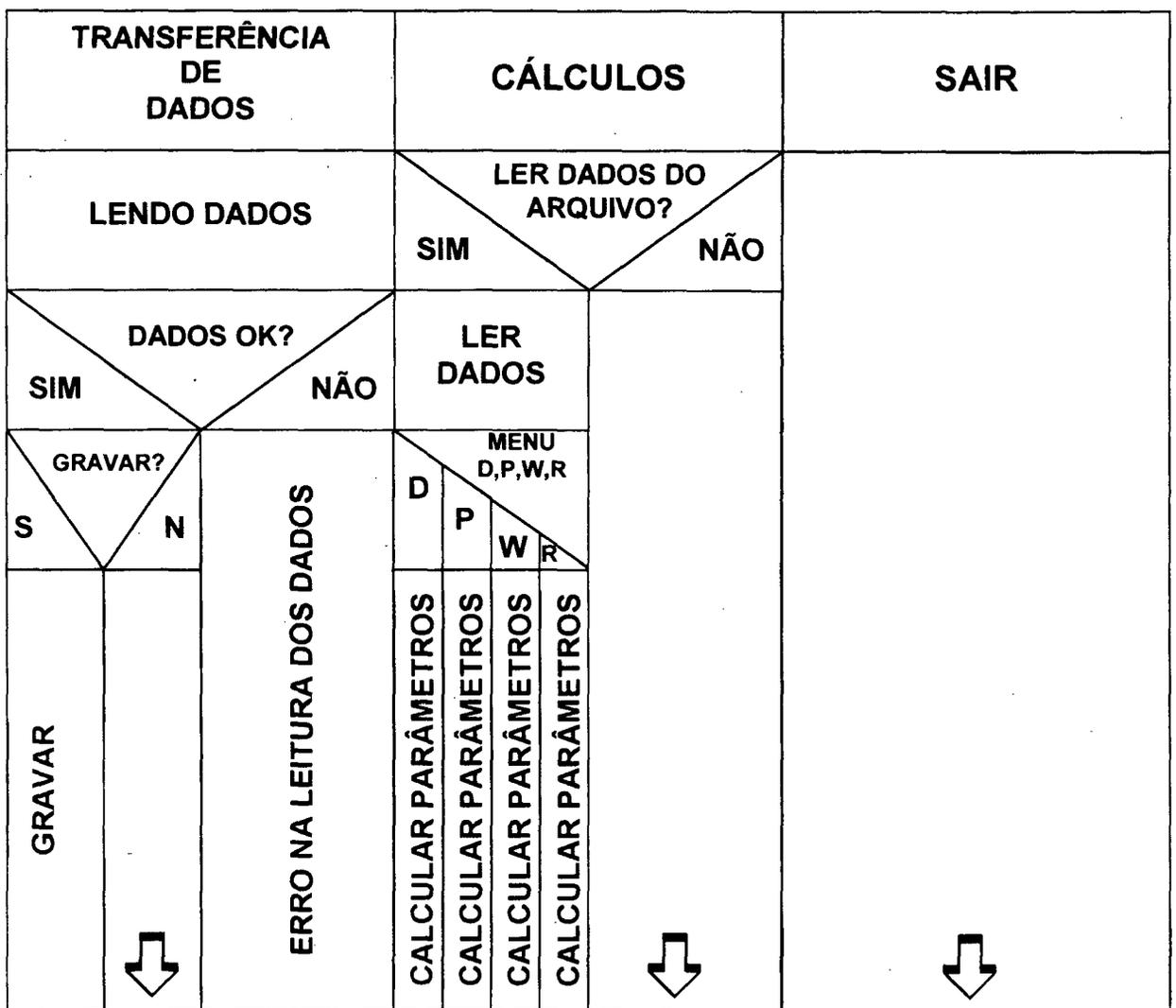


FIGURA 44. Rotina do programa de comunicação rugosímetro-computador

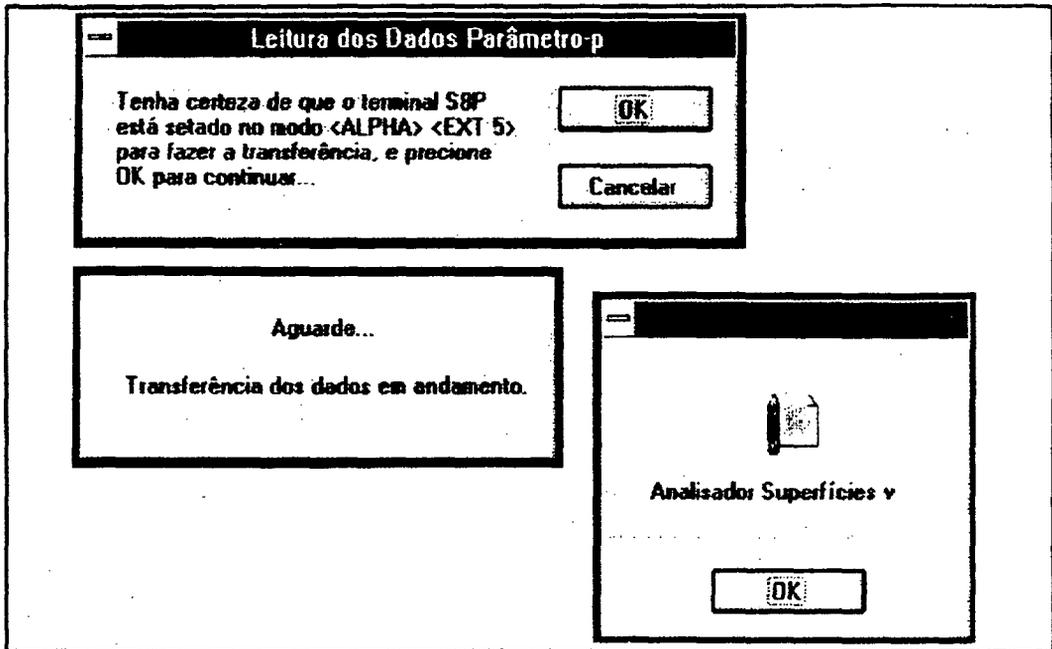


FIGURA 45. Tela de transferência de dados.

4.5.2 Comentários

O desenvolvimento de um programa computacional aplicado à comunicação entre um rugosímetro e um microcomputador, que seja de arquitetura aberta e que permita livre acesso aos dados brutos de medição, é o primeiro passo no desenvolvimento de programas mais flexíveis e mais poderosos para a avaliação quantitativa da textura de superfícies. Um dos objetivos deste trabalho foi mostrar a viabilidade e os meios para se desenvolver este tipo de programa, seja para aplicação científica, seja para aplicação tecnológica.

CAPÍTULO 5

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

No levantamento experimental deste trabalho foram produzidos mais de quatro mil protocolos de medição, os quais forneceram um grande número de dados numéricos e gráficos. Embora a maioria dos dados gráficos sejam perfis de rugosidade, também foram gerados alguns perfis primários e de ondulação e algumas representações tridimensionais das superfícies medidas. A inserção de todos os dados coletados no corpo principal do manuscrito da tese não contribuiria para um melhor entendimento dos resultados obtidos. Portanto, optou-se por colocar os dados mais significativos no corpo da tese e uma parte dos dados restantes na forma de apêndice (Apêndice 5).

Deve ser ressaltado que o fato de não se apresentar todos os dados experimentais obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho, não implica em que eles sejam descartáveis. De fato, parte dos dados obtidos e não utilizados permite a elaboração de outras análises fora do escopo desta tese, portanto eles têm validade técnico-científica.

Neste capítulo serão apresentados e analisados todos os resultados gráficos e numéricos relevantes, que foram obtidos nas medições dos CP com as sondas mecânica e óptica. Também serão apresentadas e analisadas imagens de algumas das superfícies medidas. Uma parte destas imagens foi obtida por microscopia eletrônica e a outra parte por uma câmara acoplada a uma das oculares de um estereomicroscópio. A partir das imagens, serão feitos comentários a respeito da textura particular de cada superfície e será verificada a presença ou não de danos superficiais causados pela passagem do sensor mecânico e do patim de apoio.

Para melhor compreensão a apresentação e análise dos resultados experimentais foi dividida em três partes. Na primeira parte são tratados os protocolos gráficos de rugosidade, logo em seguida são tratadas as imagens por microscopia eletrônica e por esteromicroscopia. As observações e conclusões extraídas do estudo dos perfis de rugosidade e das imagens são utilizadas para auxiliar na análise dos resultados numéricos, parâmetros de textura das superfícies, que são apresentados na terceira parte deste capítulo.

Por fim é feita uma discussão a respeito dos resultados obtidos com o programa de comunicação entre o rugosímetro e um microcomputador.

5.1 Protocolos gráficos de rugosidade

Já foi apresentado e discutido anteriormente o fato de que cada processo de usinagem deixa a superfície trabalhada com uma textura característica e que uma análise apurada de perfis de rugosidade pode revelar muito a respeito do processo gerador dessa superfície. Além disso, pode-se também observar a partir destes perfis as origens geométricas das diferenças entre os valores dos parâmetros de textura medidos com sensores ópticos e com sensores mecânicos.

Neste item serão apresentados e analisados uma série de protocolos gráficos de medição, com os perfis de rugosidade obtidos por apalpação com os dois tipos de sensores, mecânico e óptico. A seqüência de apresentação dos protocolos segue a ordem de grupos de CP listados na tabela 3 do Capítulo 4. Em cada figura são apresentados quatro perfis de rugosidade. Os dois perfis superiores correspondem ao CP medido com a sonda mecânica e os dois perfis inferiores correspondem ao mesmo

CP medido com a sonda óptica. As ampliações verticais utilizadas para os quatro perfis foram idênticas, porém, para se destacar as diferenças entre os resultados com um e outro tipo de instrumento optou-se por apresentar os perfis com duas ampliações horizontais para cada tipo de sonda. Uma delas foi a ampliação padrão do processador interno do equipamento, onde o valor do cut-off é sempre ampliado para 25mm. A outra foi selecionada manualmente, de modo a permitir a maior ampliação horizontal possível simultaneamente às duas sondas. Pode-se, com isto, destacar substancialmente as diferenças entre os perfis obtidos com um e com outro tipo de sonda.

Cada perfil de rugosidade está inserido em um quadro como o da figura 46. Este, por sua vez, possui uma linha inferior que contém dados relativos à medição e à representação gráfica. Nesta linha podem ser lidos:

- Tipo de perfil: sempre representado pela letra R, que corresponde ao perfil de rugosidade. Embora também tenham sido levantados perfis de ondulação (W) e perfis primários (P) neste texto optou-se por apresentar somente os perfis de rugosidade.
- Tipo de filtro utilizado e o valor do cut-off selecionado. Por exemplo, a seqüência: LC GS 0,800 MM, indica que foi utilizado um filtro Gaussiano e que foi selecionado um cut-off igual a 0,8mm.
- Escalas vertical e horizontal de apresentação do perfil. Por exemplo, a seqüência VER 1,000 YM HOR 0,800 MM, indica que a altura e a largura de cada célula do reticulado onde se insere o perfil de rugosidade, correspondem respectivamente a 1 μ m e a 0,8mm.

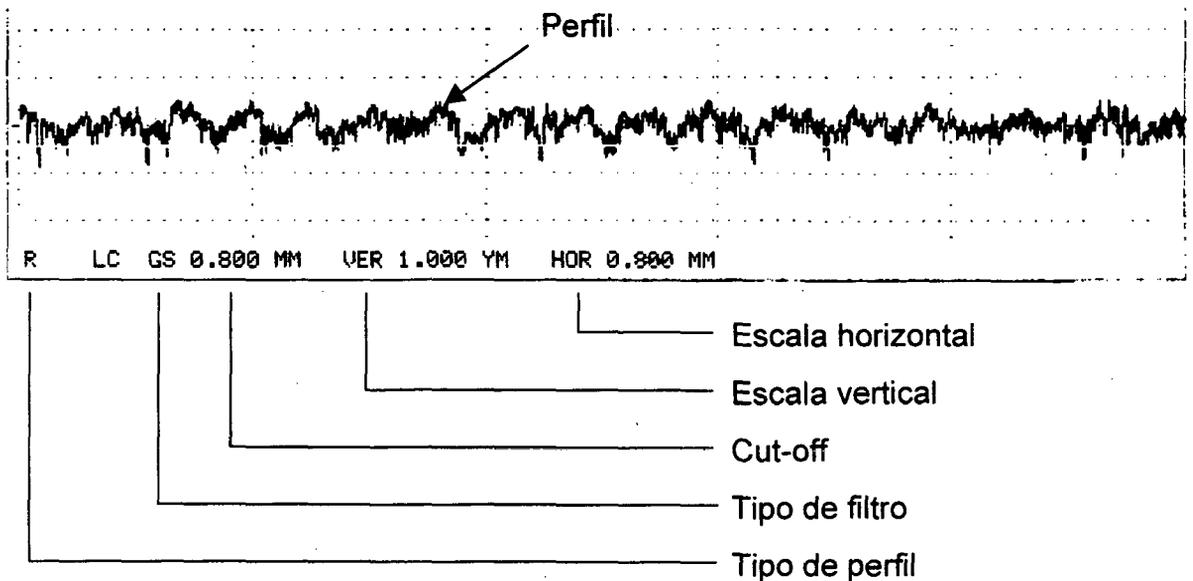


FIGURA 46. Exemplo de perfil de rugosidade apresentado em protocolo de medição.

Nas figuras 47 a 66 também são apresentados os valores médios de R_a (μm) e P_c (picos/cm) para os perfis lidos com o sensor mecânico e com o sensor óptico.

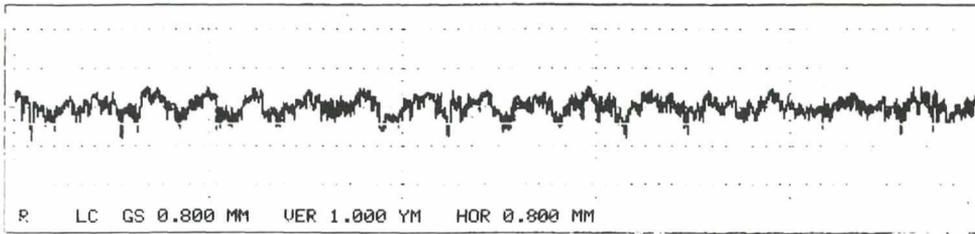
Antes de se analisar os perfis de rugosidade é importante se destacar o problema da possível presença de componentes geométricos (picos e vales) de origem puramente óptica nestes perfis. Foi afirmado no Capítulo 3, que existe a possibilidade de surgirem componentes geométricos num perfil de rugosidade obtido com uma sonda óptica (SO) que são inexistentes na superfície real. Estes componentes se originam das distorções que o feixe óptico (sensor óptico) pode sofrer em função do tipo de textura da superfície, da presença de partículas sólidas e de líquidos na superfície, de vibrações externas ou da insuficiente refletância da superfície. Foram tomadas duas precauções básicas na preparação dos CP antes da medição com a SO. Em primeiro lugar efetuou-se a limpeza mecânica das superfícies de cada CP com estopa especial embebida em benzina, garantindo-se a suficiente isenção de poeiras, fibras de tecidos, graxas, líquidos ou quaisquer outros tipos de partículas, que pudessem ser interpretadas como elementos da textura da superfície. Em segundo lugar, grande

indução de vibrações mais intensas tais como máquinas ligadas ou movimentos de carga. Além dos cuidados nos procedimentos de medição, vale salientar que todas as superfícies selecionadas se encontravam dentro da faixa de refletância especificada pelo fabricante da SO e que as texturas estudadas não possuíam elementos microgeométricos indutores de distorções do feixe óptico (gumes vivos próximos a vales muito profundos, elevações ou depressões esféricas e inclinações com ângulos superiores a 10 graus). Como resultado das precauções tomadas e dos tipos de texturas analisadas, não se observou nos perfis de rugosidade obtidos com a SO elementos destacadamente estranhos à própria natureza da textura da superfície dos CP. A partir desta observação e levando-se em consideração apenas os aspectos ópticos, pode-se afirmar com segurança, que as diferenças entre os valores dos parâmetros de textura obtidos com a SO e com a SM se devem majoritariamente a maior capacidade de perfilamento dos vales mais estreitos e profundos que o sensor óptico (feixe óptico) tem em relação ao sensor mecânico (estilete). Portanto, serão consideradas como desprezíveis as possíveis distorções de origem óptica. A maior capacidade do feixe óptico em perfilar os vales mais estreitos e profundos presentes na textura superficial será denominada doravante de *maior resolução do feixe óptico*.

Nas figuras 47 a 66 observa-se que os perfis de rugosidade obtidos a partir da sonda óptica (SO) sempre possuem amplitudes (dimensões na direção vertical) maiores do que aqueles obtidos com a sonda mecânica (SM). Por outro lado, os espaçamentos (distâncias entre os elementos do perfil) são menores, o que pode ser observado em detalhes nos protocolos com escala horizontal expandida. Como consequência, espera-se que os resultados obtidos para todos os parâmetros verticais sejam maiores para a SO do que para a SM, assim como para alguns parâmetros de forma tais como a contagem de picos P_c e o comprimento retificado do perfil L_0 . Já para

outros parâmetros horizontais como a distância média entre as irregularidades do perfil S_m , e a distância média dos picos locais S , esperam-se resultados menores para as leituras com a SO.

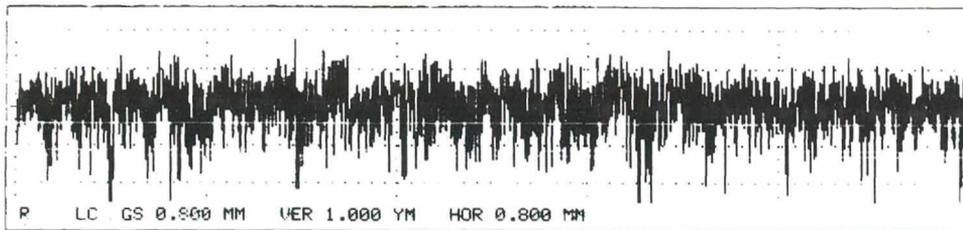
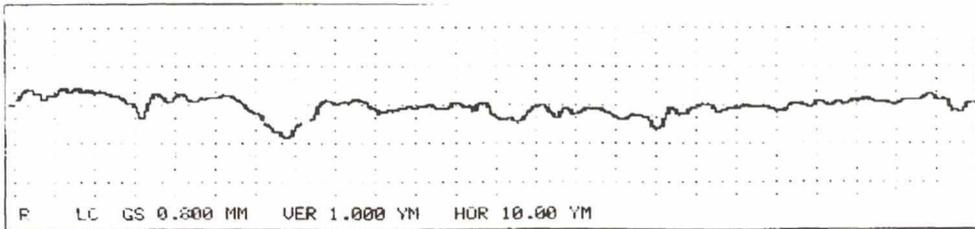
Os perfis de rugosidade dos CP oriundos de processos convencionais de usinagem com ferramentas de geometria definida (torneamento cilíndrico externo e torneamento de faceamento) obtidos com a SO se aproximaram mais dos respectivos perfis obtidos com a SM (ver as figuras 52 e 56) que os perfis de rugosidade dos CP obtidos por usinagem com geometria não definida (retificados, lapidados e polidos, ver as figuras 47, 49, 51, 53, 54, 61 e 62), os quais também apresentaram as maiores diferenças. Para os primeiros tipos de CP preponderam os desvios de forma de terceira ordem (originados pela geometria da quina da ferramenta, pelo avanço e pela profundidade de corte selecionados), que para estes CP são de magnitude muito superior aos de quarta ordem em diante. Nestes casos a maior resolução do feixe óptico deixa de ser um fator preponderante e os resultados com ambos tipos de sonda se aproximam. No caso dos CP obtidos por processos com ferramentas de geometria não definida ocorre fenômeno inverso. Estas superfícies são finamente acabadas, portanto os desvios de terceira ordem estão muito mais próximos dos de quarta ordem em diante. A mesma explicação pode ser dada na comparação entre os perfis de rugosidade do CP em alumínio com torneamento de precisão (cilindro de fotocopiadora, figura 60). Nestes casos a maior resolução do feixe óptico passa ser um fator preponderante. Observando-se os perfis pode-se afirmar que: com o aumento do grau de acabamento de uma superfície usinada existe uma tendência para o aumento das diferenças entre os resultados obtidos mecanicamente e opticamente.



Ra = 0,169 μm

Pc = 22 μm

SENSOR MECÂNICO



Ra = 0,442 μm

Pc = 722 μm

SENSOR ÓPTICO

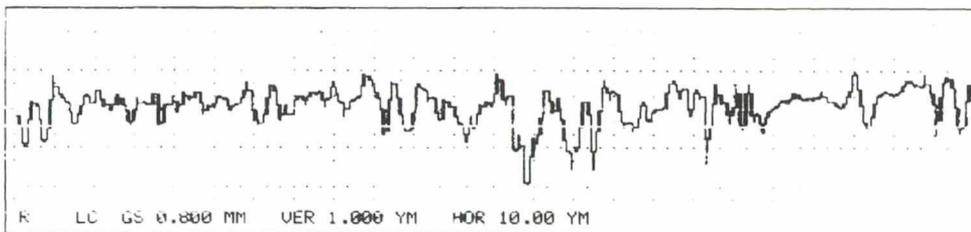
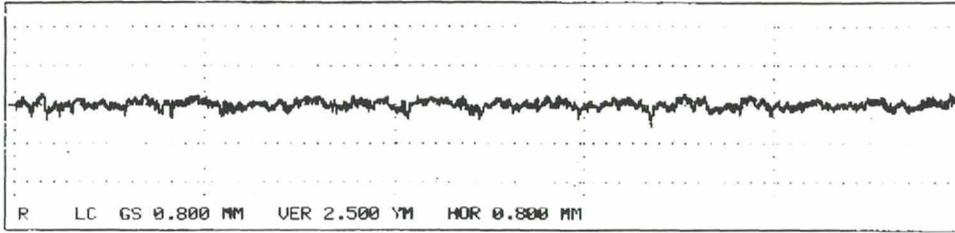


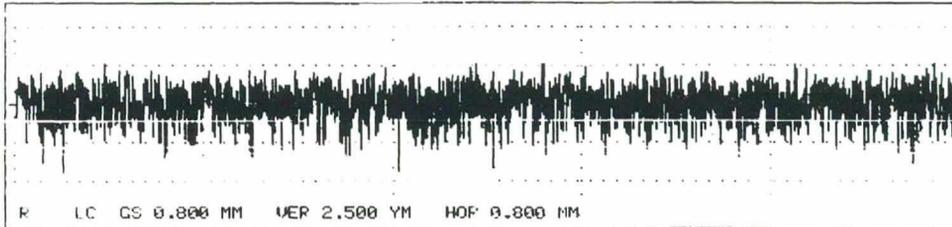
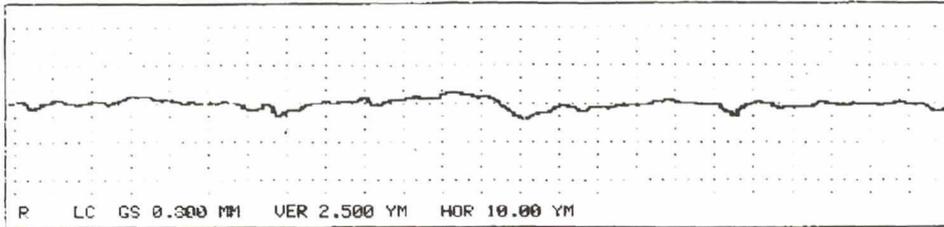
FIGURA 47. Perfis de rugosidade para CP de aço ABNT 1045 retificado.



$R_a = 0,205 \mu\text{m}$

$P_c = 46 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR MECÂNICO



$R_a = 0,715 \mu\text{m}$

$P_c = 894 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR ÓPTICO

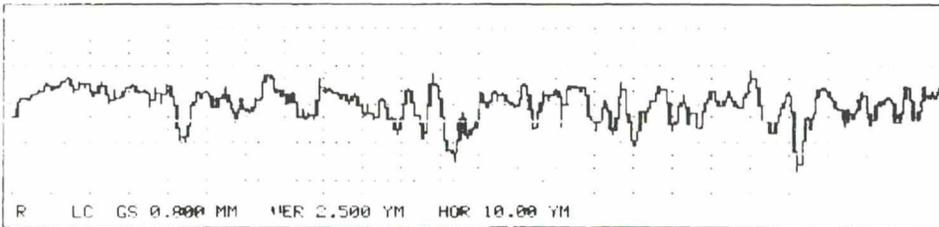
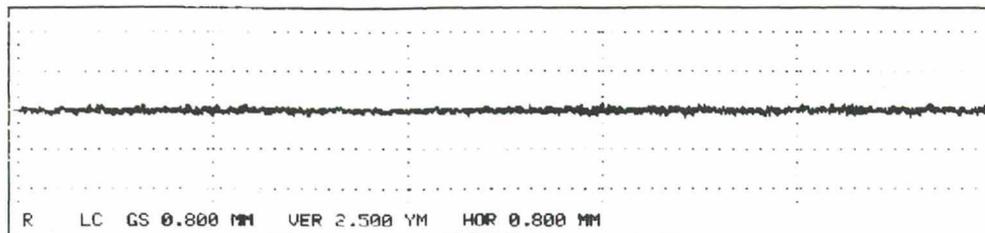


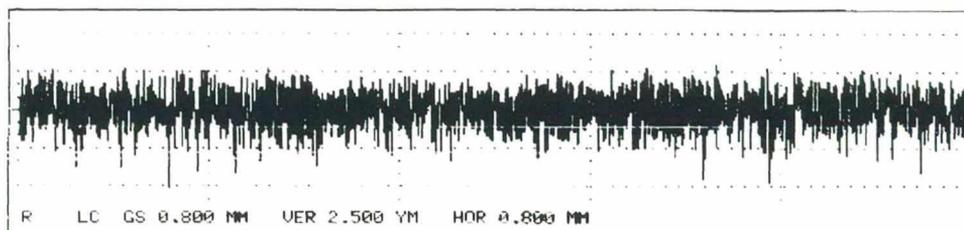
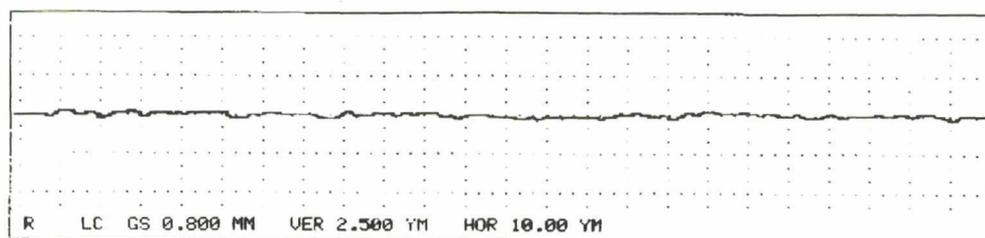
FIGURA 48. Perfis de rugosidade para CP de aço ABNT 1045 retificado e nitretado.



$Ra = 0,095 \mu\text{m}$

$Pc = 17 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR MECÂNICO



$Ra = 0,916 \mu\text{m}$

$Pc = 1121 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR ÓPTICO

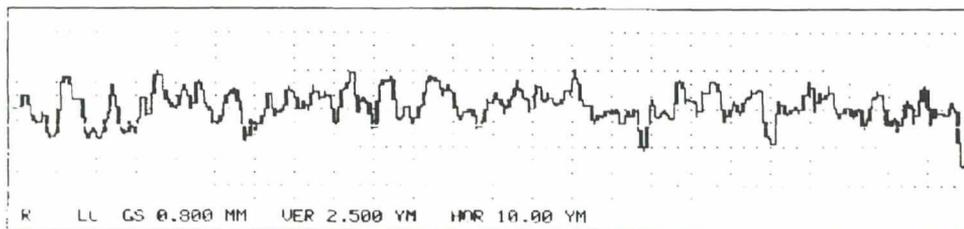
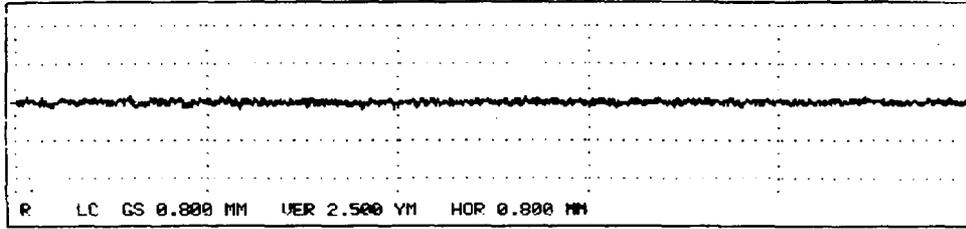


FIGURA 49. Perfis de rugosidade para CP de aço ABNT 1045 lapidado.

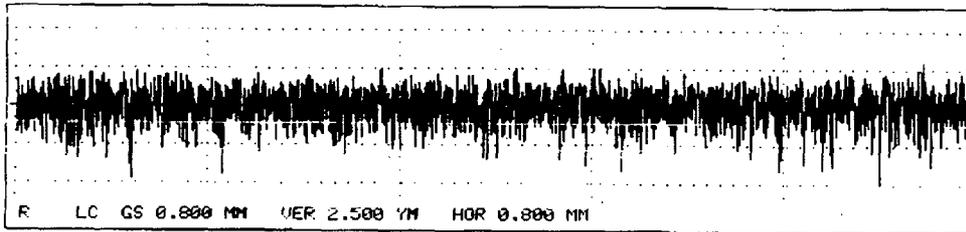
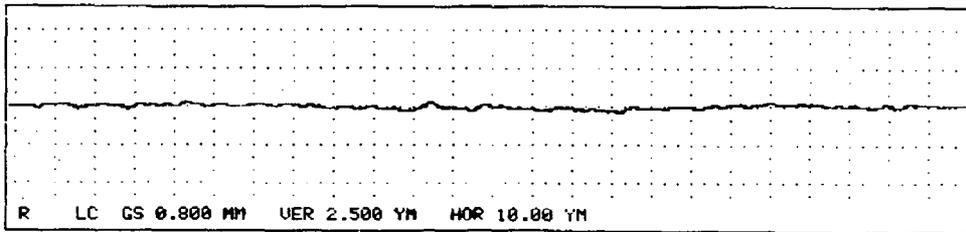
A nitretação das superfícies dos CP usinados e sinterizados levou a resultados distintos. No caso das superfícies finamente acabadas, como a do aço ABNT 1045 lapidado (figura 49), ocorreu uma pequena diminuição entre as diferenças dos resultados obtidos com um e com outro tipo de sonda após a nitretação (figura 50). Neste caso podemos supor que o tamanho dos nitretos depositados sobre a superfície (ver figura 68) aumentou o efeito dos desvios de terceira ordem, diminuindo conseqüentemente as diferenças. No caso dos CP retificados (figura 47) houve um aumento das diferenças após a nitretação (figura 48), neste caso os nitretos depositados sobre a superfície impediram a penetração da ponta do estilete mecânico nos sulcos originais de retificação, levando a um achatamento acentuado do perfil medido com a SM (figura 48), enquanto que o perfil lido opticamente, devido à maior resolução do feixe óptico, sofreu um menor achatamento. Já nos CP sinterizados (figuras 57, 58 e 59) houve muito pouca variação entre os resultados ópticos e mecânicos, muito provavelmente porque a textura superficial do sinterizado é bastante semelhante a de uma superfície nitretada (com aspecto granular), ou seja, tudo se passa como se sobrepusessem camadas de sinterização uma sobre a outra, alterando muito pouco a textura resultante. Também aqui surge a necessidade de estudos com maiores variações de substratos e de condições de nitretação para se chegar a resultados plenamente conclusivos. Porém, é possível afirmar-se que quanto mais finamente acabado for o substrato e maior o tamanho dos nitretos depositados, menores serão as diferenças entre os resultados ópticos e mecânicos obtidos com a superfície nitretada, quando comparadas com as diferenças resultantes da medição da superfície antes da nitretação.



$R_a = 0,113 \mu\text{m}$

$P_c = 37 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR MECÂNICO



$R_a = 0,784 \mu\text{m}$

$P_c = 1045 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR ÓPTICO

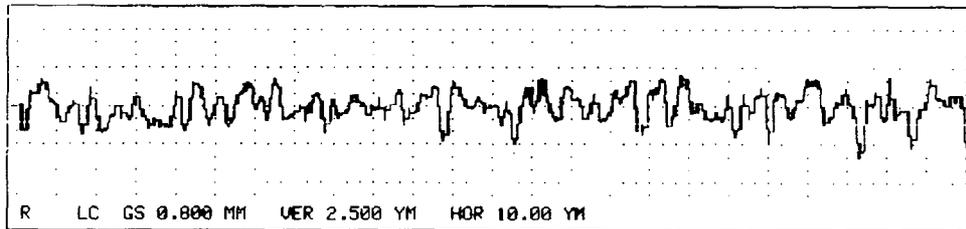
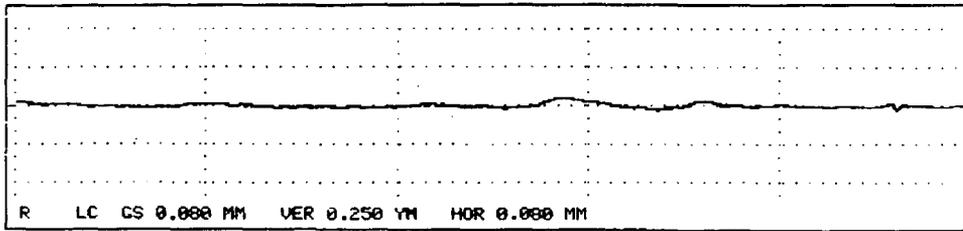


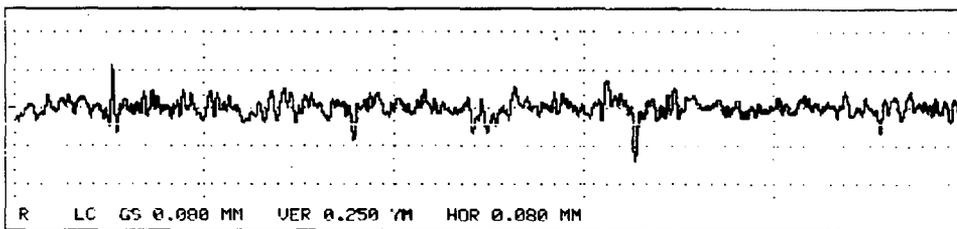
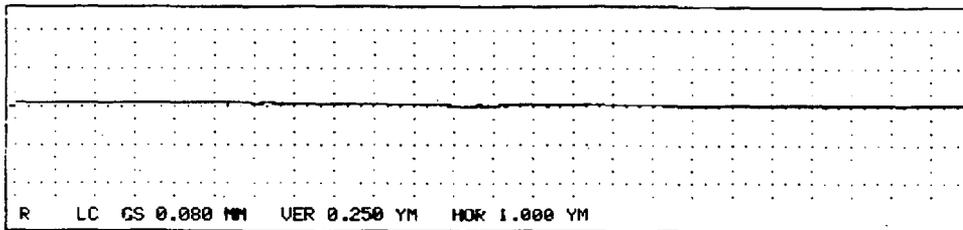
FIGURA 50. Perfis de rugosidade para CP de aço ABNT 1045 lapidado e nitretado.



$R_a = 0,008 \mu\text{m}$

$P_c = 114 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR MECÂNICO



$R_a = 0,038 \mu\text{m}$

$P_c = 1811 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR ÓPTICO

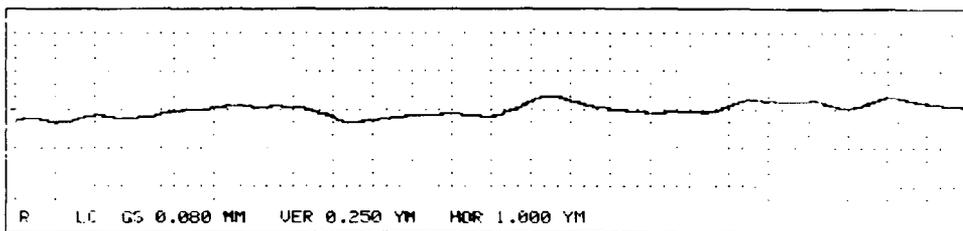
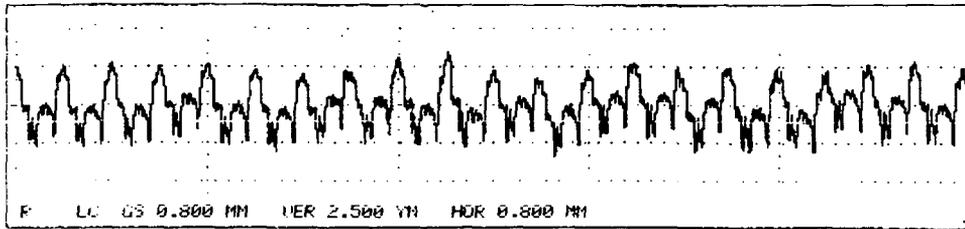


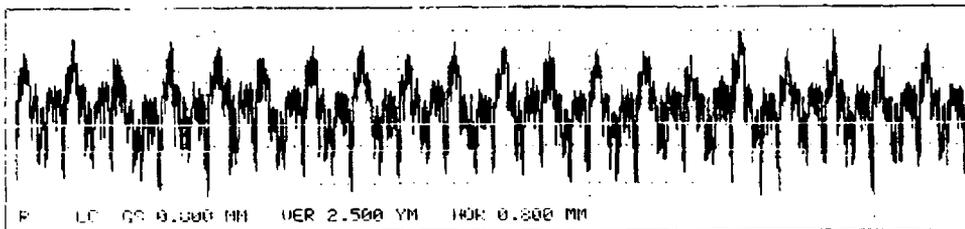
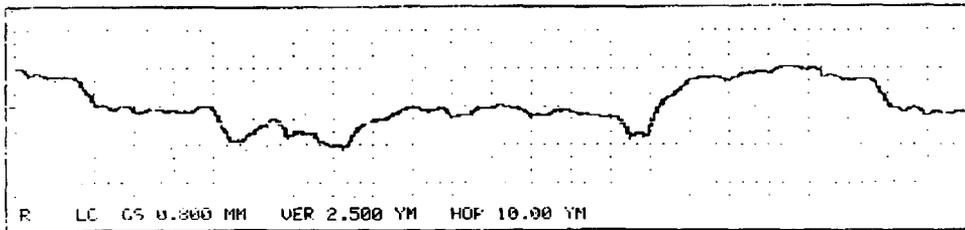
FIGURA 51. Perfis de rugosidade para CP de aço ABNT 1045 polido.



Ra = 1,11 μm

Pc = 25 p.cm^{-1}

SENSOR MECÂNICO



Ra = 1,31 μm

Pc = 60 p.cm^{-1}

SENSOR ÓPTICO

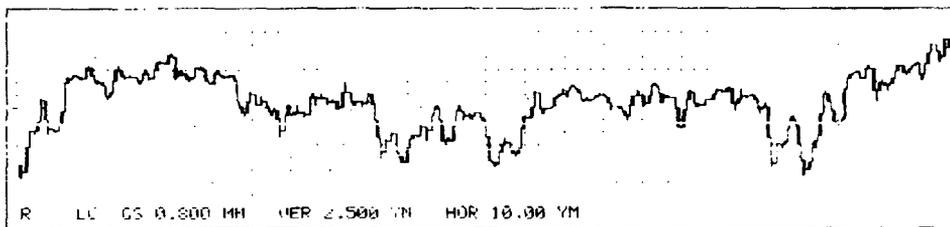
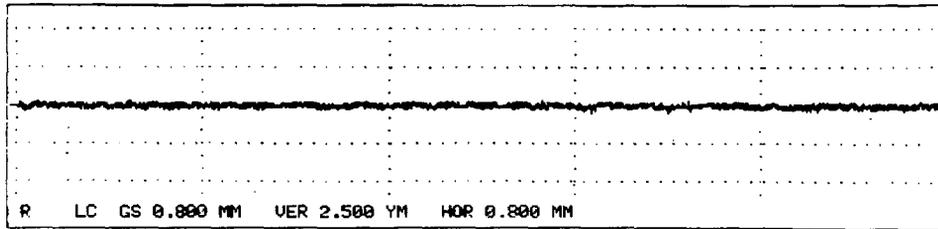


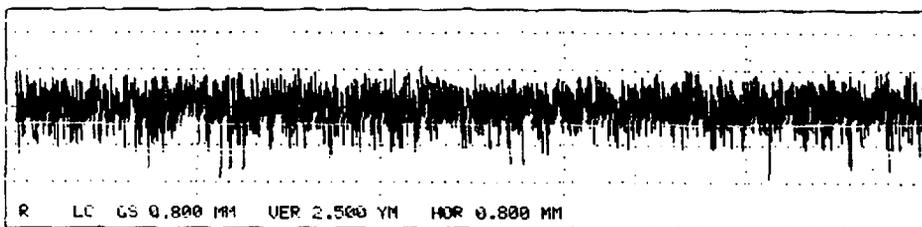
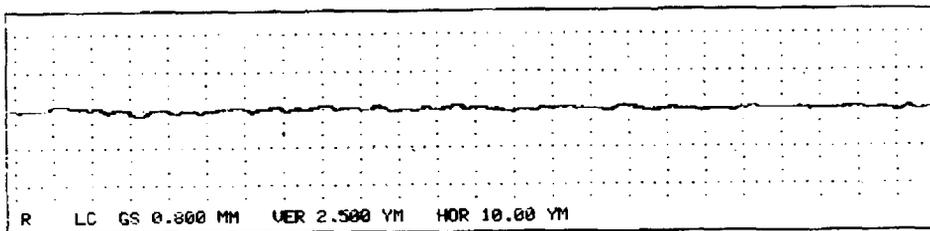
FIGURA 52. Perfis de rugosidade para CP de aço SAE 316 faceado.



$Ra = 0,098 \mu\text{m}$

$Pc = 19 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR MECÂNICO



$Ra = 0,828 \mu\text{m}$

$Pc = 1157 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR ÓPTICO

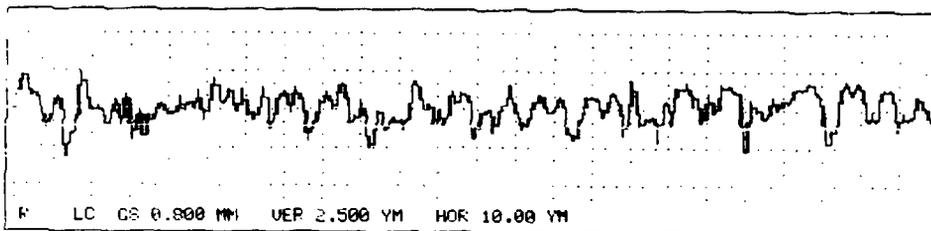
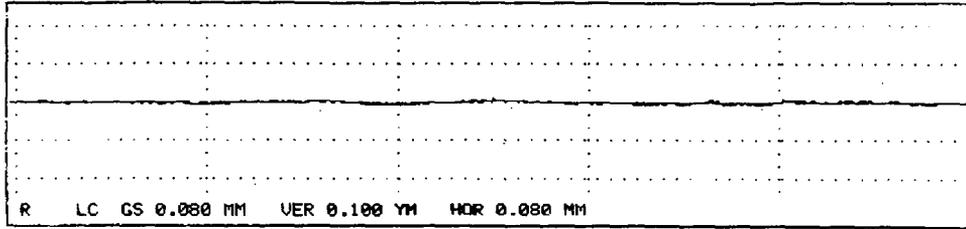


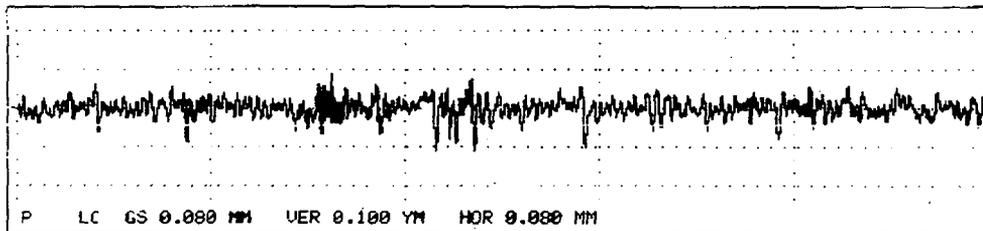
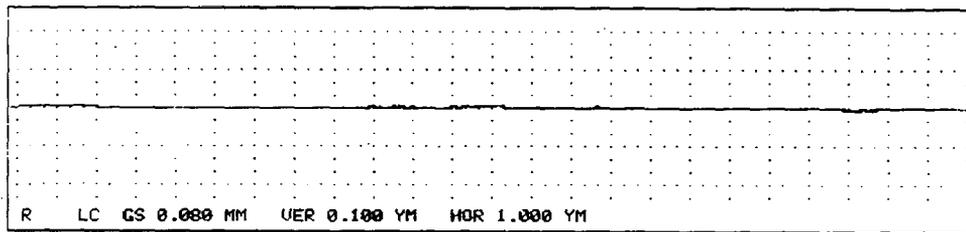
FIGURA 53. Perfis de rugosidade para CP de aço SAE 316 lapidado.



$Ra = 0,002 \mu\text{m}$

$Pc = 72 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR MECÂNICO



$Ra = 0,013 \mu\text{m}$

$Pc = 3221 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR ÓPTICO

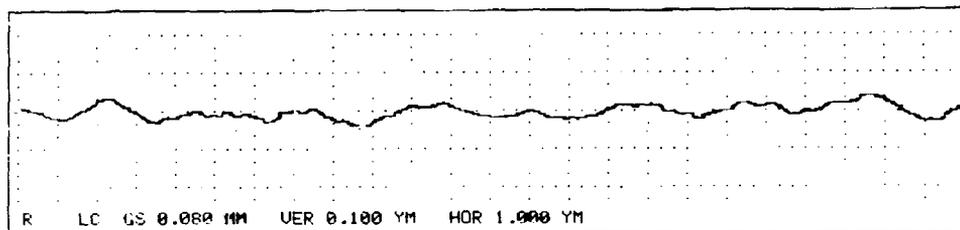
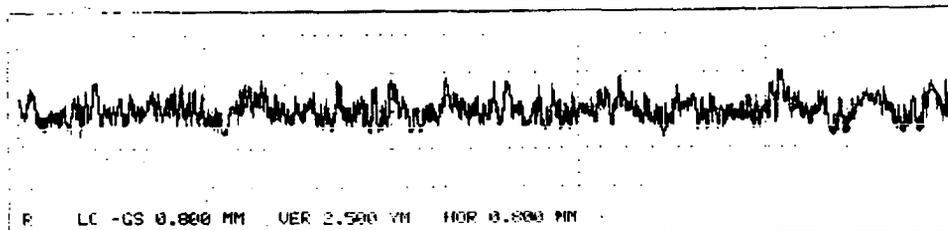


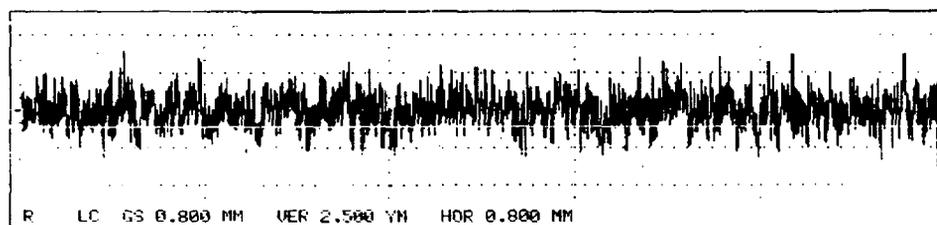
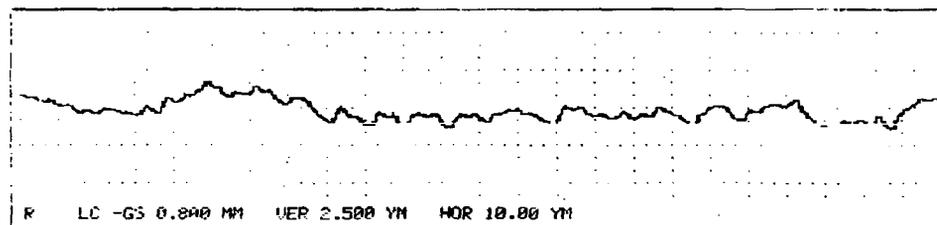
FIGURA 54. Perfis de rugosidade para CP de aço SAE 316 polido.



Ra = 0,510 μm

Pc = 48 p.cm^{-1}

SENSOR MECÂNICO



Ra = 0,780 μm

Pc = 295 p.cm^{-1}

SENSOR ÓPTICO

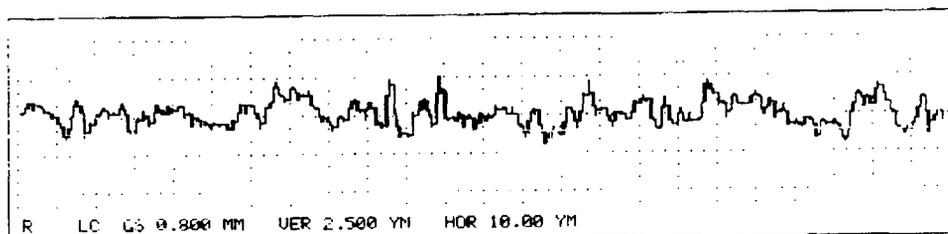
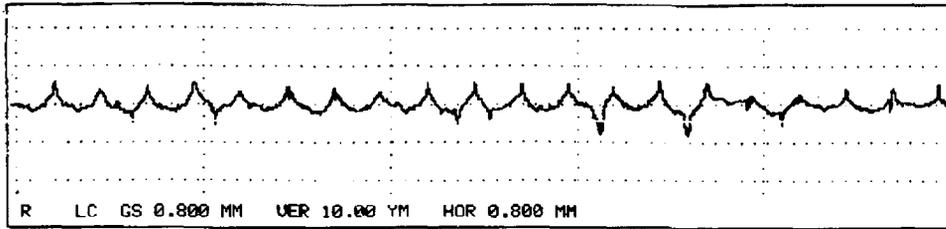
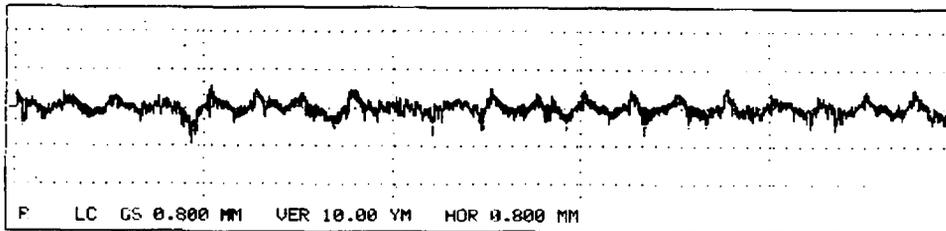
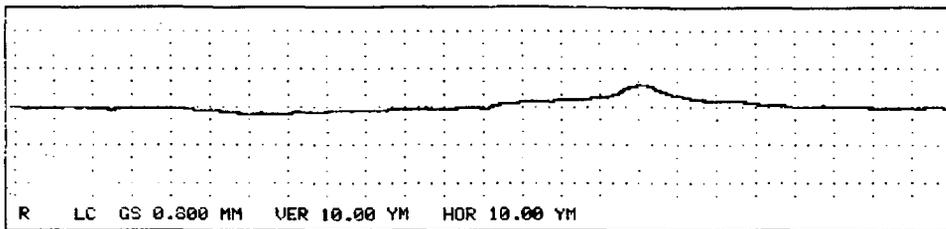


FIGURA 55. Perfis de rugosidade para CP de aço DIN 100Cr6 retificado.



Ra = 1,44 μm
Pc = 18 p.cm⁻¹

SENSOR MECÂNICO



Ra = 1,76 μm
Pc = 51 p.cm⁻¹

SENSOR ÓPTICO

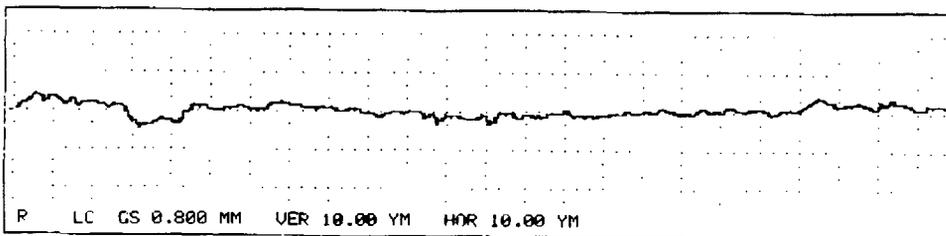
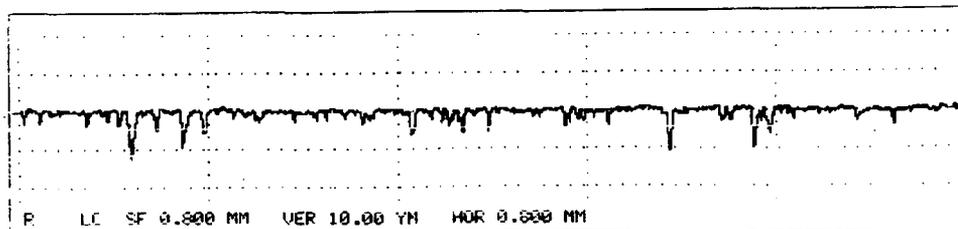


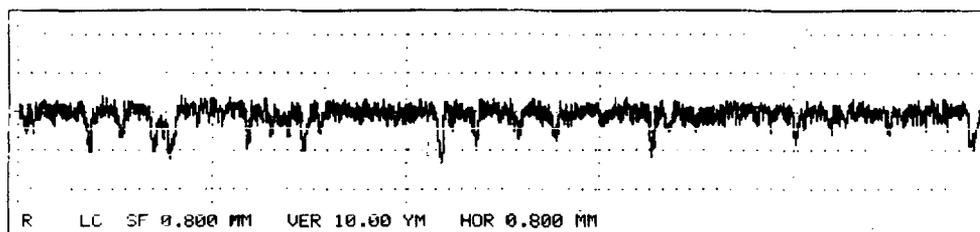
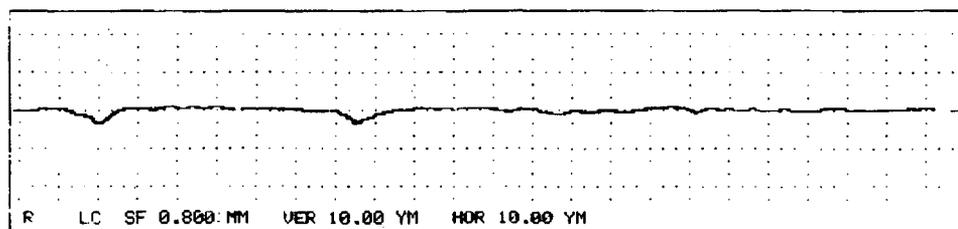
FIGURA 56. Perfis de rugosidade para CP de aço fundido FC25 torneado.



$R_a = 0,86 \mu\text{m}$

$P_c = 32 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR MECÂNICO



$R_a = 1,55 \mu\text{m}$

$P_c = 446 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR ÓPTICO

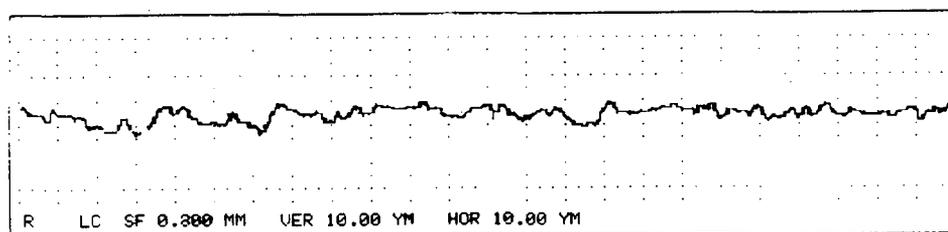
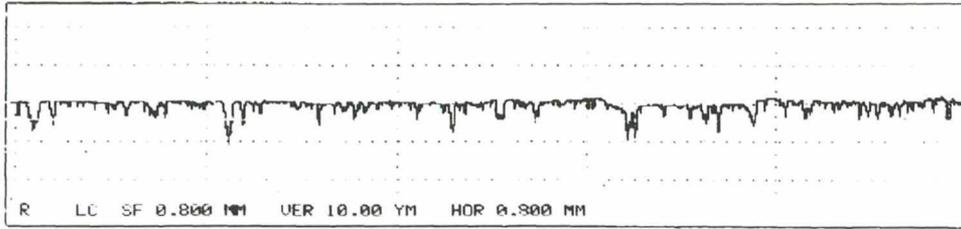


FIGURA 57. Perfis de rugosidade para CP de aço sinterizado e nitretado tipo1.

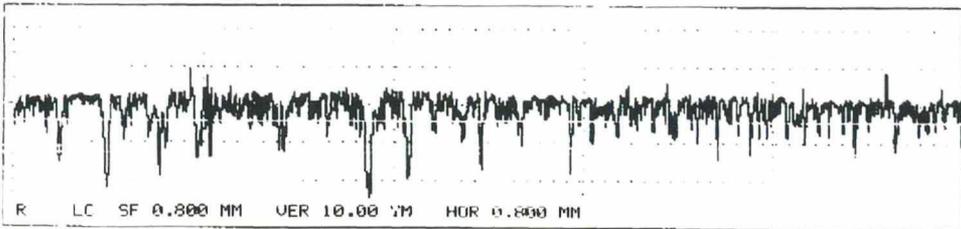
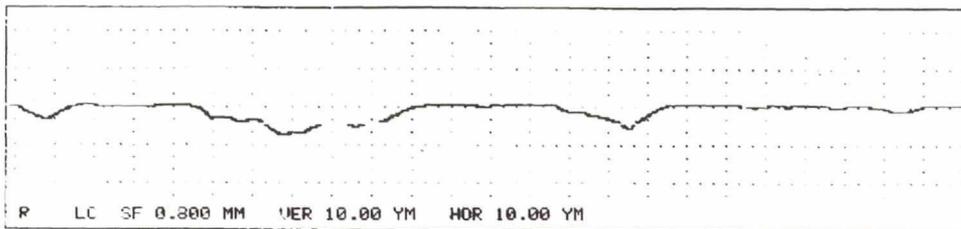
Para os CP de aço sinterizado (figura 58) nota-se também uma forte influência da maior resolução do feixe óptico. Comparando-se o perfil obtido com a SM com o obtido com a SO, observa-se que os elementos do perfil acima da linha média (picos) ficaram relativamente menores quando comparados com os elementos abaixo da linha média (vales), que por sua vez ficaram relativamente maiores. Isto também pode ser constatado numericamente fazendo-se uma comparação entre as razões R_p/R_t e R_v/R_t para os resultados obtidos com os dois tipos de sensores. As razões R_p/R_t são iguais a 0,37 e 0,31 para os sensores mecânico e óptico respectivamente, enquanto que as razões R_v/R_t são iguais a 0,67 e 0,74. Logicamente estas diferenças são dependentes da granulometria da matéria prima e do processo de sinterização do aço, podendo aumentar ou diminuir. Para se obter informações mais conclusivas sobre os CP de aço sinterizado seria necessário um número maior de variações do processo de sinterização e da granulometria da matéria prima.



Ra = 1,28 μm

Pc = 7 $\mu\text{.cm}^{-1}$

SENSOR MECÂNICO



Ra = 2,77 μm

Pc = 186 $\mu\text{.cm}^{-1}$

SENSOR ÓPTICO

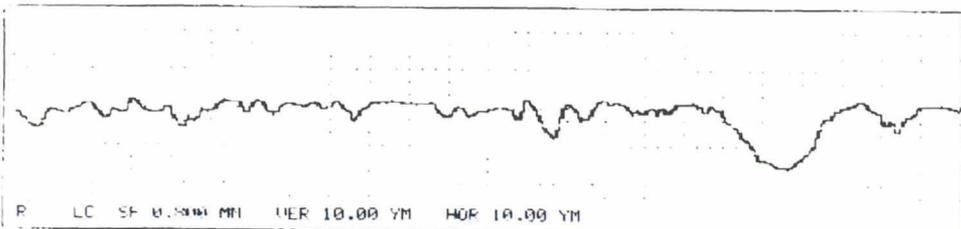
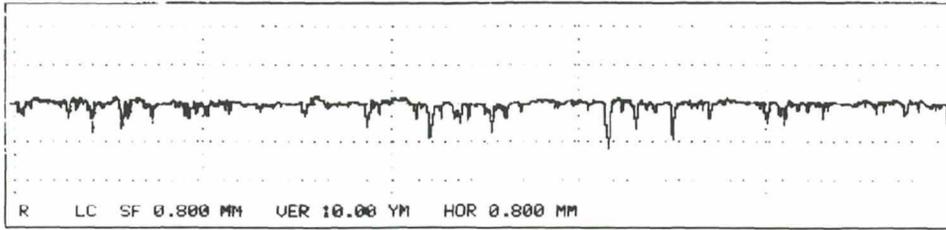


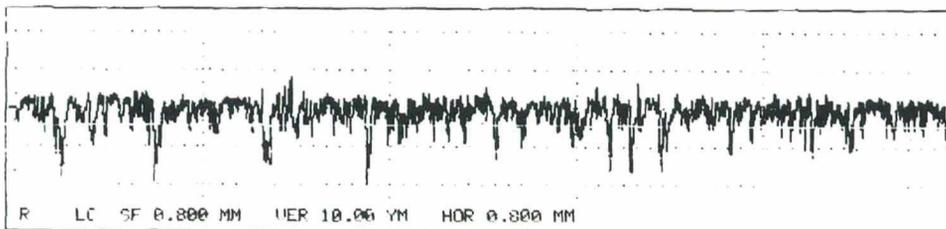
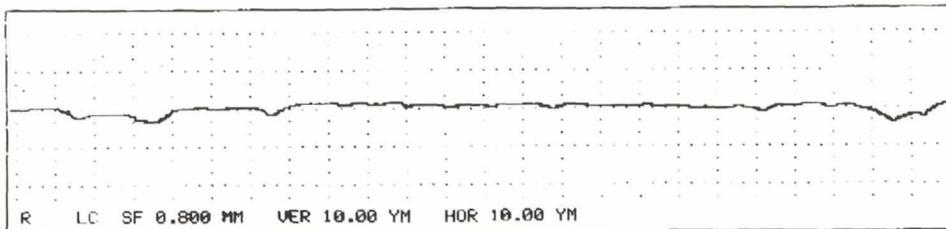
FIGURA 58. Perfis de rugosidade para CP de aço sinterizado (amostras p/ tração).



$R_a = 1,22 \mu\text{m}$

$P_c = 7 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR MECÂNICO



$R_a = 2,51 \mu\text{m}$

$P_c = 207 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR ÓPTICO

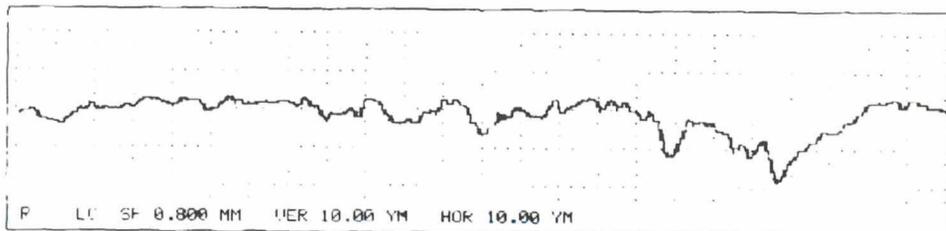
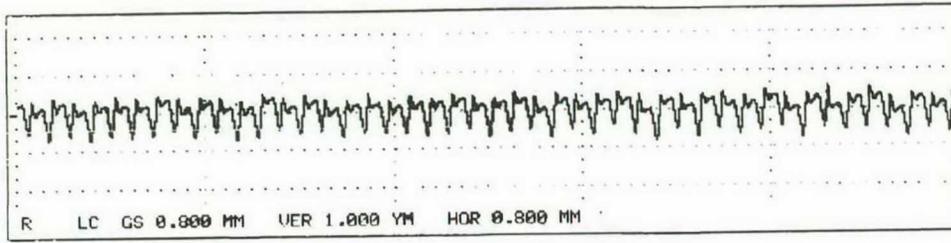


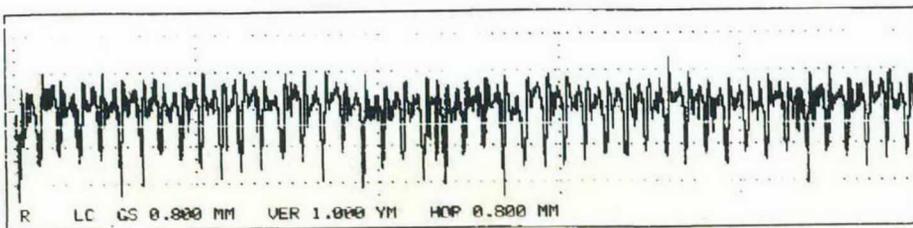
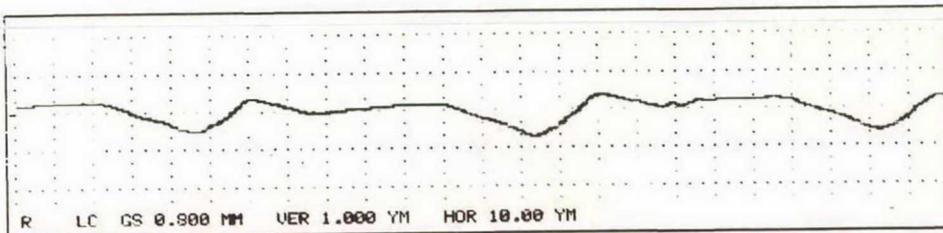
FIGURA 59. Perfis de rugosidade para CP de aço sinterizado e nitretado tipo 2.



$R_a = 0,228 \mu\text{m}$

$P_c = 99 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR MECÂNICO



$R_a = 0,462 \mu\text{m}$

$P_c = 176 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR ÓPTICO

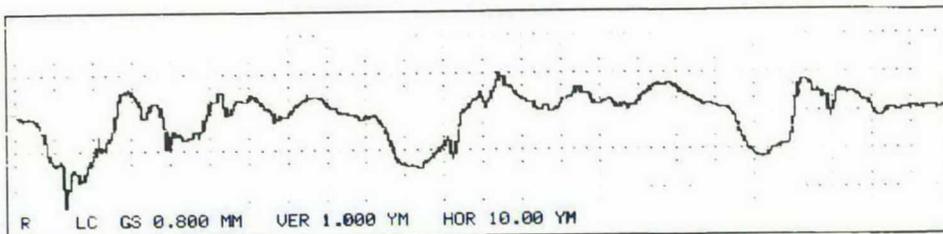
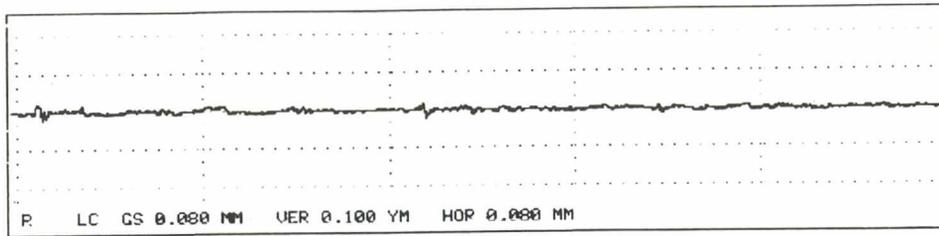
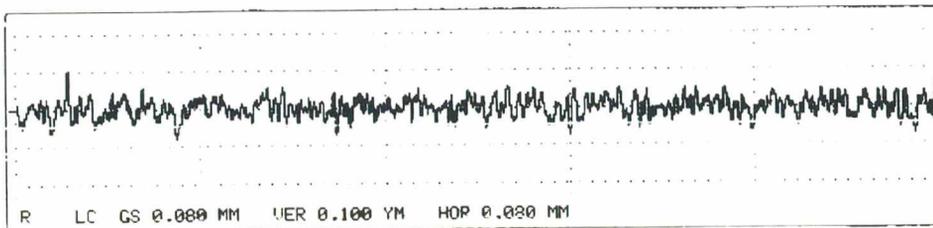
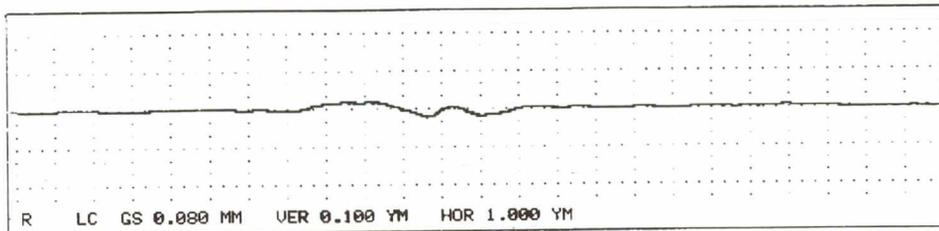


FIGURA 60. Perfis de rugosidade para CP de alumínio torneado.



Ra = 0,004 μm
Pc = 113 p.cm^{-1}

SENSOR MECÂNICO



Ra = 0,023 μm
Pc = 2032 p.cm^{-1}

SENSOR ÓPTICO

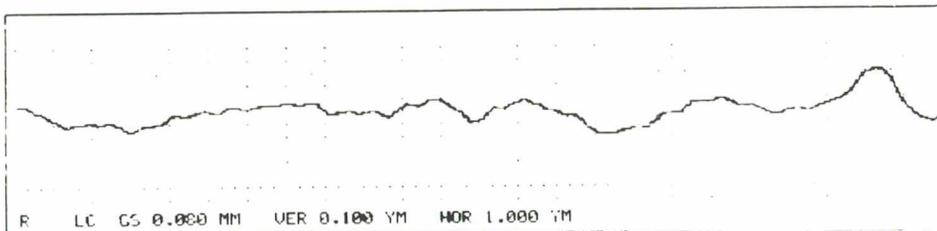
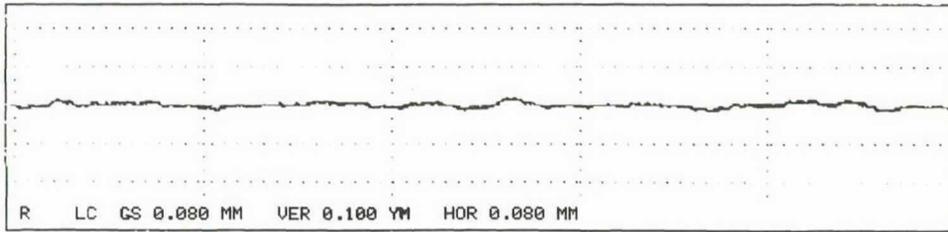


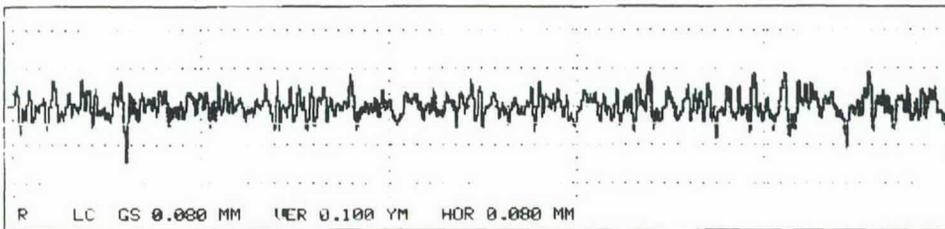
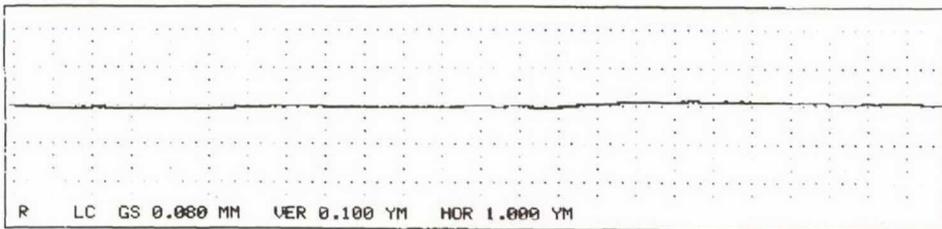
FIGURA 61. Perfis de rugosidade para CP de alumínio polido.



$R_a = 0,006 \mu\text{m}$

$P_c = 81 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR MECÂNICO



$R_a = 0,027 \mu\text{m}$

$P_c = 2077 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR ÓPTICO

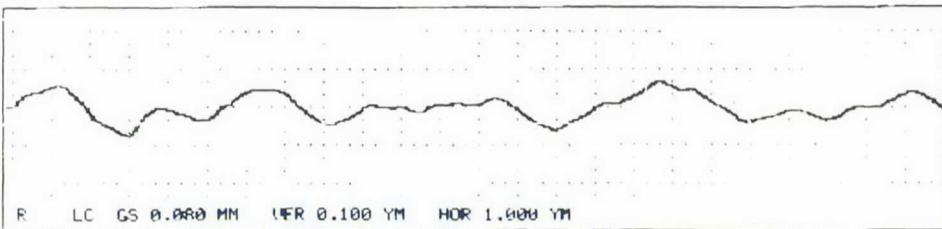
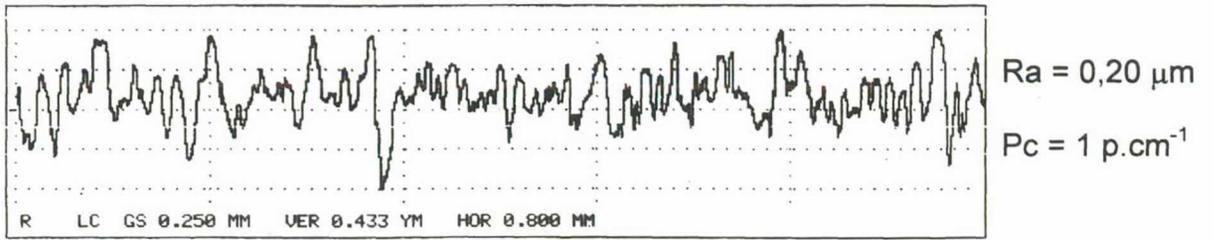
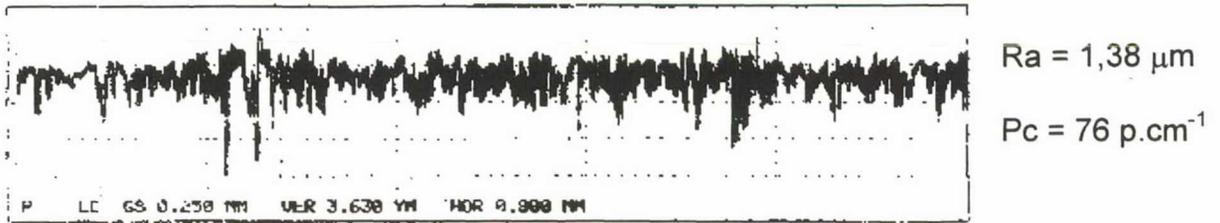


FIGURA 62. Perfis de rugosidade para CP de cobre polido.

As escalas verticais dos protocolos gráficos dos CP em resina acrílica (figuras 63, 64 e 65) foram selecionadas com valores diferentes para poder destacar detalhes do perfil lido mecanicamente. Os protocolos oriundos da medição com o sensor mecânico apresentam uma ampliação vertical maior que os protocolos oriundos da medição com o sensor óptico. Deste modo, observa-se que existe uma diferença bastante acentuada entre as amplitudes dos perfis de rugosidade lidos opticamente e mecanicamente. O CP polido quimicamente (figura 64) é o com a menor diferença, entre os perfis obtidos óptica e mecanicamente. Este comportamento pode ser justificado pelo ataque químico seletivo aos picos, que são as partes quimicamente mais ativas da superfície, diminuindo as distâncias pico-a-vale e o número de picos locais, aproximando o perfil lido opticamente do lido mecanicamente. Na seqüência vêm o CP em bruto (figura 65) e o CP lixado (figura 63), que possui a maior diferença relativa entre os dois tipos de perfis. Os CP de resina acrílica foram obtidos pela cura da resina em uma cavidade num molde de gesso especial (baixa porosidade). A cavidade, por sua vez é o espelho de uma barra de alumínio finamente polida. Portanto, a superfície do CP em bruto se apresenta com a textura mais próxima da textura da barra de alumínio e, conseqüentemente, melhor acabada que a do CP lixado. Isto se reflete diretamente nos perfis apresentados nas figuras 65 e 63 respectivamente.

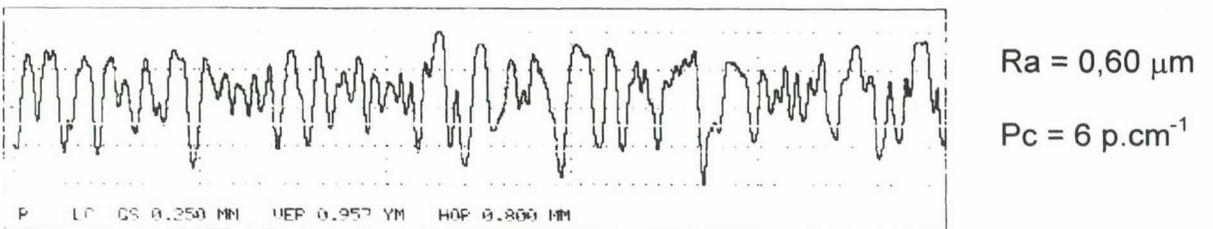


SENSOR MECÂNICO

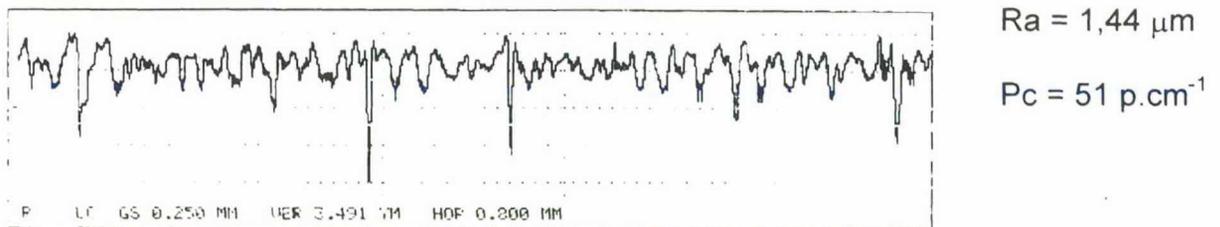


SENSOR ÓPTICO

FIGURA 63. Perfis de rugosidade para CP de resina acrílica lixada.

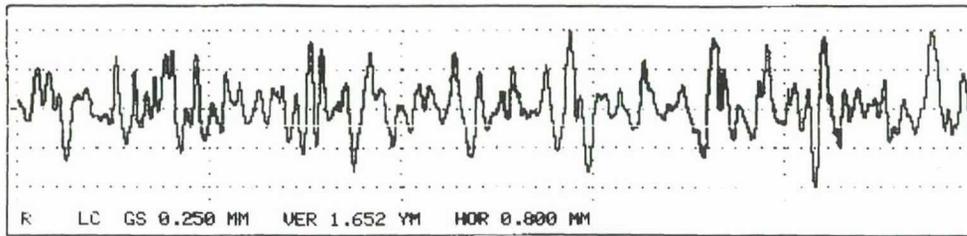


SENSOR MECÂNICO

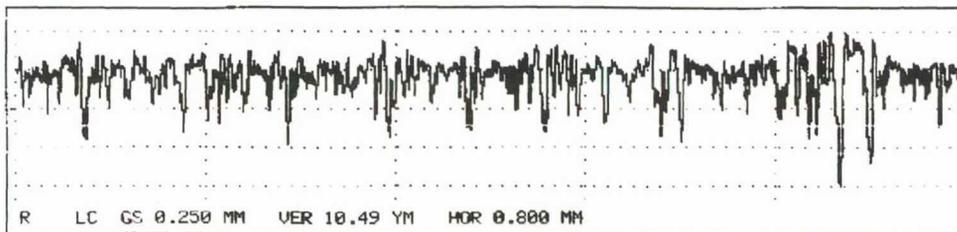


SENSOR ÓPTICO

FIGURA 64. Perfis de rugosidade para CP de resina acrílica polida quimicamente.


 $R_a = 0,95 \mu\text{m}$
 $P_c = 26 \text{ p.cm}^{-1}$

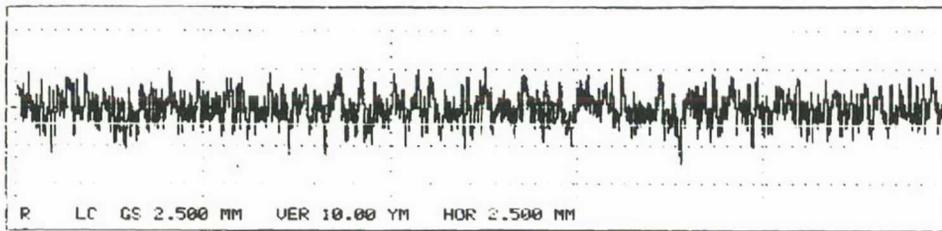
SENSOR MECÂNICO


 $R_a = 3,82 \mu\text{m}$
 $P_c = 135 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR ÓPTICO

FIGURA 65. Perfis de rugosidade para CP de resina acrílica em bruto.

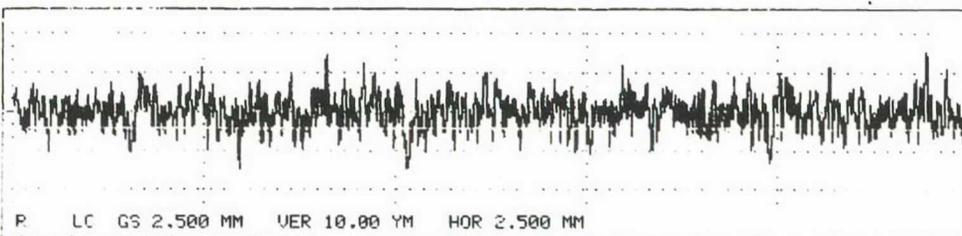
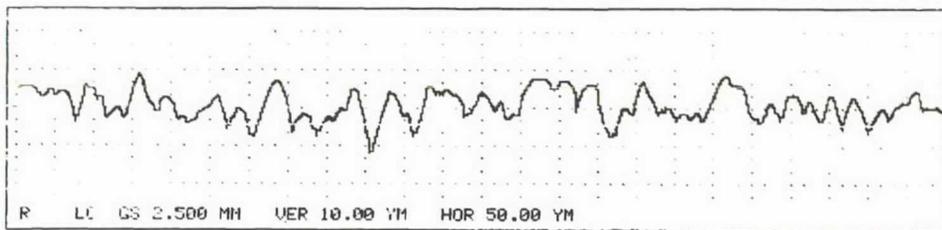
Os CP de gesso foram os que apresentaram os perfis de rugosidade com a maior semelhança (figura 66). Tanto os perfis com ampliação horizontal padrão quanto os com ampliação horizontal estendida se apresentam muito semelhantes em termos de amplitudes, porém nem tanto em termos de espaçamentos entre picos. A explicação aqui se deve à textura extremamente favorável deste tipo de gesso à medição com sonda mecânica. A ausência de vales profundos e estreitos inibem o efeito da maior resolução do feixe óptico e os resultados acabam se aproximando. Ainda assim o perfilamento óptico foi mais detalhista, captando um maior número de picos locais.



$R_a = 2,50 \mu\text{m}$

$P_c = 2 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR MECÂNICO



$R_a = 2,69 \mu\text{m}$

$P_c = 8 \text{ p.cm}^{-1}$

SENSOR ÓPTICO

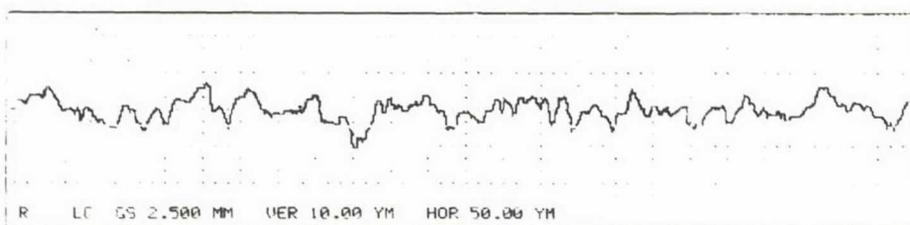


FIGURA 66. Perfis de rugosidade para CP de gesso.

Todas as informações obtidas a partir dos protocolos gráficos de rugosidade reforçam a nossa tese a respeito da necessidade da análise conjunta de dados numéricos e de informações gráficas. Este procedimento maximiza o potencial de obtenção de conclusões confiáveis na análise da textura de superfícies.

5.2 Imagens por microscopia óptica e eletrônica

As imagens obtidas por microscopia eletrônica (MEV) e por microscopia estereoscópica permitiram uma avaliação qualitativa mais pormenorizada das texturas das superfícies estudadas e dos efeitos da passagem do sensor mecânico sobre a superfície dos CP. Destarte, estas imagens deram uma contribuição adicional para o entendimento das diferenças entre os parâmetros obtidos através da medição com a sonda mecânica e da medição com a sonda óptica.

Num primeiro passo, os CP foram observados por microscopia óptica convencional, com um aumento máximo de 30x e por microscopia óptica estereoscópica, com um aumento máximo de 64x. Desta maneira puderam ser separados para a microscopia eletrônica os CP que tiveram as superfícies efetivamente riscadas pelo apalpamento com sensor mecânico. O passo seguinte consistiu em submeter à microscopia eletrônica os CP anteriormente selecionados, focalizando principalmente as regiões afetadas pelo apalpamento com sensor mecânico.

Nas figuras apresentadas a seguir procurou-se, sempre que pertinente, ressaltar o efeito do sensor mecânico sobre a superfície medida. Em algumas destas superfícies, notadamente as mais macias, percebe-se claramente um riscamento semelhante ao sulco produzido por um arado: um canal central com acúmulo de material nas bordas. Em outras nota-se apenas um leve sombreamento superficial, indicando que alguns poucos picos de rugosidade foram rebaixados o suficiente para notar a passagem do sensor mecânico, mas não o suficiente para alterar significativamente os parâmetros de textura.

A superfície do CP de aço ABNT 1045 retificado é mostrada na figura 67. Nesta podem ser vistos claramente os sulcos causados pela passagem do apalpador (direção vertical) cruzando com os sulcos deixados pela passagem do rebolo (direção horizontal). Os sulcos gerados pelo apalamento são mais pronunciados na região de picos da textura original do CP, sendo que nos vales praticamente não há riscamento. Em função disto ocorre um achatamento do perfil original, levando à diminuição da amplitude do perfil de rugosidade e do número de picos locais, com influência pronunciada sobre os resultados dos parâmetros verticais, horizontais e de forma.

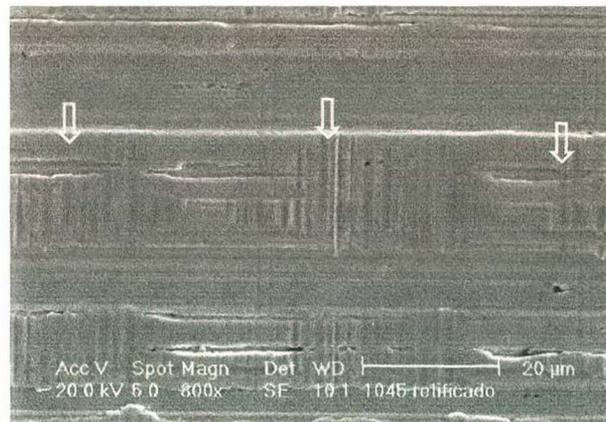


FIGURA 67. Aço ABNT 1045 retificado (MEV 800x). As setas indicam as regiões com os sulcos gerados pela passagem do sensor mecânico

O CP de aço ABNT 1045 retificado e nitretado (figura 68) apresenta uma textura bastante característica. Pode ser observada claramente o substrato usinado por baixo da camada dos grãos de nitretos depositados. Os efeitos geométricos dos nitretos já foram discutidos no item 5.1. Cabe aqui ressaltar que estes grãos são mais duros que o substrato e conferem a ele uma maior resistência à passagem do apalpador. Só estão sujeitas ao riscamento as regiões da superfície nitretada insuficientemente recobertas. Como isto caracterizaria uma falha de processo, pode-se afirmar que nos CP de aço

ABNT 1045 retificados e nitretados não existe alteração do perfil de rugosidade oriunda do riscamento da superfície pelo sensor mecânico.

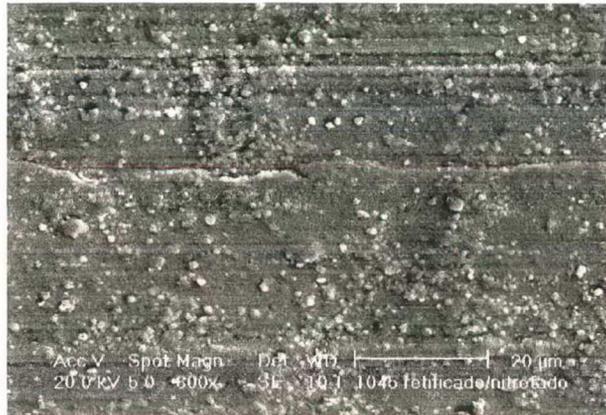


FIGURA 68. Aço ABNT 1045 retificado e nitretado (MEV 800x). Não se observa nenhum dano causado pela passagem do sensor mecânico.

Os CP de aço ABNT 1045 lapidados (figura 69) apresentaram indícios muito tênues de riscamento. O processo de lapidação submete a superfície a tensões cíclicas de compressão e é provável que isto induza a um aumento de dureza nas camadas superficiais do CP, aumentando sua resistência à passagem do sensor mecânico. Para este tipo de CP, também será descartada a possibilidade de alteração dos resultados com medição mecânica em função do riscamento da superfície. Outra importante observação se relaciona à textura da superfície lapidada, que é geometricamente muito mais complexa que a de uma superfície retificada, por exemplo. Esta textura peculiar é muito difícil de ser plenamente perfilada pelo sensor mecânico. Devido às limitações geométricas da ponta do apalpador muitos vales não são devidamente detectados. Como o feixe óptico possui uma maior capacidade de perfilamento dos vales (aqui denominada de maior resolução), os perfis medidos com a SO sempre apresentarão maiores amplitudes e maior número de picos locais, ver figura 49 e planilhas das páginas A5-8 a A5-11 (Apêndice 5).

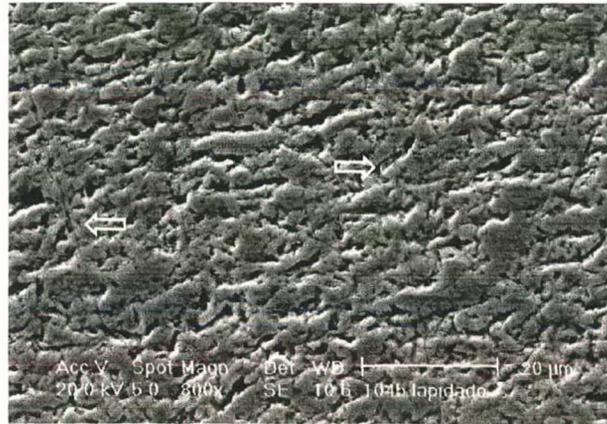


FIGURA 69. Aço ABNT 1045 lapidado (MEV 800x). As setas indicam os sulcos gerados pela passagem do sensor mecânico, pouco profundos neste caso.

O mesmo raciocínio se aplica para os CP de aço ABNT 1045 lapidados e nitretados (figura 70). Aqui, somam-se os efeitos superficiais geométricos e de endurecimento propostos para a lapidação com os efeitos superficiais já comentados para a nitretação. Não se observou nenhum indício de riscamento superficial, uma vez que a superfície se encontra mais endurecida pela nitretação. Por outro lado, houve um preenchimento parcial dos vales originais da lapidação pelos grãos de nitretos, gerando uma textura menos complexa e mais fácil de ser perfilada pelo sensor mecânico. Mesmo assim, as diferenças entre os perfis medidos mecanicamente e opticamente não diminuiram sensivelmente quando comparadas às diferenças apresentadas pelos perfis dos CP somente lapidados (comparar as figuras 49 e 50), ainda prevaleceu a maior resolução do feixe óptico.

Na figura 71 podem ser observados três conjuntos de riscos paralelos gerados pela passagem do apalpador sobre a superfície do aço ABNT 1045 polido. Cada conjunto de riscos foi gerado pela passagem do apalpador duas vezes pelo mesmo local (devido à técnica de medições paralelas utilizada para o levantamento topográfico da superfície). A ponta do apalpador criou no máximo dois destes riscos, um na ida outro na volta, os riscos restantes foram gerados pelo desgaste abrasivo originado do atrito entre a superfície do CP e a superfície do patim de apoio da sonda. Este

riscamento do patim de apoio é bastante crítico, visto que patim e apalpador são montados alinhados segundo a direção de medição e que o patim se adianta ao apalpador. Portanto, o apalpador já atua sobre uma superfície alterada pelo patim, causando um erro adicional em relação à superfície real. O sulcamento da superfície pelo patim e pelo apalpador é de magnitude considerável e têm como consequência um alisamento do perfil medido com a SM em relação ao perfil real. Este efeito se soma à maior capacidade de perfilamento da SO e gera a diferença entre perfis observada na figura 51.



FIGURA 70. Aço ABNT 1045 lapidado e nitretado (MEV 800x). Superfície sem danos causados pela passagem do sensor mecânico.

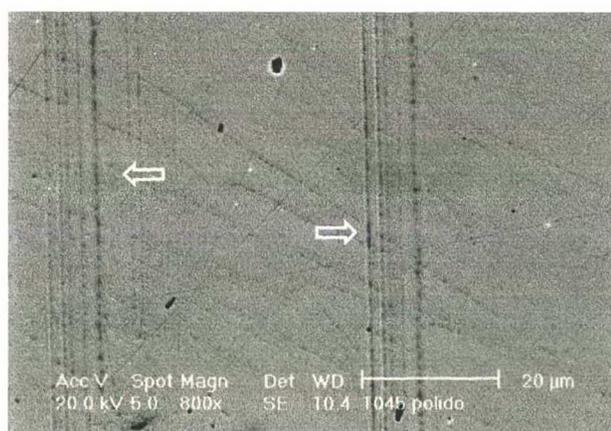


FIGURA 71. Aço ABNT 1045 polido (MEV 800x). As setas indicam os sulcos gerados pela passagem simultânea do sensor e do patim de apoio

Nos CP de aço inoxidável SAE 316 faceados não foram detectadas superfícies danificadas pela passagem do sensor mecânico. Os riscos que aparecem na figura 72 são marcas de usinagem. A inexistência de danos superficiais causados pela passagem do sensor também pode ser confirmada comparando-se os perfis de rugosidade apresentados na figura 52, onde não se nota a possibilidade de um alisamento dos picos no perfil de rugosidade medido com o sensor mecânico. A textura apresentada está de acordo com a esperada e os efeitos geométricos já foram suficientemente discutidos no item 5.1.

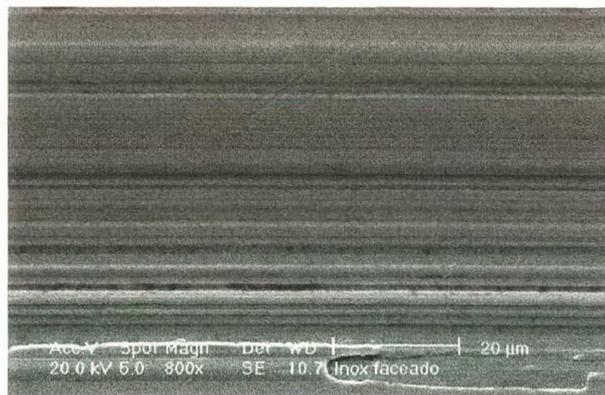


FIGURA 72. Aço inoxidável SAE 316 faceado (MEV 800x). Os riscos observados na superfície corresponde as marcas de usinagem

Os CP de aço SAE 316 lapidados (figura 73) não apresentaram nenhum sinal perceptível de riscamento e valem as observações feitas para os CP de aço ABNT 1045 lapidados, tanto no aspecto de endurecimento da superfície quanto no aspecto de complexidade da textura da superfície (comparar os perfis lidos mecanicamente e opticamente na figura 53).

No caso dos CP polidos (figura 74), o sulco feito pelo apalpador não aparece isolado e sim com riscos laterais paralelos de menor intensidade. Estes riscos são

marcas de desgaste abrasivo que surgem devido ao atrito entre a superfície do CP e a superfície de contato do patim de apoio da sonda. O sulco formado pelo apalpador é aparentemente menos profundo do que no caso do aço ABNT 1045 polido, porém também contribui para um alisamento da superfície. Este efeito somado à maior resolução do feixe óptico acaba resultando nas diferenças apresentadas na figura 54.



FIGURA 73. Aço inoxidável SAE 316 lapidado (MEV 800x). Não apresenta marcas resultantes da passagem da sonda mecânica.



FIGURA 74. Aço inoxidável SAE 316 polido (MEV 800x). A seta indica a região da superfície danificada pela passagem do sensor mecânico, sulco central mais profundo e do patim de apoio, riscos laterais paralelos ao sulco central.

Os CP de aço DIN 100Cr6 retificado (figura 75) não apresentaram nenhuma marca de riscamento pelo sensor mecânico, o que pode ser explicado pela sua dureza elevada (em torno de 60HRc). A textura da superfície não traz nenhum fato novo, pois é semelhante a do aço ABNT 1045 retificado e as diferenças apresentadas na figura 55 se devem majoritariamente à maior resolução do feixe óptico.

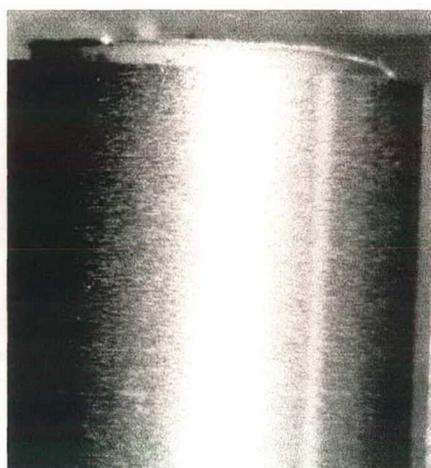


FIGURA 75. Aço DIN 100Cr6 retificado (estereomicroscópio 8x).

Os corpos de prova de aço fundido FC25 torneados (figura 76) também não apresentaram nenhum riscamento. Mais uma vez devido à elevada dureza do material do CP, em torno de 50HRc. Porém, a textura da superfície apresenta uma peculiaridade. Aparecem porosidades características do metal fundido, que são da mesma magnitude dos desvios de terceira ordem. Como estes desvios prevalecem sobre os de quarta ordem em diante a maior resolução do feixe óptico não se destaca e o resultado é uma pequena diferença nas amplitudes. Persiste porém uma grande diferença no número de picos locais, com valores de HSC iguais a 127 e 722 picos por cm para o sensor mecânico e para o sensor óptico respectivamente. Também podem ser comparados os perfis da figura 56.

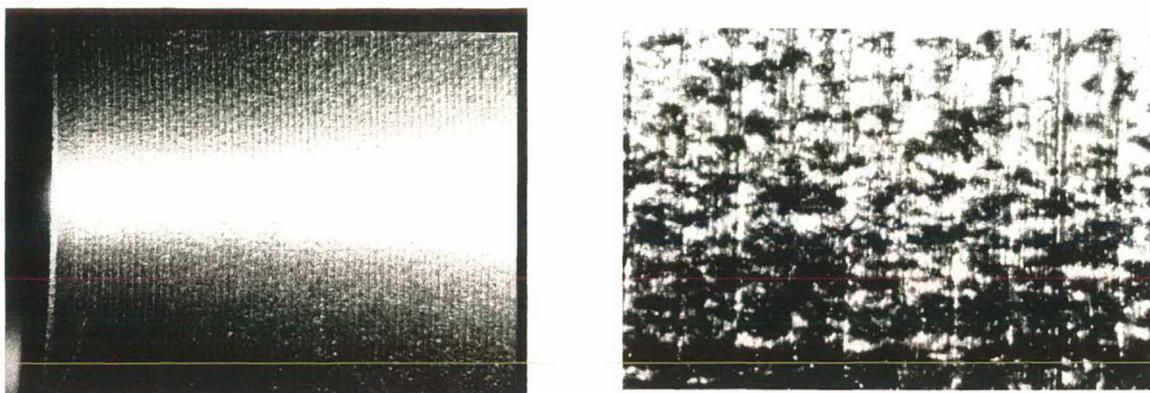


FIGURA 76. Aço fundido FC25 torneado (estereomicroscópio 8x e 64x).

Os dois tipos de CP de aço sinterizado e nitretado tiveram um comportamento semelhante. Na figura 77 é mostrada a engrenagem de aço sinterizado e nitretado em duas escalas diferentes (8x e 64x), detalhando a região medida. Não se notou nenhum riscamento na superfície medida com a SM. A dura camada superficial de nitretos impediu o riscamento, assim como nos casos dos CP de aço ABNT retificado e lapidado que foram posteriormente submetidos à nitretação. Para estes CP as diferenças mostradas nas figuras 57 e 59 se devem exclusivamente à maior resolução do feixe óptico.



FIGURA 77. Aço sinterizado e nitretado do tipo 2 (estereomicroscópio 8x e 64x).

No CP de aço sinterizado e sem nitretação (figura 78) foi possível se observar o riscamento feito pelo sensor mecânico. Adicionalmente, a textura que caracteriza a superfície dos materiais sinterizados é bastante complexa, com vales não acessíveis à SM. Neste caso somam-se os efeitos de alisamento do perfil lido pela SM com a grande capacidade de perfilamento (resolução) do feixe óptico, resultando nas diferenças apresentadas entre os perfis da figura 58.

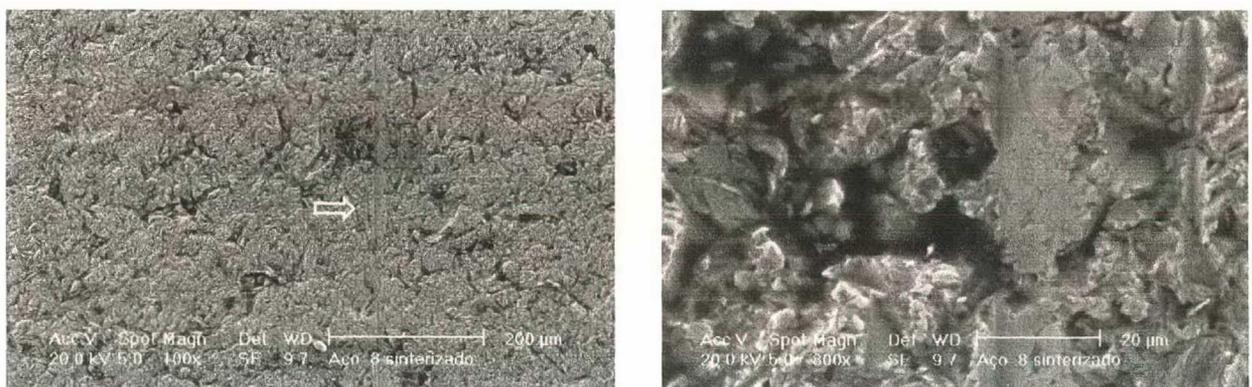


FIGURA 78. Aço sinterizado. A seta no quadro a esquerda (MEV 100x) indica um sulco causado pela passagem do sensor mecânico. A direita uma ampliação (MEV 800x) da região com o sulco.

Os CP de alumínio torneado (cilindro de fotocopiadora) sofreram uma sulcagem acentuada, que aparece associado à deformação provocada pelo patim de apoio da SM (figura 79). Porém, não houve um achatamento excessivamente pronunciado do perfil de rugosidade obtido com a SM, como o que ocorreu com os CP de ABNT 1045 retificados. A forma geral do perfil obtido pelo torneamento de precisão (desvios de terceira ordem) é muito mais suave que o de uma superfície retificada por exemplo e possui uma textura muito simples com picos muito suaves, vales pouco profundos e relativamente bem espaçados. Foi este tipo de textura que fez com que o sulco

produzido pelo sensor mecânico acompanhasse a forma geral do perfil, minimizando efeito de alisamento. Mais uma vez a resolução do feixe óptico prevalece em função da relação entre as magnitudes dos desvios de terceira ordem em relação aos de quarta ordem em diante. Assim as amplitudes e o número de picos locais são maiores para a SO do que para a SM (figura 60).

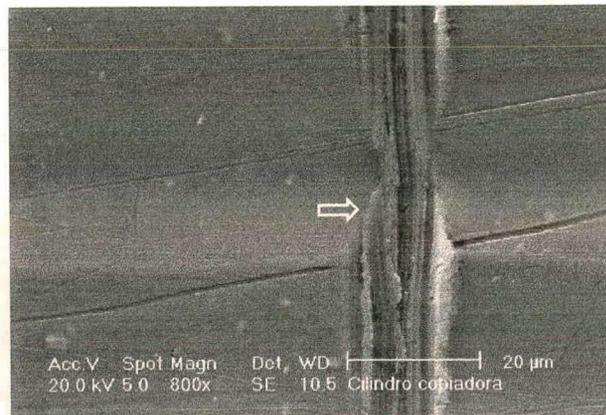


FIGURA 79. Alumínio torneado (MEV 800x). A seta indica a região da superfície danificada pela passagem simultânea do sensor mecânico e do patim de apoio da sonda.

Nos CP de alumínio e de cobre polidos (figuras 80 e 81) nota-se um sulcamento profundo, que altera a microgeometria correspondente tanto aos desvios de terceira ordem, quanto aos desvios de quarta ordem em diante, resultando num alisamento do perfil de rugosidade da superfície. No CP de alumínio não se nota a ação do patim de apoio da SM. Já no CP de cobre polido, onde foi utilizada a técnica de medições paralelas, esta ação se mostra nitidamente presente. Os efeitos do sulcamento da superfície se somam à maior resolução do feixe óptico, que é muito mais sensível aos desvios de quarta ordem em diante, resultando nas diferenças entre os perfis captados com cada tipo de sensor e que podem ser notadas nas figuras 61 e 62.

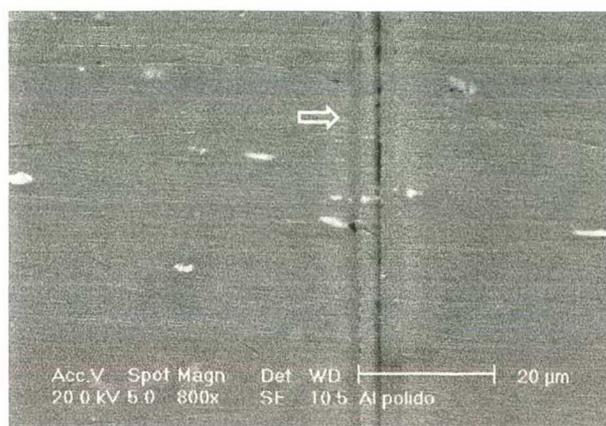


FIGURA 80. Alumínio polido (MEV 800x). A seta indica a região da superfície danificada pela passagem do sensor mecânico.

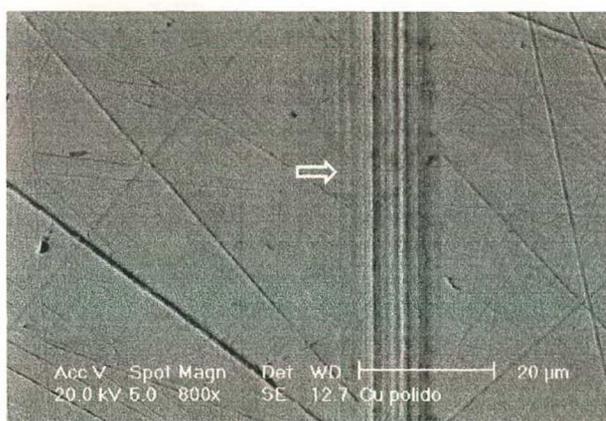


FIGURA 81. Cobre polido (MEV 800x). A seta indica a região da superfície danificada pela passagem simultânea do sensor mecânico e do patim de apoio da sonda.

Nas fotografias obtidas por microscopia estereoscópica dos CP de resina acrílica não se pode notar claramente a existência de riscamento devido à passagem do sensor mecânico, nem aspectos relevantes da textura. Para tentar se verificar a presença de sulcos, foram feitas várias medições com a SO em direções ortogonais à das medições com a SM, ainda assim nada foi detectado. Embora somente uma

análise via MEV pudesse confirmar a inexistência de sulcos, os procedimentos tomados fazem crer que se eles existirem não são de grande influência. Selecionou-se para apresentação um dos CP de resina acrílica em bruto (figura 82), o qual apresentou uma textura de acabamento intermediário entre os CP polidos quimicamente e os CP lixados (comparar os perfis das figuras 63, 64 e 65). Nos CP em resina acrílica a maior resolução do feixe óptico foi o fator que diferenciou os resultados obtidos com um e com outro tipo de sonda.

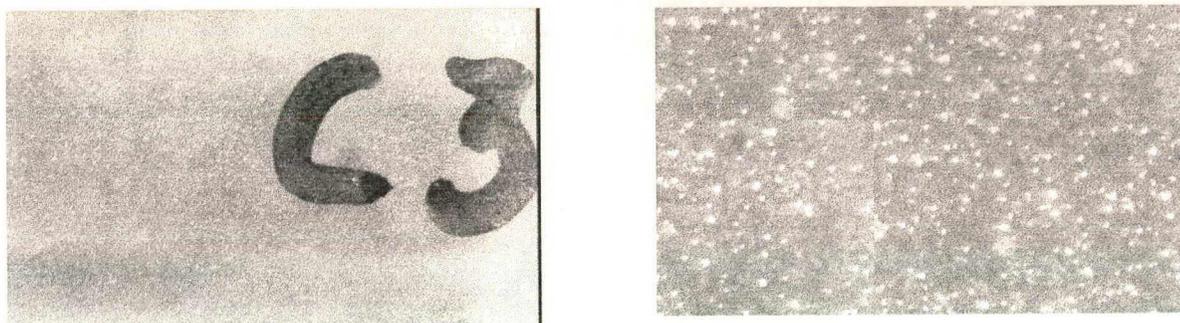


FIGURA 82. Resina acrílica em bruto (estereomicroscópio 8x e 64x)

Não foi observado nenhum riscamento nas superfícies dos CP de gesso medidos com a sonda mecânica (figura 83). Estes CP foram os que apresentaram a menor diferença entre os resultados medidos mecanicamente e opticamente e também foram os que apresentaram os maiores valores numéricos para os parâmetros de textura verticais (para ambas as sondas). O tipo de textura apresentado por estes CP favorece a medição com a sonda mecânica e não aparecem diferenças significativas em virtude da maior resolução do feixe óptico. Comparando-se os perfis apresentados na figura 66, pode-se observar que os resultados obtidos com a SM e com a SO se aproximam muito, tanto em relação às amplitudes quanto em relação ao número de

picos locais. O comportamento apresentado pelos CP de gesso foi único e se justifica pela presença de uma textura extremamente favorável ao apalpamento com o sensor mecânico, associada à ausência de danos causados à superfície na passagem do sensor e do patim de apoio da sonda mecânica. Estes dois fatores eliminaram as duas principais vantagens de aplicação da sonda com o sensor óptico: a ausência de contato mecânico e a maior resolução do feixe óptico.



FIGURA 83. Gesso (estereomicroscópio, a esquerda 8x e a direita 64x)

As análises e as respectivas conclusões obtidas neste item e no item anterior, deverão ser mantidas em mente para compreender e justificar as diferenças numéricas entre os parâmetros de textura obtidos através do apalpamento com sensores mecânicos e ópticos.

5.3 Parâmetros de textura

As observações e conclusões tiradas a partir dos gráficos de perfis de rugosidade, das imagens por microscopia eletrônica e das imagens por estereomicroscopia, ajudaram a explicar os motivos das diferenças existentes entre os resultados obtidos mecanicamente e opticamente. Nos próximos itens serão apresentados os resultados numéricos das medições com os dois tipos de sondas e as comparações pertinentes. São dois os principais objetivos a serem atingidos: quantificar as diferenças entre os parâmetros de textura e propor meios de se verificar o quanto estas diferenças são significativas no estudo das relações entre a textura de superfícies e o binômio função tecnológica/processo de fabricação.

Os dados numéricos, os quais foram processados em planilhas, não serão apresentados integralmente neste item. Porém, para permitir uma análise apurada dos resultados aqui apresentados, optou-se por colocar no Apêndice as 5 planilhas com os dados agrupados por tipo de CP e no Apêndice 6 duas tabelas resumo para cada tipo de CP: uma referente aos parâmetros verticais de textura e outra referente aos parâmetros horizontais e de forma. Em cada uma das tabelas do Apêndice 6 são apresentados os resultados das medições com a sonda mecânica e com a sonda óptica: valores médios dos parâmetros de textura processados e outras grandezas representativas, as quais serão descritas a seguir. A ordem de apresentação dos CP nas planilhas do Apêndice 5 e nas tabelas do Apêndice 6 é igual a seguida na tabela 3 do item 4.1.

Como grandezas representativas foram selecionadas: os valores médios dos parâmetros de textura (\bar{x}), os desvios padrões (s) (SPIEGEL, 1985), e as incertezas das médias (\hat{i}), calculada segundo a Expressão 4 (LINK, 1997).

$$i = \pm \frac{t_{95\%} \times s}{\sqrt{n}} \quad [*] \quad (4)$$

i = incerteza da média [* unidade do parâmetro processado]

s = desvio padrão [unidade do parâmetro processado]

$t_{95\%}$ = coeficiente de Student para 95% de confiança e GL igual a $n-1$

n = número de medições

Deve-se observar que as incertezas apresentadas neste trabalho só poderão ser comparadas com incertezas obtidas a partir dos resultados de outros experimentos, se forem feitos os mesmos números de medições por CP. Pode-se também calcular a incerteza de medição a partir das incertezas das médias e dos respectivos números de medições, eliminando-se a necessidade de se repetir o mesmo número de medições.

Na última linha de cada tabela do Apêndice 6 é apresentado o resultado do cálculo da razão percentual R (Expressão 5), grandeza que foi escolhida para fundamentar a análise comparativa entre os resultados obtidos com a sonda mecânica e com a sonda óptica. Nestas tabelas o índice m corresponde aos resultados obtidos com a sonda mecânica e o índice o aos resultados obtidos com a sonda óptica.

$$R = 100 \times \frac{x_o}{x_m} \quad [\%] \quad (5)$$

R = razão percentual [%]

x = valor médio do parâmetro de textura em análise

o = índice para medição com sonda óptica

m = índice para medição com sonda mecânica

Todos os parâmetros elencados nas tabelas do Apêndice 6 foram apresentados e discutidos no Capítulo 3 e estão definidos no Apêndice 2. A unidade p/mm, que aparece com os parâmetros P_c e HSC (contagem de picos) corresponde ao número de picos por milímetro linear, que é a unidade padrão para contagem de picos.

Os valores das razões percentuais (R) para cada combinação de tipo de CP e tipo de parâmetro processado, foram extraídos das tabelas A6-1 a A6-40 (Apêndice 6) e reagrupados nas tabelas 4 e 5 deste item. Na tabela 4 são apresentadas as razões percentuais para os parâmetros verticais de textura e na tabela 5 são apresentadas as razões percentuais para os parâmetros horizontais e de forma. Nestas tabelas não se obedeceu a seqüência original dos CP apresentada na tabela 3. Para se facilitar a comparação de resultados, preferiu-se reagrupar os CP de acordo com o tipo da textura da superfície de cada um deles: retificado, lapidado, polido, torneado e sinterizado, ficando a resina acrílica e o gesso como grupos a parte. Na primeira coluna das tabelas 4 e 5 é dada a descrição do CP. A numeração da segunda coluna corresponde ao grupo ao qual o CP pertence (de acordo com a seqüência apresentada na tabela 3). Nas colunas seguintes, $R(R_a)$ corresponde à razão percentual R calculada para R_a , $R(R_z)$ corresponde à razão percentual R calculada para R_z e assim por diante.

5.3.1 Análise geral

Estudando-se os resultados apresentados na Tabela 4 observa-se que, independentemente do tipo de material estudado ou do tipo de processo de obtenção da superfície, a razão percentual R é sempre maior do que 100% para os parâmetros verticais de textura (exceto para W_t). O que equivale a dizer que estes parâmetros sempre resultarão maiores para a leitura com sonda óptica. Os motivos para este tipo de comportamento já foram discutidos detalhadamente nos itens 5.1 e 5.2 e as conseqüências serão discutidas ao longo deste e dos próximos sub-itens (5.3.2 e 5.3.3)

TABELA 4. Quadro sinóptico das razões percentuais (*R*) entre os parâmetros verticais de textura obtidos com apalpamento por sensor óptico e com apalpamento por sensor mecânico.

		PARÂMETROS VERTICAIS									
CP		<i>R</i> (<i>R_a</i>) [%]	<i>R</i> (<i>R_z</i>) [%]	<i>R</i> (<i>R_{pm}</i>) [%]	<i>R</i> (<i>R_p</i>) [%]	<i>R</i> (<i>R_{max}</i>) [%]	<i>R</i> (<i>R_i</i>) [%]	<i>R</i> (<i>P_t</i>) [%]	<i>R</i> (<i>W_t</i>) [%]		
Aço ABNT 1045 retificado	01	262	293	271	236	267	264	257	187		
Aço Din 100Cr6 retificado	09	154	176	181	171	170	169	155	48		
Aço ABNT 1045 retificado e nitretado	02	347	373	319	283	359	348	328	154		
Aço ABNT 1045 lapidado e nitretado	04	757	783	592	519	768	758	693	255		
Aço ABNT 1045 lapidado	03	963	985	768	699	976	961	944	830		
Aço inoxidável SAE 316 lapidado	07	849	903	715	660	895	876	794	452		
Aço ABNT 1045 polido	05	449	729	719	705	787	778	439	141		
Aço inoxidável SAE 316 polido	08	574	726	748	678	687	677	324	127		
Alumínio polido	15	538	517	404	481	467	470	194	67		
Cobre polido	16	422	625	609	483	546	540	299	94		
Aço inoxidável SAE 316 faceado	06	118	149	131	126	147	148	122	65		
Aço fundido torneado	10	123	162	126	130	155	154	149	109		
Alumínio torneado	14	203	298	263	273	358	362	357	443		
Aço sinterizado e nitretado 1	11	180	165	151	120	152	145	142	66		
Acó sinterizado e nitretado 2	13	206	204	229	192	196	194	165	36		
Aço sinterizado	12	217	228	352	275	215	214	185	38		
Resina acrílica lixada	17	430	620	-----	-----	-----	564	-----	-----		
Resina acrílica polida quimicamente	18	240	380	-----	-----	-----	442	-----	-----		
Resina acrílica em bruto	19	297	368	-----	-----	-----	337	-----	-----		
Gesso	20	108	134	170	191	136	140	146	190		
Razão percentual máxima (<i>Rmaxf</i>)		963	985	768	705	976	961	944	830		
Razão percentual mínima (<i>Rmin</i>)		108	134	126	120	136	140	122	36		

TABELA 5. Quadro sinóptico das razões percentuais (*R*) entre os parâmetros horizontais e de forma obtidos com apalpamento por sensor óptico e com apalpamento por sensor mecânico.

PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA										
CP	<i>R</i> (S _m) [%]	<i>R</i> (P _c) [%]	<i>R</i> (HSC) [%]	<i>R</i> (L _r) [%]	<i>R</i> (L _a) [%]	<i>R</i> (D _a) [%]	<i>R</i> (t _p) [%]	<i>R</i> (S _k) [%]		
Aço ABNT 1045 retificado	20	3291	2041	111	38	690	29	93		
Aço Din 100Cr6 retificado	41	609	565	118	48	339	43	98		
Aço ABNT 1045 retificado e nitretado	27	1927	968	125	40	860	20	172		
Aço ABNT 1045 lapidado e nitretado	61	2875	1599	130	71	1043	15	45373		
Aço ABNT 1045 lapidado	77	6593	4526	136	79	1226	9	1317		
Aço inoxidável SAE 316 lapidado	70	6057	4140	138	77	1257	8	536		
Aço ABNT 1045 polido	-----	1584	1461	-----	-----	-----	-----	-----		
Aço inoxidável SAE 316 polido	-----	4424	14798	-----	-----	-----	-----	-----		
Alumínio polido	-----	1430	960	-----	-----	-----	-----	-----		
Cobre polido	-----	2496	2163	-----	-----	-----	-----	-----		
Aço inoxidável SAE 316 faceado	26	237	467	119	26	454	75	18		
Aço fundido torneado	34	279	450	121	23	520	88	671		
Alumínio torneado	58	178	372	102	43	441	23	110		
Aço sinterizado e nitretado 1	19	1400	1404	139	33	584	94	78		
Acó sinterizado e nitretado 2	26	3022	3239	142	45	464	83	102		
Aço sinterizado	28	2657	2711	143	49	457	29	90		
Resina acrílica lixada	39	19000	25986	117	27	-----	-----	-----		
Resina acrílica polida quimicamente	72	829	1111	104	48	-----	-----	-----		
Resina acrílica em bruto	83	197	230	103	66	-----	-----	-----		
Gesso	107	500	603	103	93	118	54	29		
Razão percentual máxima (<i>Rmaxi</i>)	107	19000	25986	143	93	1257	94	45373		
Razão percentual mínima (<i>Rmin</i>)	19	178	230	102	23	118	8	18		

A maioria das especificações técnicas para a textura de superfícies se baseiam em parâmetros verticais, principalmente R_a , R_z e R_t , obtidos através de sondas com sensores mecânicos do tipo estilete. Portanto, é muito importante se estar ciente da existência de diferentes resultados no apalpamento com sensores mecânicos e no apalpamento com sensores ópticos, bem como quantificar as diferenças, antes de se partir para a análise dos dados obtidos com uma sonda óptica.

Peças com as texturas das superfícies perfeitamente aptas a cumprir suas funções tecnológicas, poderão ser descartadas se medidas com uma sonda óptica, uma vez que os resultados de medição indicarão parâmetros verticais de textura com valores possivelmente bem maiores que os especificados em projeto, ainda que eles possam estar de acordo com as especificações válidas para a medição com sondas mecânicas.

Também pode ser observado na tabela 4, que os maiores valores para as razões percentuais se concentraram nos CP lapidados e polidos, onde as preponderantes diferenças de forma de quarta ordem em diante só são plenamente captadas pelo sensor óptico. Para estes CP, a única opção de medição direta da textura sem se correr o risco de danificar a superfície é através de um sensor óptico. Portanto, é necessário se quantificar as diferenças para poder utilizar-se como base de comparação os dados oriundos da medição de outros tipos de textura mensuráveis com uma sonda mecânica. Por outro lado, pode-se estar de fato se querendo uma análise da textura com uma resolução melhor e neste caso a utilização do apalpamento com um sensor óptico seria uma boa opção. Partindo-se desta premissa, torna-se necessário complementar o conhecimento sobre as relações texturas/funcões com a adição das novas informações advindas das medições com o apalpamento por sensores ópticos.

Uma análise mais detalhada sobre as diferenças percentuais obtidas para os parâmetros de textura verticais será feita no sub-item 5.3.2.

No caso das razões percentuais para os parâmetros horizontais e de forma (tabela 5) ocorrem situações distintas para os diferentes parâmetros processados.

Comparando-se os resultados gráficos (protocolos de rugosidade das figuras 47 a 66) entre as medições com a sonda óptica (SO) e com a sonda mecânica (SM), nota-se que as medições com a SO sempre resultaram em perfis apresentando uma quantidade maior de vales, que também apresentaram uma profundidade maior e um maior número de picos locais e absolutos por unidade de comprimento. Destarte, parâmetros como: densidade de picos (P_c), contagem dos picos mais elevados (HSC), comprimento retificado do perfil (L_r) e declive médio do perfil (\bar{D}_a), sempre resultaram maiores para as medições com a SO ($R > 100\%$). Estes parâmetros têm sua principal aplicação na especificação de superfícies preparadas para servirem de substrato a um posterior recobrimento. Seu controle é muito importante na produção de chapas laminadas para carrocerias de veículos automotores, em superfícies metálicas destinadas a posteriores revestimentos cerâmicos ou revestimentos metálicos de alta resistência à abrasão e ao ataque químico e também em superfícies que deverão se manter fortemente unidas por processos união com adesivos químicos, a exemplo de componentes utilizados na exigente indústria aeronáutica. Outro campo importante de aplicação se relaciona às superfícies que devam ter propriedades de reflexão ou aparência visual controladas. Nestes casos, superfícies do mesmo material e com iguais especificações de parâmetros de textura verticais podem apresentar propriedades ópticas (reflexão e dispersão da luz) bastante distintas. Repetem-se aqui as mesmas observações gerais feitas em relação aos parâmetros verticais de textura, tanto sob o ponto de vista da necessidade da correção dos resultados obtidos com a

SO em relação aos resultados obteníveis com uma SM, quanto no caso do aproveitamento da melhor resolução do feixe óptico.

Pelo mesmo motivo que os parâmetros P_c , HSC, L_r e D_a , sempre resultam maiores para as medições com a SO, a distância média entre as irregularidades do perfil (S_m), o comprimento médio de onda da rugosidade (L_a), e a taxa de suporte do perfil (t_p), sempre resultarão menores ($R < 100\%$). S_m e L_a têm as mesmas aplicações dos parâmetros P_c , HSC, L_r e D_a , não sendo portanto necessário discutir novamente as mesmas questões. No caso do de t_p é importante se fazer algumas considerações gerais.

A taxa de suporte do perfil t_p é um parâmetro de importância indiscutível. A partir dela é construída a curva de suporte do perfil (TPK), de onde são extraídos vários parâmetros aplicáveis à análise de superfícies com funções tribológicas, R_{pk} , R_{vk} e R_k dentre outros. Percorrendo-se as tabelas do Apêndice 6, observa-se que os valores de t_p obtidos na medição com a SO sempre são inferiores aos obtidos mecanicamente ($R < 100\%$), em alguns casos drasticamente (tabela A6-6). Valores menores de t_p induzem a concluir que a superfície tem menor capacidade de carga, em consequência se concluirá também que ela estará sujeita a uma maior taxa de desgaste e a tudo que daí advém. Nas peças utilizadas em mancais lubrificados, com superfícies de contato com perfil platafórmico (ver o perfil da superfície brunida na figura 29), é muito provável que as diferenças se acentuem devido à maior resolução do sensor óptico. Nestes casos, as diferenças entre os resultados obtidos com o apalpamento por um sensor óptico e o apalpamento por um sensor mecânico podem levar a conclusões bastante equivocadas. Aqui também é importante se quantificar as diferenças para os casos em que seja impossível o apalpamento com um sensor mecânico.

Da análise dos resultados apresentados nas tabelas do Apêndice 6, podem ser abstraídas outras importantes observações. Dentre elas destacam-se as que dizem respeito à dispersão dos resultados de medição.

De uma maneira geral as incertezas das médias (doravante denominadas simplesmente de incertezas) obtidas para a SM e para a SO, i_m e i_o respectivamente, foram razoáveis. Na maioria dos casos, estas incertezas assumiram valores inferiores a 10% dos valores médios dos parâmetros de textura processados. Porém, alguns parâmetros tais como P_t , W_t , R_v e R_p são naturalmente dispersivos (pois medem valores máximos e podem variar muito de CP para CP) e nestes casos as incertezas assumiram valores maiores. O parâmetro com o comportamento mais dispersivo foi W_t , que será tratado mais detalhadamente no sub-item 5.3.3. Por outro lado, os parâmetros R_a , R_z , L_a , R_{pm} e D_a , que são calculados a partir de médias, tiveram incertezas da ordem de 5% dos valores médios dos parâmetros processados. Portanto, são bons parâmetros para uso prático, ao menos em termos de dispersão de resultados.

A sonda óptica apresentou, na maioria das vezes, resultados mais dispersivos (s_o) que a sonda mecânica (s_m). Este comportamento já era esperado, uma vez que o feixe óptico possui uma capacidade de perfilamento da superfície muito superior à da ponta do apalpador mecânico e, conseqüentemente, gera perfis com um nível de detalhamento também maior.

Também podem ser selecionados nas tabelas do Apêndice 6 os melhores e os piores CP em termos de dispersão de resultados. Os CP de aço ABNT 1045 retificado, de aço DIN 100Cr6 retificado, de aço fundido FC25 torneado e de alumínio torneado, apresentaram os menores valores para as dispersões (s_m e s_o) e para as relações entre as incertezas e os valores médios dos parâmetros de textura (i_o/x_o e i_m/x_m). Os CP de cobre e de alumínio polido foram os piores.

5.3.2 Seleção de parâmetros e comparação de resultados

Não será feita neste trabalho a comparação entre todos os parâmetros de textura processados a partir dos dados obtidos com os dois tipos de sonda, mecânica e óptica. Primeiramente porque alguns deles são extremamente dispersivos (S_K e W_t) e uma abordagem detalhada exigiria espaços amostrais muito maiores do que os que estavam disponíveis. Em segundo lugar, porque alguns dos parâmetros processados são de importância secundária para os objetivos específicos deste trabalho (P_t , L_a , D_a , t_p e S_K). O processamento destes parâmetros se justificou como critério de seleção de medições aceitáveis, grande potencial de utilização em futuras pesquisas e necessidades específicas dos grupos com os quais se desenvolveram os trabalhos conjuntos (motivo pelo qual alguns parâmetros também deixaram de ser processados). Por fim, existem condições restritivas para a leitura de alguns parâmetros de textura verticais e de forma (processador do rugosímetro). Estas condições restritivas podem, dependendo do tipo de sonda utilizada, impedir o processamento destes parâmetros. Assim, não foi possível se obter as leituras de todos os parâmetros horizontais e de forma inicialmente propostos, para todos os corpos de prova e com os dois tipos de sonda.

Optou-se por selecionar parâmetros de textura que fossem ao mesmo tempo significativos na comparação entre as sondas e de uso generalizado no meio científico e no meio industrial, permitindo assim atingir um dos objetivos almejados do trabalho: aplicação prática dos resultados. Os parâmetros selecionados a partir deste critério foram:

- ⇒ Rugosidade média aritmética, R_a
- ⇒ Profundidade média do perfil, R_z
- ⇒ Altura total do perfil, R_t
- ⇒ Contagem de picos superiores, HSC
- ⇒ Contagem de picos, P_c

A importância e a aplicabilidade destes parâmetros já foram discutidas no Capítulo 3. Os parâmetros verticais: R_a e R_z , tiveram pouca dispersão e também uma baixa incerteza. P_c e HSC não tiveram as mais baixas dispersões ou melhores incertezas, mas foram os únicos parâmetros horizontais que puderam ser processados para todos os tipos de CP.

Esta seleção de parâmetros não impediu que fossem feitas, quando pertinentes, análises com outros parâmetros também importantes. Porém, as análises mais detalhadas se restringiram aos parâmetros aqui selecionados. Além disso, pretende-se utilizar parte dos resultados experimentais não concernentes ao escopo desta pesquisa em trabalhos futuros, como já foi mencionado na introdução deste capítulo.

Para auxiliar a visualização dos resultados com os parâmetros de textura selecionados, construíram-se os gráficos de barras das figuras 84 e 85 a partir, respectivamente, dos dados das tabelas 4 e 5. Os CP não foram elencados segundo a seqüência apresentada na tabela 3, mas segundo a ordem decrescente das razões percentuais de um parâmetro vertical e de um parâmetro horizontal previamente selecionados. Desta forma, utilizou-se $R(R_a)$ como referência para o gráfico da figura 84 e $R(P_c)$ como referência para o gráfico da figura 85.

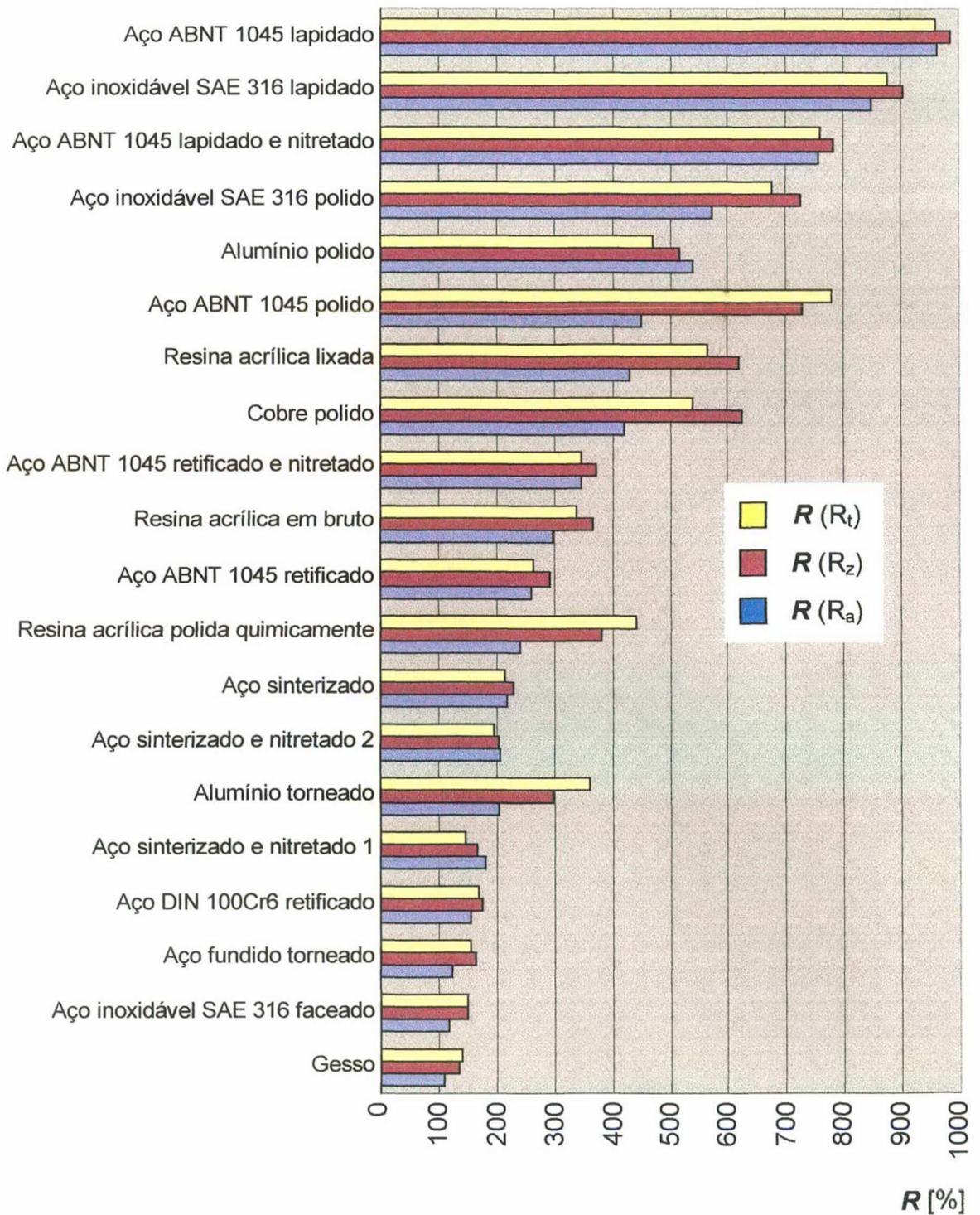


FIGURA 84. Razões percentuais (R) entre os parâmetros R_a , R_z e R_t , medidos através de apalpamento com o sensor óptico e com o sensor mecânico.

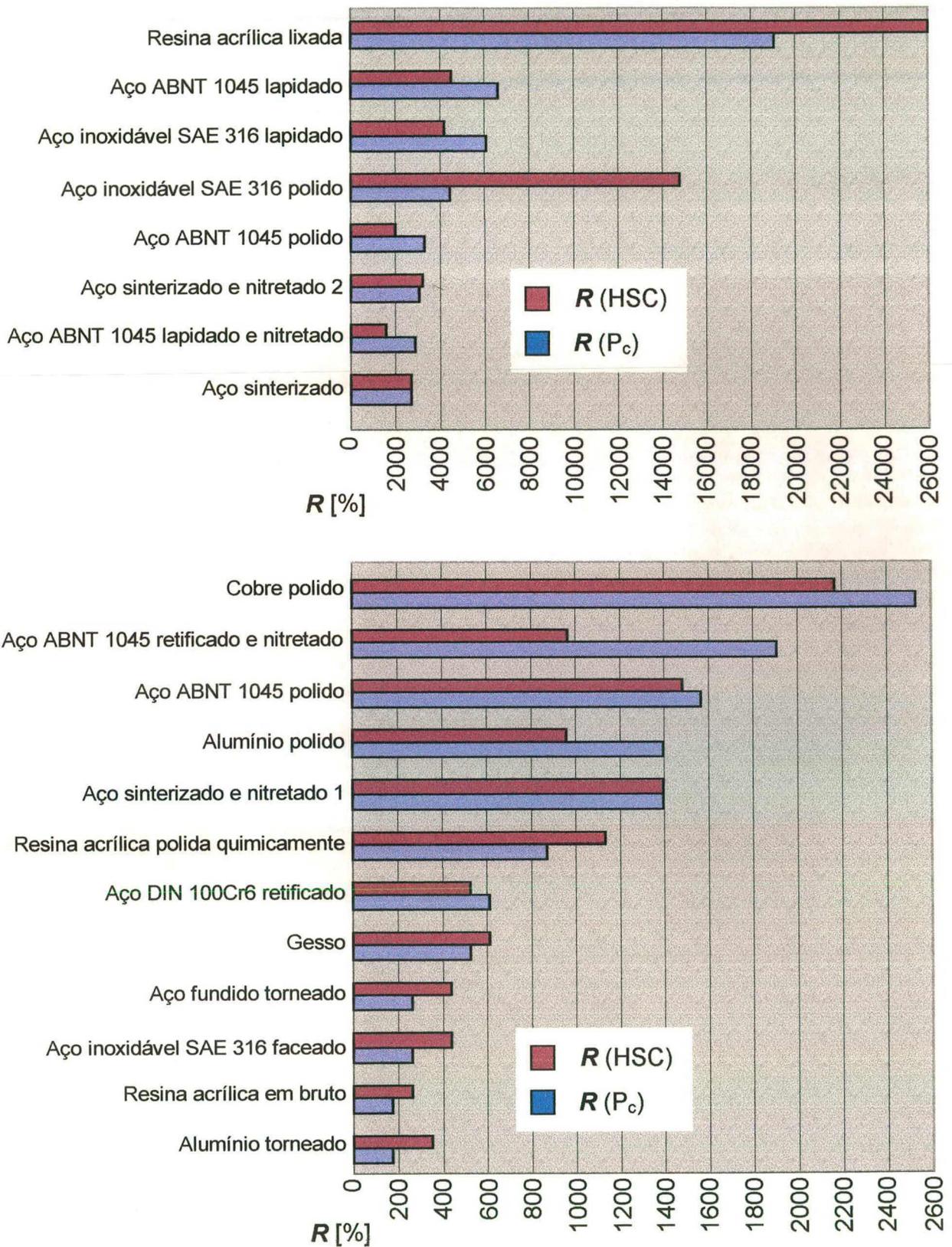


FIGURA 85. Razões percentuais (R) entre os parâmetros Pc e HSC, medidos através de apalamento com o sensor óptico e com o sensor mecânico.

Os CP com os melhores acabamentos superficiais, lapidados e polidos, foram os que apresentaram as maiores razões percentuais para os parâmetros verticais (figura 84) e também estão entre os mais sensíveis à passagem do apalpador mecânico (item 5.2). Para os CP polidos os parâmetros verticais obtidos com a SO são da ordem de 4 vezes maiores que os obtidos com a SM e para os CP lapidados de 8 a 9 vezes maiores. Para os parâmetros horizontais P_c e HSC (figura 85) ocorre a mesma coisa, excetuando-se o alumínio e o cobre polidos, os restantes CP polidos e lapidados possuem as maiores razões percentuais. As diferenças são superiores à dos parâmetros verticais, variando de 9 vezes (alumínio polido) a mais de 65 vezes (aço ABNT 1045 lapidado). Isto também pode ser explicado pelo fato do sensor óptico possuir uma resolução muito melhor que o sensor mecânico, assim ele capta muito mais picos locais na mesma unidade de comprimento. Os resultados das tabelas do Apêndice 6 e os gráficos de perfis de rugosidade das figuras 66, permitem concluir que o efeito da melhor resolução do sensor óptico é bem mais influente sobre os parâmetros horizontais que sobre os parâmetros verticais.

A discrepância entre os resultados obtidos com a sonda óptica e com a sonda mecânica para os CP lapidados e polidos pode gerar sérios problemas na prática da medição da textura, uma vez que uma das principais aplicações da sonda óptica se refere a superfícies finamente acabadas e que as funções destas superfícies estão intimamente relacionadas com as amplitudes e os espaçamentos dos desvios de terceira ordem em diante. Destarte, as informações sobre a textura das superfícies destas peças polidas e lapidadas medidas com uma SO não podem ser avaliadas à luz de conceitos baseados em medições originariamente feitas com uma SM. Sugere-se que sempre sejam tomadas precauções antes de se utilizarem os resultados obtidos via SO. O mais indicado seria sempre se ter algumas medidas comparativas (efetuadas

em locais não funcionais da superfície), de modo a se levantar a razão percentual entre os resultados com um e com outro tipo de sonda. Assim, seria possível determinar-se um fator numérico para corrigir os resultados da medição antes de se partir diretamente para a análise da correlação função/textura, cujas principais referências se encontram ainda baseadas em dados obtidos com sondas mecânicas.

Também podem ser utilizadas técnicas especiais que permitam a medição de superfícies metálicas macias e finamente acabadas com sondas mecânicas. Dentre estas técnicas destacam-se: o endurecimento localizado da superfície a ser medida pelo super-resfriamento com nitrogênio líquido e a utilização de resinas epóxi especiais que permitem extrair um modelo inverso da textura da superfície.

Na medição indireta da textura de uma superfície via molde em resina, é necessário também se levar em conta que o perfil analisado na resina é o negativo do perfil presente de fato na peça. Neste caso é necessário se inverter o perfil, girando-o 180 graus em torno da linha média, antes de se processarem os cálculos da maioria dos parâmetros de textura. Excetuam-se R_a , R_q , R_z , R_t , R_{3z} e R_c , que independem da orientação vertical do perfil. Esta inversão de perfil só é possível em rugosímetros de bancada mais sofisticados e portanto é um fator limitante na aplicação da técnica de uso de máscaras em resina epóxi. Também deve se levar em conta, que os vales nem sempre são preenchidos completamente pela resina e por conseqüência serão reproduzidos com uma fidelidade menor que os picos, podendo distorcer sensivelmente o perfil final obtido. Além disso, a resina possui uma textura própria que pode encobrir certos elementos da textura da superfície medida, principalmente aqueles elementos correlacionados aos desvios de quarta ordem em diante.

No caso específico dos CP de aço: SAE 316 lapidado, ABNT 1045 lapidado e ABNT 1045 lapidado/nitretado, a medição deve ser feita diretamente com a sonda

mecânica. Assim, visto que não foi constatado nenhum dano superficial significativo em virtude da passagem do apalpador, seriam evitadas as diferenças entre os resultados obtidos com a SO e SM, os quais podem levar a conclusões indevidas. Por outro lado, também pode haver interesse em se analisar a textura com uma melhor resolução. Neste caso a utilização da SO é bastante apropriada, desde que não sejam utilizados como base de comparação dados oriundos da medição com sensores mecânicos.

Para os CP de aço DIN 100Cr6 retificado e de ABNT 1045 retificado/nitretado vale a mesma observação do parágrafo anterior. Para o ABNT 1045 retificado/nitretado, os parâmetros verticais obtidos com a SO são da ordem de 3 vezes maiores, e o horizontais da ordem de 100 vezes maiores. No caso do aço DIN 100Cr6 as diferenças são respectivamente da ordem de 1,5 vezes e 6 vezes. Isto inviabiliza a comparação direta com a maioria maciça das fontes, onde os resultados apresentados foram levantados por apalpamento mecânico. Então, não se justifica o uso da sonda óptica se não existirem danos superficiais. A menos que o uso freqüente da SM sobre os grãos duros de nitreto venha a danificar prematuramente a ponta do apalpador mecânico.

Comparados aos CP de aço ABNT 1045 retificados/nitretados, os CP de aço ABNT 1045 simplesmente retificado tiveram melhores valores de R para os parâmetros verticais (tabela 46), mas piores para os parâmetros horizontais. R_a , R_z e R_t ficaram em torno de 2,7 vezes maiores para a SO, enquanto que P_c e HSC ficaram respectivamente em torno de 300 vezes e 200 vezes maiores. Estes CP são sensíveis à passagem do apalpador mecânico (figura 67) e se for necessário evitar qualquer dano à superfície, sugere-se utilizar as mesmas técnicas propostas para os CP de cobre e de alumínio polidos.

Os aços sinterizados apresentaram razões percentuais relativamente baixas para os parâmetros verticais (tabela 46), os resultados de R_a medidos com a SO ficaram em torno do dobro dos medidos com a SM. No caso dos parâmetros horizontais P_c e HSC (tabela 47), houve um comportamento distinto para cada tipo de CP sinterizado. O CP sinterizado e nitretado do tipo 2 apresentou as maiores diferenças entre as medições com SO e com a SM, sendo que os resultados com a SO ficaram em torno de 30 vezes dos resultados com a SM. Em seguida vêm os CP unicamente sinterizados, com os resultados obtidos com SO iguais a aproximadamente 27 vezes dos obtidos mecanicamente. Por fim, os resultados obtidos com a SO para o CP sinterizado e nitretado do tipo 1 (engrenagem) ficaram aproximadamente iguais a 14 vezes dos resultados obtidos para a SM. Muitos componentes sinterizados não sofrem usinagem posterior ao processo de sinterização, o que implica dizer que a superfície funcional é aquela originada do processo. Nestas situações, devem ser tomadas as devidas precauções para que não haja uma interpretação equivocada dos resultados obtidos com a SO. Para os CP sinterizados e nitretados sugerem-se as mesmas providências citadas para os outros CP nitretados, isto é, medir diretamente com a SM, a menos que haja risco de dano prematuro à ponta do apalpador mecânico. No caso dos CP sinterizados e não nitretados, que foram sensíveis à passagem do apalpador, sugerem-se os mesmos cuidados aplicados aos CP finamente acabados.

Os corpos de prova torneados foram os que apresentaram os menores desvios de resultados entre os dois tipos de sonda (tabela 46 e tabela 47). Um dos motivos foi a predominância dos desvios de terceira sobre os de quarta ordem em diante, que inibiu um pouco o efeito da maior resolução do feixe óptico.

Os CP de aço SAE 316 e de aço fundido FC25 torneados não foram sensíveis à passagem do apalpador mecânico, ou seja, não foram sulcados por ele. Nestes dois

casos as respectivas razões percentuais se aproximaram muito, tanto para os parâmetros verticais quanto para os parâmetros horizontais. Os resultados para R_a medidos com a SO ficaram em torno de 1,2 vezes dos medidos com a SM, enquanto R_z e R_t ficaram da ordem 1,5 vezes. Já os parâmetros P_c e HSC, ficaram da ordem de 2,5 vezes e 4,5 vezes respectivamente. Como estes CP resistem bem a passagem do apalpador mecânico e não possuem dureza e microgeometria favorável ao desgaste prematuro do mesmo, sugere-se o uso da SM sempre.

O CP de alumínio torneado foi bastante sulcado pela passagem do apalpador mecânico e a sua superfície funcional não pode sofrer danos, uma vez que serve como espelho. Este CP foi o que apresentou globalmente as menores razões percentuais para os parâmetros horizontais e de forma, (tabelas 47 e tabela 31), o que é muito positivo para o tipo de aplicação a que se propõe. Ainda assim, as diferenças entre os resultados ópticos e mecânicos podem conduzir a equívocos. O valor de R_a medido opticamente é da ordem de 2 vezes do medido mecanicamente. Para R_t esta razão passa a ser de 3,6 vezes e para HSC de 3,7 vezes. Aqui também se exige a adoção dos procedimentos sugeridos para os CP polidos: uso de métodos de endurecimento superficial localizado, uso de resinas epóxi para confecção de moldes, utilização de algumas peças para efetuar o levantamento de um padrão de comparação ou geração de dados especificamente obtidos pelo perfilamento óptico e sua correlação com o comportamento funcional da superfície.

Os CP em resina acrílica tiveram comportamentos diversos em função do tipo de acabamento. Na prática estas resinas acrílicas não são utilizadas nos aparelhos ortodônticos sem nenhum tipo de acabamento após a cura. Ou são lixadas ou são polidas quimicamente. O objetivo é se evitar a formação de superfícies propícias à aderência de produtos que ensejem a proliferação de bactérias. A resina acrílica polida

quimicamente teve piores resultados de acabamento que a lixada (tabelas 36 a 39), porém, apresentou a menor razão percentual. Os motivos para tal já foram descritos nos itens 5.1 e 5.2. Para este tipo de CP é mais crucial se avaliar P_c ou HSC (tabela 47), que têm uma correlação direta com a capacidade de ancoramento mecânico na superfície (item 3.6). O parâmetro P_c para a resina lixada e medida com a SO é 190 vezes maior do que quando medido com a SM. Isto ocorre porque o processo de lixamento mecânico gera na superfície da resina muito mais picos locais que os existentes na superfície bruta de cura, além de serem expostos poros que antes do lixamento se encontravam abaixo da superfície livre. Estes novos picos e poros são plenamente captados pelo sensor óptico, porém dificilmente são captados pelo sensor mecânico. Mais uma vez os resultados encontrados na literatura estão baseados em dados obtidos mecanicamente e, embora a SO tenha medido a superfície com melhor resolução, seria incorreto se utilizar os dados com ela obtidos sem uma correção prévia dos resultados. Em menor escala, o mesmo se repete para as resinas polidas quimicamente e em bruto. Como não houve danos inaceitáveis às superfícies dos CP de resina acrílica medidos com a SM (item 5.2), sugere-se que os mesmos continuem sendo medidos mecanicamente. A menos que se deseje revelar detalhes não captáveis por um sensor mecânico.

O tipo de gesso utilizado para confecção dos CP do grupo 20 (ver tabela 03, página 124) foi aplicado como molde para os CP de resina acrílica. Estes CP de gesso foram inicialmente medidos com o intuito de se avaliar a influência de sua própria textura sobre a textura final dos CP de resina. Para surpresa geral foram eles que apresentaram a menor razão percentual para os parâmetros verticais, com o comportamento muito semelhante ao dos CP de aço SAE 316 faceado. Infelizmente o mesmo não ocorreu em relação aos parâmetros horizontais, onde os valores obtidos opticamente chegaram a ser da ordem de 6 vezes dos valores lidos mecanicamente. E

neste caso específico, são estes os parâmetros mais importantes na análise da relação função/textura.

Na análise dos perfis de rugosidade e dos perfis primários obtidos durante os experimentos não se observou a presença de picos ou vales de magnitudes significativas gerados por distorções ópticas. Também se sabe que o feixe óptico capta mais detalhadamente as irregularidades do perfil. Portanto, conclui-se que a SO apresenta resultados mais próximos da superfície real. Destarte, é necessário se reconsiderar as relações textura/função à luz dos resultados obtidos com uma SO, ou então se gerar métodos práticos para se possa equivaler os resultados obtidos opticamente e mecanicamente, até que se difunda plenamente o uso de sondas ópticas.

5.3.3 Comentários sobre outros parâmetros

Como foi dito anteriormente, mesmo não sendo possível se analisar em detalhes todos os parâmetros de textura inicialmente propostos, algumas considerações de ordem geral podem ser feitas em relação a alguns dos parâmetros excluídos do detalhamento.

O parâmetro R_{\max} teve um comportamento semelhante ao parâmetro R_t , com valores para as razões percentuais estatisticamente iguais, sendo desnecessário se tecer maiores comentários.

O parâmetro R_{pm} , é um parâmetro de média assim como R_z , porém só leva em conta a parte do perfil de rugosidade acima da linha média (Apêndice 2). O fato das medições com a sonda óptica apresentarem resultados maiores que os obtidos com a sonda mecânica, pode induzir ao raciocínio errôneo de que a superfície tem menor

capacidade de suporte (picos mais sobressalentes em relação a linha média). Também é necessário se quantificar as diferenças antes de se utilizar como base de análise dados oriundos de medições com sensores mecânicos. Os CP que apresentaram as maiores razões percentuais R , foram aqueles cujos desvios de quarta ordem em diante têm as maiores influências sobre a melhor resolução do sensor óptico: lapidadas, polidas e resina lixada. Raciocínio similar se aplica para o parâmetro R_p .

A profundidade máxima de ondulação (W_t) é pouco discutida na literatura, mas não se pode considerá-lo pouco importante. Este parâmetro se relaciona com os desvios de segunda ordem, portanto, com as condições das guias e dos apoios dos carros porta-ferramentas das máquinas. Com o aumento das exigências quanto à qualidade dos produtos industriais, principalmente no tocante à diminuição das tolerâncias dimensionais e de forma, é provável que surja uma tendência de se valorizar a sua quantificação e o seu controle. Nas medições feitas neste trabalho observou-se que W_t apresentou uma dispersão muito grande, mas razões percentuais (R) menores que R_t . Neste caso a melhor resolução do sensor óptico teve menor influência, porque está se medindo desvios de segunda ordem, com relações de largura e profundidade bem maiores que os desvios de quarta ordem em diante.

O parâmetro S_k teve um comportamento muito diferente de todos os outros parâmetros estudados, com razões percentuais variando de 18% a 45.373%. Embora este comportamento não fosse previsto inicialmente, pode-se justificá-lo. S_k está correlacionado com o terceiro momento central da distribuição de ordenadas do perfil de rugosidade. Portanto, no seu cálculo as ordenadas do perfil de rugosidade são computadas com a potência 3 (três). Isto faz com que pequenas diferenças entre as ordenadas obtidas com um e com outro tipo de sonda resultem em diferenças muito grandes no cálculo final do parâmetro. O resultado final foi o comportamento apresentado na tabela 5.

5.3.4 Discussão sobre a metodologia de medição proposta e aplicada

No caso especial desta pesquisa, não foi necessário se aplicar item por item da proposta de metodologia de medição da textura de superfícies que foi detalhada no Capítulo 4. A referida proposta pretende servir de referência para aqueles técnicos que têm pouco domínio sobre a problemática da textura de superfícies, mas necessitam extrair dela resultados a respeito da correlação entre a textura e o comportamento funcional de uma superfície ou a respeito da variação da textura de uma superfície usinada em relação às condições de fabricação desta superfície. Portanto, técnicos que precisam medir a textura de superfícies.

A primeira pergunta a se fazer é: a textura da superfície tem de fato influência significativa sobre o fenômeno estudado? Esta questão é aparentemente simplória, mas não se pode esquecer que a especificação ou a medição da textura de uma superfície envolve custos adicionais e também pode aumentar significativamente o tempo de duração de um processo produtivo ou de um trabalho técnico-científico.

A segunda pergunta a se fazer antes de se partir para a medição propriamente dita é: os parâmetros a serem medidos já foram previamente e corretamente especificados?

Caso a resposta seja negativa, recomenda-se pesquisar na literatura especializada qual é a provável relação entre a textura superficial e o fenômeno estudado. Em seguida elencar os parâmetros de textura de superfícies que melhor caracterizem a possível relação entre a textura da superfície e o fenômeno estudado.

Das questões supracitadas foram solucionadas aquelas pertinentes a este trabalho, antes do início das tarefas de medição dos CP.

Uma vez confirmada a necessidade de se medir a textura de uma superfície e selecionados os parâmetros de textura mais significativos, recomenda-se que seja seguido um roteiro para executar a medição da textura com rapidez e com confiabilidade. Baseado na experiência adquirida durante o desenvolvimento da pesquisa e nas recomendações encontradas na literatura pesquisada, sugere-se o seguinte roteiro:

- Pré avaliar a resistência da superfície à passagem de um sensor mecânico. Se necessário especificar a medição por meio de sensores sem contato mecânico.
- Manter o equipamento e as sondas permanentemente calibrados e verificar com frequência o estado da ponta do sensor mecânico.
- Fazer medições prévias e seguir a recomendação das respectivas normas técnicas para seleção do cut-off (λ_c).
- Evitar o uso de filtros do tipo RC, dando preferência a filtros de fase corrigida.
- Para superfícies de componentes sinterizados e para superfícies brunidas é recomendável o uso de filtros especiais, com correção do perfil de rugosidade.
- Distribuir geometricamente as medições sobre toda a superfície em estudo.
- Para superfícies isotrópicas (perfis periódicos), fazer as medições sempre na direção que apresentar os maiores valores de R_a , perpendicularmente aos sulcos de usinagem. A menos que se queira avaliar características do mecanismo de remoção de cavaco, quando se deve medir a textura da superfície mantendo-se o sensor dentro dos sulcos de usinagem.

- Em superfícies não planas manter o percurso de apalpamento sobre uma geratriz retilínea da superfície, de modo a não se computar desvios de forma de primeira ordem ou ultrapassar a faixa de medição vertical da sonda utilizada. Na necessidade de se medir a textura segundo trajetórias não retilíneas, obriga-se o uso de dispositivos especiais.
- O número de medições deve ser tal que garanta uma dispersão de resultados inferior a 5% do valor médio do parâmetro medido. Só se justifica a aplicação de métodos estatísticos mais sofisticados na definição do número de amostras, para a medição de parâmetros de textura com tolerâncias muito estreitas.
- Avaliar as incertezas envolvidas na medição (calcular pelo menos a incerteza da média) e exprimir os resultados de medição levando-se em conta estas incertezas.

Para a maioria dos CP medidos neste trabalho não foram necessárias mais do que dez medições para se chegar a um resultado dentro da recomendação citada acima. Alguns parâmetros bastante dispersivos como R_t precisariam de um número maior de medições. Em contra partida as especificações de tolerância para este parâmetro também são maiores e uma dispersão entre 5% e 10% já é aceitável.

Neste trabalho foi seguida a metodologia de medição proposta e os resultados obtidos mostraram a sua validade. Portanto, o roteiro apresentado anteriormente é mais um dos importantes resultados deste trabalho.

5.4 Interfaceamento entre o rugosímetro S8P e um microcomputador

No item 4.5 foi apresentada a metodologia para o desenvolvimento da comunicação entre um rugosímetro S8P e um microcomputador padrão PC 486. Esta metodologia se mostrou viável, uma vez que todos os testes elaborados demonstraram que a transferência dos dados brutos de medição e dos dados previamente filtrados foi feita com rapidez e exatidão.

A escolha da linguagem de programação C++ e do ambiente WINDOWS também mostrou ser uma boa opção. Conseguiu-se com isto o desenvolvimento de um programa que pode ser facilmente expandido através de módulos e utilizável em um grande número de microcomputadores, que na maioria dos casos trabalham em ambiente WINDOWS. Pode-se afirmar que este programa de comunicação tem um grande potencial de aplicação científico e tecnológico.

Embora não tenha sido um dos objetivos deste trabalho desenvolver um programa completo para o cálculo dos parâmetros de textura de superfícies, as necessidades específicas que foram surgindo nas pesquisas cooperativas junto a outros laboratórios, as necessidades que também foram surgindo durante os experimentos deste trabalho e os resultados concretos obtidos com o programa de comunicação computador/rugosímetro, deixaram patente a importância e a viabilidade de se desenvolver um programa completo para uso científico e tecnológico. A partir desta constatação iniciou-se a elaboração de novas rotinas de cálculo, as quais resultaram na opção de processamento dos parâmetros R_a , R_q , R_{max} e P_t . Rotinas que também foram testadas e tiveram a eficácia comprovada.

As fases subseqüentes de desenvolvimento do programa, que ainda faltam para se dispor de uma ferramenta computacional completa, devem ser objeto de trabalhos

futuros, uma vez que é indiscutível a necessidade técnico-científica deste tipo de programa computacional na análise da textura de superfícies técnicas. As rotinas que necessariamente devem ser desenvolvidas são:

- Implementação de rotinas de cálculo para todos os restantes parâmetros normalizados, função de autocorrelação, função Beta e análise de Fourier, além de deixar espaço aberto para implementação de rotinas para o cálculo de parâmetros não normalizados e para combinações de parâmetros;
- Implementação de uma rotina gráfica para geração e impressão dos perfis P, W e R, além das curvas de densidade de picos e de taxa de suporte do perfil;
- Geração de bancos de dados possíveis de serem lidos e tratados por programas matemáticos e estatísticos já existentes no mercado, facilitando as tarefas de cálculo; e
- Geração de rotinas independentes para filtragem dos perfis D e P, implementando os filtros já existentes (RC, Gaussiano e SF) e possibilitando o desenvolvimento de filtros mais dedicados à textura superficial.

A proposta inicial de geração de um programa computacional de comunicação entre um rugosímetro e um microcomputador não só foi completada como também foram implementados outros recursos. A rotina de comunicação propriamente dita, as rotinas de cálculo para parte dos parâmetros verticais de textura (R_a , R_q , R_{max} e P_t) e a rotina de apresentação de resultados em tela, estão todas devidamente documentadas (NÜSSLE, 1995) e também são resultados importantes deste trabalho.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES

Muito tem se discutido sobre a melhoria da qualidade industrial, que hoje vem na esteira da pressão exercida pela internacionalização dos mercados e é muito difícil, talvez até impossível, falar-se em qualidade industrial sem se falar em metrologia. No universo que é hoje a metrologia científica e industrial, destacamos neste trabalho a *metrologia de superfícies*, que tem um papel primordial no entendimento das correlações entre a função de uma superfície e a sua textura, além de ser uma ferramenta poderosa para o controle dos processos de usinagem.

O contínuo desenvolvimento de novas técnicas de fabricação, notadamente no campo da usinagem de precisão, as exigências mais e mais acentuadas de menores tolerâncias dimensionais e de forma e a busca de um entendimento pleno dos fenômenos que regem o comportamento funcional de uma superfície técnica, instigaram o desenvolvimento de equipamentos de medição que fossem capazes de vasculhar melhor as texturas das superfícies do que os tradicionais instrumentos que se baseiam na já consagrada técnica do perfilamento mecânico. Alguns métodos aplicam técnicas similares ao apalpamento mecânico, porém mais sofisticadas e ainda com problemas a resolver, exemplo típico do perfilamento óptico. Outros métodos se apropriaram das mais novas técnicas de microscopia e no momento estão ainda fora do campo de aplicação da fabricação convencional. Dois exemplos típicos são o microscópio de varredura por corrente de tunelamento e o microscópio de força atômica. Nesta busca incessante de novas técnicas se está conseguindo vasculhar melhor a microgeometria das superfícies. Porém, muito do que se estabeleceu para quantificar a textura de superfícies e compreender a relação textura/função ainda está

baseado no sistema de apalpamento com sensores mecânicos e nem sempre se pode utilizar os valores obtidos por outros meios de medição diretamente sem antes realizar-se uma análise adicional. Este trabalho também trouxe uma importante contribuição neste campo, apresentando as diferenças entre os resultados de medição com uma sonda óptica e com uma sonda mecânica, discutindo suas origens e propondo métodos de se aplicar indistintamente um e outro instrumento. Paralelamente ao desenvolvimento de melhores técnicas de avaliação da textura de superfícies, foram sendo criados mais e mais parâmetros descritivos, alguns muito simples e eficazes na descrição da textura superficial, outros nem tanto. É preciso um conhecimento mínimo e bastante senso crítico no momento de selecionar qual ou quais deles devem ser utilizados em cada problema específico.

Baseando-se no levantamento bibliográfico, nos contatos com o meio industrial e nas atividades experimentais desenvolvidas no decorrer deste trabalho, puderam ser tiradas as conclusões que serão apresentadas a seguir.

6.1 Revisão bibliográfica

Foi feita uma revisão bibliográfica bastante ampla sobre o tema *textura de superfícies*, a qual atendeu plenamente as necessidades experimentais e teóricas deste trabalho. Foi possível se compreender as mais variadas formas da relação textura/função e ter um pleno entendimento das definições e das propriedades de um grande número de parâmetros de textura. Com a associação de ambos os conhecimentos pôde-se atingir com êxito dois dos objetivos deste trabalho: a correta especificação de parâmetros de medição da textura em função dos problemas

específicos a serem analisados e a proposição de uma metodologia para a medição da textura de superfícies.

O estudo dos princípios de funcionamento dos vários tipos de equipamentos para a medição da textura, permitiram delinear a estratégia experimental para obtenção dos dados numéricos e gráficos e deram suporte para a análise destes dados e para a justificativa dos respectivos resultados.

Na literatura pesquisada também ficou constatado que mesmo os modernos equipamentos de medição da textura, com interfaces gráficas e conectados à microcomputadores, não atendem a todas as necessidades impostas pelos constantes avanços técnicos e pelas exigências de trabalhos científicos mais arrojados, motivando assim o desenvolvimento de uma rotina de comunicação rugosímetro/microcomputador que servisse de base para o futuro desenvolvimento de programas com interfaces mais amigáveis e de arquitetura aberta.

Por fim, as informações contidas na revisão bibliográfica fornecem, de forma resumida e objetiva, um panorama geral do estado da arte na especificação e na medição da textura de superfícies técnicas. Planejou-se com isto o desenvolvimento da primeira contribuição importante deste trabalho: a geração de um texto de referência na especificação e na medição da textura de superfícies técnicas.

6.2 Procedimentos de medição

Não se pôde constatar a existência de um procedimento padrão para a medição da textura superficial. Cada tipo de textura e cada tipo de parâmetro a ser avaliado apresentam dispersões distintas para um mesmo número de medições. Cabe ao

técnico, ou ao experimentador, estabelecer um limite superior admissível e um limite inferior economicamente aceitável para a dispersão e a partir daí fazer pré-testes para chegar ao procedimento adequado. Neste trabalho adotou-se como padrão uma dispersão inferior a 5% do valor médio do parâmetro em medição. Sempre que este valor não era atingido, aumentava-se o número de medições por corpo de prova. O resultado final foi bastante aceitável, inclusive para alguns parâmetros notadamente dispersivos como R_t .

Uma das importantes contribuições deste trabalho é a abrangente discussão a respeito dos procedimentos de medição da textura de superfícies e a proposta de um roteiro prático e objetivo para efetuar este tipo de medição.

6.3 Programas computacionais para a análise da textura superficial

Foi desenvolvido um programa computacional básico para a comunicação entre o rugosímetro de bancada e um microcomputador padrão PC 486. A linguagem de computação (C++) e o ambiente de programação (WINDOWS) inicialmente propostos se mostraram adequados e a comunicação entre os equipamentos foi plenamente satisfatória. Apesar de não ter havido tempo hábil para o desenvolvimento de rotinas de cálculo para uma vasta gama de parâmetros de textura, ficou patente a potencialidade do programa básico de comunicação para a aplicação científica e tecnológica.

Alguns dos atuais programas computacionais comerciais desenvolvidos e fornecidos pelos fabricantes de rugosímetros são de interface relativamente amigável e com uma gama cada vez maior de recursos. Todavia, a maioria impede o acesso aos dados brutos de medição e não permitem a introdução do cálculo de novos parâmetros,

a combinação de parâmetros, o teste de novos tipos de filtragem de sinais e a aplicação de novos conceitos matemáticos para avaliação da textura, como a geometria fractal por exemplo. Conclui-se então, que é muito importante o desenvolvimento dos programas para a comunicação rugosímetro/microcomputadores e das potenciais rotinas daí originadas, não na forma de concorrência aos recursos já existentes no mercado, mas sim como um complemento científico e tecnológico.

O desenvolvimento da rotina de comunicação entre o rugosímetro S8P e um microcomputador padrão PC486, das rotinas de cálculo e de toda a metodologia utilizada para tal se configuram portanto como outra importante contribuição deste trabalho ao estado da arte na medição e na especificação da textura de superfícies.

6.4 Desenvolvimento experimental

Não é recomendado se fazer a calibração de uma sonda óptica somente com padrões de rugosidade gerados a partir de perfis periódicos de superfícies anisotrópicas, pois neste tipo de perfil os desvios de terceira ordem são mais preponderantes que os de quarta ordem em diante e inibem a apresentação de resultados que ressaltem a maior capacidade de perfilamento da sonda óptica. Pode-se com isso crer erroneamente que os resultados de medição da sonda óptica sejam iguais ao de uma sonda mecânica que foi calibrada com mesmo padrão. Sugere-se o uso de padrões de rugosidade gerados a partir de superfícies isotrópicas ou pelo menos com perfis não periódicos.

A comparação entre os resultados numéricos obtidos com os dois tipos de sonda ficaria muito comprometida sem o auxílio dos gráficos de perfis de rugosidade. Com

estes gráficos e com a experiência adquirida ao longo de muitas horas de medição com vários tipos de materiais e de diferentes texturas, em condições variadas de medição, pôde-se constatar que as distorções ópticas só ocorrem em condições muito particulares. Condições estas não presentes para os corpos de prova utilizados neste trabalho. Nem sempre um parâmetro de rugosidade (ou um conjunto deles) é capaz de descrever plenamente uma superfície. Por isso, a análise dos gráficos de perfis de rugosidade deve ser utilizada sempre que for necessário se abstrair informações mais completas sobre a textura da superfície.

Nenhum dos resultados de medição obtidos com a sonda óptica apresentaram sinal evidente de distorções devidas ao comportamento do feixe óptico, o que permite afirmar que a diferença entre estes resultados e os obtidos com a sonda mecânica resultam da maior capacidade do feixe óptico em perfilar a superfície e da ausência de contato mecânico entre apalpador e superfície medida, o qual em alguns casos leva ao riscamento da superfície e, conseqüentemente, à alteração da textura original. Conclui-se então que não é completamente verdadeira a afirmação de que a sonda com perfilamento óptico pode ser utilizada no lugar da sonda mecânica com obtenção de resultados similares, ou pelo menos sujeitos ao mesmo nível de análise.

Da discussão apresentada no final do item 5.3.2, pode-se concluir que a sonda óptica gerou perfis efetivos mais próximos dos perfis reais do que a sonda mecânica. Embora não se deva utilizar diretamente os parâmetros calculados a partir daqueles perfis, sem antes adequá-los as condições de análise estabelecidas para a medição com apalpamento mecânico, abrem-se assim novas possibilidades de análise. Com um entendimento mais realístico da textura superficial de componentes mecânicos podem ser melhor entendidos os fenômenos que envolvem a interação entre superfícies, seja esta interação entre superfícies do mesmo estado físico (sólido/sólido) ou não

(sólido/líquido ou sólido/gás). No contexto de interação entre superfícies incluem-se os fenômenos de formação de cavacos tanto nos processos com geometria definida como nos processos abrasivos. Vem daí que um melhor perfilamento da textura de uma superfície usinada pode render melhores resultados no monitoramento de processos de usinagem.

Os corpos de prova com perfis periódicos são menos susceptíveis às diferenças entre as medições feitas com a sonda óptica e as medições feitas com a sonda mecânica do que os com perfis não periódicos com um mesmo nível de R_a . As diferenças tendem a crescer com o grau de acabamento das superfícies, quando passam a ser mais expressivos os desvios de quarta ordem em diante. Nem sempre uma textura mais complexa leva a diferenças maiores. É mais influente a relação entre as larguras e as amplitudes (profundidades) dos desvios e das falhas superficiais do que a complexidade da textura.

Na falta de outra opção de medição que não o perfilamento óptico e de dados comparativos entre este tipo de sonda e uma de perfilamento mecânico, deve-se optar pela adoção de parâmetros processados a partir de médias (como por exemplo: R_a , R_z , R_{pm} , L_a e D_a), os quais levam a diferenças muito menores que os parâmetros absolutos (como por exemplo: R_p , R_{max} , R_t e P_c).

Por ser este um trabalho de caráter original e que foi proposto com a filosofia de fomentar e fornecer subsídios teóricos e práticos para a elaboração de novas pesquisas, optou-se por estudar simultaneamente vários tipos de corpos de prova, com materiais e processos de fabricação variados. Com isso foram obtidas conclusões de caráter mais abrangente e menos específico. Para se conseguir levantar um banco de dados plenamente representativo, com as diferenças entre os resultados de medição com os dois tipos de sonda utilizadas, seria necessário selecionar um tipo específico de

material de engenharia (metálico, plástico ou cerâmico) e um processo com várias condições e parâmetros de usinagem distintos. Só assim seria gerado um número suficiente de texturas para a formação de uma base de dados representativa para um par específico de material e processo. Repetindo o procedimento para outros pares de materiais e processos se chegaria a um banco de dados geral. Mas, este tipo de procedimento fugiria do objetivo geral inicialmente proposto para este trabalho.

Há uma tendência cada vez maior de se empregarem equipamentos ópticos baseados no uso de feixes de laser nas diversas áreas metrológicas e a metrologia de superfícies não é uma exceção. Enquanto houver predominância de equipamentos de medição da textura baseados no apalpamento mecânico, é necessário que se tenha em mãos meios práticos de se comparar os resultados obtidos por perfilamento óptico com os obtidos mecanicamente, antes de se analisá-los. Primeiramente para não serem feitas considerações errôneas a respeito da correlação textura/função. Em segundo lugar, para evitar desencontros entre as especificações de projeto e o controle da textura na fabricação.

Antes do advento da presença predominante de instrumentos ópticos, é necessário se estudar detalhadamente os resultados obtidos com eles e a sua correlação com o comportamento funcional das superfícies, uma vez que com a maior capacidade de perfilamento de um feixe óptico pode ser aprimorado o conhecimento das relações funcionais já conhecidas ou até mesmo serem reveladas novas relações.

Os problemas analisados com as respectivas soluções, as justificativas para os vários resultados encontrados e para certos comportamentos da sonda mecânica e da sonda óptica, configuram-se como mais uma contribuição deste trabalho para estado da arte e servem de material de referência para outros pesquisadores que venham a se envolver com a medição da textura de superfícies.

6.5 Contatos com o meio industrial e formação de especialistas

O envolvimento intensivo com as atividades laboratoriais impediu um contato com um número expressivo de indústrias. Porém, como resultado destes contatos mais esparsos somados aos contatos freqüentes com outros grupos de pesquisa dentro e fora da UFSC, pôde-se tirar uma conclusão importante: embora muitos técnicos e engenheiros já tenham consciência da importância de se compreender a relação textura/função, poucos são capazes de descrever como especificar e avaliar a textura de acordo com a função pretendida. Também não está sendo ainda aproveitada plenamente a grande potencialidade de aplicação da análise da textura superficial no monitoramento de processos de usinagem. Estas constatações mostraram ser apropriada e importante uma das nossas propostas de trabalho: formação e treinamento de um grupo de pesquisa especializado na análise de textura de superfícies técnicas, permitindo apoio efetivo para pesquisas correlatas e para prestação de assessoria técnica às empresas interessadas, proposta esta implantada e em andamento.

6.6 Conclusões finais

Como conclusão final pode-se afirmar que foram atingidos praticamente todos os objetivos inicialmente propostos. Na revisão bibliográfica foram exaustivamente discutidos três problemas básicos que envolvem a problemática da análise da textura de superfícies técnicas: a metodologia de medição da textura, a adequação dos parâmetros de textura existentes para a caracterização e para a comparação de

superfícies técnicas e as origens das diferenças que podem existir entre os resultados da medição da textura superficial obtidos no apalpamento com sensores mecânicos e no apalpamento com sensores ópticos. Foram feitas várias medições com os dois tipos de sonda (mecânica e óptica) e os resultados e as diferenças discutidas e justificadas. Também foram feitas propostas para situações de aplicação específica de um tipo ou de outro tipo de sonda. Desenvolveu-se e testou-se a validade e a confiabilidade de uma metodologia de medição da textura de superfícies. Foi executada a comunicação entre um rugosímetro de bancada e um computador e desenvolvida uma rotina computacional para transferência de dados brutos de medição, bem como rotinas para o cálculo e apresentação de alguns parâmetros verticais de textura. Por fim, formou-se um grupo atuante na área de tecnologia de superfícies, com potencial para crescimento e trabalhando no sentido de consolidar o contato com empresas do ramo metal-mecânico, principalmente através de trabalhos cooperativos.

CAPÍTULO 7

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A problemática da textura de superfícies já vem sendo estudada há pelo menos setenta anos e ainda há muito por se fazer. O constante desenvolvimento de novos processos de fabricação (incluindo-se aí a promissora nanotecnologia), de novos materiais e de novos equipamentos de medição da textura superficial, associam-se à descoberta de novos princípios de medição e ao desenvolvimento de novos métodos de análise e modelagem de superfícies, impingindo novos desafios à metrologia de superfícies. Destaca-se, também, que o nível atual de desenvolvimento da computação eletrônica, tanto em termos de equipamento quanto em termos de programação, se por um lado tem facilitado a tarefa de medir e modelar superfícies, por outro lado tem exigido esforços crescentes para aproveitamento integral das novas tecnologias. Sob este prisma de necessidade constante de aprimoramento da metrologia de superfícies e em função das necessidades observadas durante a execução deste trabalho, são feitas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- ⇒ Desenvolvimento de *Sistemas Especialistas* para auxiliar projetistas a selecionar e quantificar os parâmetros de textura superficial mais adequados para satisfazer a relação textura/função.

- ⇒ Desenvolvimento de trabalhos teóricos/experimentais para correlacionar a dimensão fractal com os parâmetros de textura já existentes e levantar novas correlações entre a textura superficial e coeficientes da geometria fractal.

- ⇒ Desenvolvimento de programas de comunicação entre microcomputadores e rugosímetros que sejam de arquitetura aberta, permitindo: total acesso aos dados brutos de medição, novas possibilidades de filtragem, inclusão de novos parâmetros de textura e tratamento matemático-estatístico mais detalhado.

- ⇒ Levantamento das indústrias do setor metal-mecânico que lidam com superfícies que exijam análise apurada da textura superficial e análise da adequação dos parâmetros utilizados e da metodologia de medição por elas utilizadas (aplicação de formulários padrão como o do apêndice 4), tendo em vista a melhoria da qualidade do produto industrial nacional.

- ⇒ Levantamento de todas as fontes de incerteza na medição da textura superficial com apalpamento mecânico e óptico e desenvolvimento da metodologia de cálculo destas incertezas e das incertezas combinada e reduzida, permitindo a emissão de resultados de medição com maior confiabilidade.

- ⇒ Estudo comparativo entre a eficiência em descrever superfícies de natureza tribológica com os parâmetros de textura do sistema Motif e com os parâmetros obtidos da curva de suporte do perfil.

- ⇒ Complementação deste trabalho, no tocante à comparação entre o comportamento das sondas mecânica e óptica, selecionando-se várias condições de usinagem para um mesmo processo e um mesmo material (preferencialmente com aplicação óptica ou tribológica) com uma análise apurada dos parâmetros de textura verticais, horizontais e de forma. Determinação das razões percentuais para cada parâmetro.

- ⇒ Alguns componentes mecânicos com aplicações tribológicas são nitretados após a última operação de usinagem para aumentar a resistência à abrasão. Conseqüentemente, a textura superficial final não é dependente só do acabamento por usinagem mas também do processo de nitretação, que pode melhorar ou piorar a superfície. Destarte, segue como sugestão o estudo da influência do estado inicial da superfície e dos parâmetros de nitretação na textura final obtida.
- ⇒ Com a diminuição acentuada das tolerâncias geométricas, cilindridade e planicidade por exemplo, cresce a importância dos desvios de segunda ordem (ondulação), que passam a ser englobados na tolerância geométrica como se fossem desvios de primeira ordem. Pouco se encontra na literatura a respeito da especificação e controle de parâmetros tais com W_a e W_t , praticamente nada se comparado com o já publicado a respeito da correlação entre a tolerância dimensional e os parâmetros verticais de rugosidade. Sugere-se aqui um estudo da correlação entre os parâmetros verticais de ondulação e as tolerâncias geométricas de cilindridade e planicidade, para componentes de alta exatidão geométrica.

CAPÍTULO 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **Indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos**. NBR 8404. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **Rugosidade das superfícies**. NBR 6405. Rio de Janeiro, 1988.

AGOSTINHO, O.L et al. **Princípios de engenharia de fabricação mecânica - Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões**. 1. ed. São Paulo : Edgard Blücher, 1977.

ANBARI, N. et al. **The influence of surface roughness in dependence of the probe ball radius whit measuring the actual size**. CIRP Annals, v. 39, n. 1, p. 577-580, 1990.

ASME (American Society of Mechanical Engineers). **Surface texture symbols - drafting stands**. ASME Y.14.36. 1993

ASPINWALL, D.K. et al. **Electrical discharge texturing**. Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 32, n. 1/2, p. 183-193, 1992.

BANDYOPADHYAY, B.P. **Evaluation of machining conditions by response surface methodology**. Anais do VII COBEM, p. 761-764, 1985.

BARDAL, E. **The effect of surface preparation on the adhesion of arc- and flame-sprayed aluminium and zinc coatings to mild steel**. London : 7th International Metal Spraying Conference, paper 32, p. 215-223, 10-14 sep., 1973.

BEDRIN, C. et al. **Investigation of surfaces microgeometry in laser cutting**. CIRP Annals, v. 37, n. 1, p.157-160, 1988.

- BHUSHAN, B e MAJUMDAR, A. **Role of fractal geometry in roughness characterization and contact mechanics of surfaces.** Journal of Tribology, v. 112, p. 205-216, 1990.
- BHUSHAN, B e MAJUMDAR, A. **Fractal model of elastic-plastic contact between rough surfaces.** Journal of Tribology, v. 113, p. 1-11, 1991.
- BICKEL, E. **Some fundamental problems in the measurement of surface roughness.** Proceedings of the International Production Engineering Research Conference, p. 667-674. New York : ASME, 1963.
- BOEHS, L. et al. **Análise de superfícies usinadas.** Apostila do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1992
- BÖHM, H.J. **Parameters for evaluating the wearing behavior of surfaces.** Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 32, n. 1/2, p. 109-113, 1992.
- BOSCH, Robert. **Automotive Handbook.** 3. ed. Düsseldorf : VDI - Verlag, 1993.
- BOUDREAU, B.D. e RAJA, J. **Analysis of lay characteristics of three-dimensional surface maps.** Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 32, n. 1/2, p. 171-177, 1992.
- BRECKER, J.N. et al. **A capacitance-based surface texture measuring system.** CIRP Annals, v. 25, n. 1, p. 375-377, 1977.
- BREITMEIER, U. **Lichttrastermikroskopie zur flächigen Beurteilung von Oberflächen.** Microtecnic, Zurich, v. 3, p. 28-31, 1992.
- BRINKSMEIER, E. e WERNER, F. **Monitoring of grinding wheel wear.** CIRP Annals v. 41, n.1, p. 373-376, 1992.
- BROWN, A. J.C. **Rapid optical measurement of surfaces.** London, Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 135-139, 1995.

- BRYAN, J. **Resume and critique of papers in part eight.** Proceedings of the International Production Engineering Research Conference, p. 647-658. New York : ASME, 1963.
- BYRNE, G. **A new approach to the theoretical analysis of surface generation mechanisms in machining.** CIRP Annals, v. 41, n. 1, p. 67-69, 1992.
- CALLISTER Jr., W. D. **Material science and engineering – An introduction.** 4. ed. New York : John Wiley & Sons, 1997.
- CARNEIRO et al. **Roughness parameters of surface by atomic force microscopy.** CIRP Annals, v. 44, n. 1, p. 517-522, 1995.
- CATÁLOGO. **Optical probe for Perthometer, non-contact profile acquisition - product information-Focodyn.** Göttingen : Feinprüf Perthen GmbH, 1989
- CATÁLOGO. **Catálogo técnico Perthen Nº 375 1963-1.3.90.** Göttingen : Feinprüf Perthen GmbH, 1990.
- CATÁLOGO. **Catálogo técnico Rank Taylor Nº 291-24E/1292 CS 20m.** Leicester : Rank Taylor Robson Limited, 1992.
- CATÁLOGO. **Catálogo técnico Hommelwerke Nº 2500/8.93/Nr. 026570.** VS-Schwenningen : Hommelwerke GmbH, 1993.
- CATÁLOGO. **Catálogo técnico Askania Nº 418200:093.28.** Rathenow : Askania-Werke GmbH & Co, 1994.
- CHEN, X. et al. **Multi-scale analysis of engineering surfaces.** Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 231-238, 1995.
- CONTET, P. e Ville, J.F. **Surfascan 3D - an industrial 3D surface texture characterization instrument.** Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 151-156, 1995.

COURTEL, R. **The relationship of surface finish to physical and functional behavior.** Proceedings of the International Production Engineering Research Conference, p. 675-683. New York : ASME, 1963.

DAUW, D.F. et al. **Surface topography investigations by fractal analysis of spark-eroded electrically conductive ceramics.** CIRP Annals, v. 39, n. 1, p. 161-165, 1990.

DECK, L. e GROOT, P. **High-speed non-contact profiler based on scanning white light interferometry.** London, Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 147-150, 1995.

DEVRIES, M.F. et al. **Relationship of surface roughness and surface integrity to functional properties.** CIRP Annals, v. 25, n. 2, p.569-573, 1976.

DEVRIES, W.M. e WAALRE, A. **Surface roughness standards.** Proceedings of the International Production Engineering Research Conference, p. 648-690. New York : ASME, 1963.

DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). **Form- und Lagetoleranzen. Maximum Material Prinzip,** DIN 7186 Bl. 1. Berlin : Beut, Aug., 1974.

DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). **Surface character. Geometrical characteristics of surface texture. Terms/definitions, Symbols.** DIN 4761. Berlin : Beut, Dez., 1978.

DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). **Electrical contact (stylus) instruments for the measurement of surface roughness by the profile method.** DIN 4772. Berlin : Beut, Nov., 1979.

DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). **Measurement of the depth of waviness by means of electrical contact (stylus) instruments.** DIN 4774. Berlin : Beut, Juni, 1981.

DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). **Form deviations. Concepts. Classification system.** DIN 4760. Berlin : Beut, Jun., 1982a.

DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). **Surfaces of components used in mechanical engineering and light engineering; Terminology according to stress conditions.** DIN 4764. Berlin : Beut, Jun. 1982b.

DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). **Measuring the surface roughness of workpieces - Visual and tactile comparison, methods by means of contact stylus instruments.** DIN 4775. Berlin : Beut, June, 1982c.

DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). **Surface roughness; Terminology, surface and its parameters.** DIN 4762. Berlin : Beut, Jan. 1989.

DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). **Measurement of surface roughness: parameters R_k , R_{pk} , R_{vk} , Mr_1 , Mr_2 for the description of the material portion (profile bearing length ratio) in the roughness profile; measuring conditions and evaluation procedures.** DIN 4776 : Berlin: Beut, .Mai 1990.

DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). **Metrology of surfaces; profile filters for electrical contact (stylus) instruments; phasecorrect filters.** DIN 4777. Berlin : Beut, May. 1990a.

DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG). **Determination of values of surface roughness parameters R_a , R_z , R_{max} using electrical contact (stylus) instruments - Concepts and measuring conditions.** DIN 4768. Berlin : Beut, May. 1990b.

DIN (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG) **Surface texture; Terms, definitions and parameters of surface texture.** DIN 4287. Berlin : Beut, März. 1994.

DINICHERT, P. **Les propriétés fonctionnelles des surfaces.** CIRP Annals, v. 20, n. 2, p.165-168, 1971.

- DINICHERT P. et al. **The evaluation of surface by roughness measurement.** CIRP Annals, v. 22, n. 2, p. 249-261, 1973.
- DINIZ, A.E. e CUPINI, N.L. **The surface roughness in turning process: criterion of tool life and its relationship with tool wear.** Revista Brasileira de Ciências Mecânicas, Rio de Janeiro, v. XIV, n. 1, 41-56, 1992.
- DKD (Deutschen Kalibrierdienst). **Richtlinie zum Kalibrieren von Tastschnittgeräten im Deutschen Kalibrierdienst.** PTB-Mitteilungen 102, Nr.1, p23-26. 1992
- DONG, W.P. et al. **The significance of surface features in characterising 2-D and 3-D surface topography.** PED-Vol. 62 - Engineered Surfaces, p. 1-15. New York: ASME, 1992.
- DONG, W.P. et al. **Reference planes for the assessment of surface roughness in three dimensions.** Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 263-271, 1995.
- ELBESTAWI, M.A. et al. **Surface topography characterization in finish milling.** Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 34, n. 2, p. 245-255, 1994.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais.** 1.ed. São Paulo : Edgard Blücher, 1977.
- FIELD, M. et al. **A review of measuring methods for surface integrity.** CIRP Annal, v. 21, n. 2, p. 219-238, 1972.
- GAHR, K.H.Z. **Microstructure and wear of materials.** Amsterdam: Elsevier, 1987.
- GONZALES, R.V.B. **Rugosidade superficial.** Apostila Técnica. MITUTOYO, 1982.
- GRIEVE D.J.; KALISZER H. **A normal wear process examined by measurements of surface topography.** CIRP Annals, v. XVIII, p. 585-592, 1970.

- GRIFFITHS, B.J. et al. **Light scattering for the measurement of surface finish: a review**. London, Int. J. Prod. Res., v. 32, n. 11, p. 2683-2694, 1994.
- GRIFFITHS, B.J. et al. **Three-dimensional surface measurement using light scattering**. London, Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 141-145, 1995.
- HALBIG, H. **Grezen beim Bestimmen mikrogeometrischer Abweichungen der Oberflächen fester Körper mit Fühlschnittmessverfahren und das digitale, funktionsgerechte Auswerte senkrechter Profilschnitte**. Hannover, 1969. Dissertation, TH Hannover.
- HAMED, M.S. et al. **Randon surface generation- an integrated approach**. CIRP Annal, v. 27, n. 1, p. 499-504, 1978.
- HASSELT R. V. **Are we ready for standardizing surface roughnes?** Proceedings of the International Production Engineering Research Conference, p.691-693. New York : ASME, 1963.
- HILLMANN, W. **Surface profiles obtained by means of optical methods - Are they true representations of real surfaces?** CIRP Annals, v. 39, n. 1, p. 581-583, 1990.
- HOLZNER, S. **Borland C++ programação para Windows**. 1ed. São Paulo : Makron Books, 1995.
- HONG, S.Y. **Topographic profiling and dimensional measurement of VLSI structure by scanning tunneling microscopy**. PED-Vol. 62 - Engineered Surfaces, p. 63-77. New York: ASME, 1992.
- HONG, M.S. e EHMANN, K.F. **Generation of engineered surfaces by the surface-shaping system**. Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 9, p. 1269-1290, 1995.
- ICHIDA, Y. et al. **Nanotopografy of ultraprecise ground surface of fine ceramics using atomic force microscope**. CIRP Annals, v. 42, n. 1, p. 647-650, 1993.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **Instruments for the measurement of surface roughness by the profile method - Contact (stylus) instruments of progressive profile transformation - Profile recording instruments.** ISO 1880. Genève: 1979.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **Surface roughness - Parameters, their values and general rules for specifying requirements.** ISO 468. Genève: 1982.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **Classification of instruments and devices for measurement and evaluation of the geometrical parameters of surface finish.** ISO 1878. Genève: 1983.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **Surface Roughness - Terminology. Part 1: Surface and its parameters.** ISO 4287. Genève: 1984.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **Rules and procedures for the measurement of surface roughness using stylus instruments.** ISO 4288. Genève: 1985a.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **Calibration specimens - Stylus instruments - Types, calibration and use of specimens.** ISO 5436. Genève: 1985b.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **Technical drawings - Method of indicating surface texture.** ISO 1302. Genève, 1992.

ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **Geometrical product specification (GPS) - Surface texture - Profile method- Nominal characteristics of contact (stylus) instruments,** ISO 3274. Genève, 1995

- ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION). **Calibration specimens - Stylus instruments - Types, calibration and use of specimens**, ISO 5436. Genève, Switzerland, 1985.
- ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION) **Calibration of instruments for the measurement of surface texture by the profile method**, ISO/CD 12179. Genève, Switzerland.
- JONES, J.M.C. e EASTHAM, D.R. **Parameters for control of roughness of surfaces operating with thin oil films**. Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 253-257, 1995
- KACZMAREK, J. e POLOWSKI, W. **The state of the surface layer of constructional steels after burnishing with a multi-roll head**. CIRP Annals, v. 23, n. 1, p. 195-196, 1974.
- KAHN, C.H. e RAJURKAR, K.P. **Surface characteristics behavior due to rough and fine cutting by EDM**. CIRP Annals, v. 25, n. 1, p. 77-82, 1977.
- KARPINSKI, T. e ZUKIANOWICZ, Cz. **Surface roughness measurements by photometric method**. CIRP Annals, v. 25, n. 1, p. 371-374, 1977.
- KING T. G. et al. **Some topographic features of the wear process - theory and experiment**. CIRP Annals, v. 25, n. 1, p. 351-356, 1979.
- KING, T.G. e HOUGHTON, N.E. **Describing distribution shape: R_{pk} and central moment approaches compared**. Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 247-252, 1995.
- KLIMCZAK, T. e DAUTZENBERG, J.H. **On the roughening of a free surface during sheet metal forming**. CIRP Annals, v. 37, n. 1, p. 267-270, 1988.

- KLIMCZAK, T. e POWIERZA, Z.H. **Application of the filter with dynamically controlled transmission band in surface texture analysis**. CIRP Annals, v. 44, n. 1, p. 505-508, 1995.
- KOBAYASHI, A. et al. **Surface roughness of gauge blocks**. CIRP Annals, v. 22, n. 1, p. 181-182, 1973.
- KOELSCH, J.R. Troubleshooting finish problems. **Manufacturing Engineering**, p. 53-55, set. 1994.
- LACEY, R. Surface finish in milling. **American Machinist**, p. 112-115, nov. 1980.
- LEEP, R.H. et al. **Surface quality of holes drilled into aluminium 390**. International Journal of Production Research, v. 29, n. 2, p. 391-400, 1991.
- LEROY, A. **Fundamental problems in surface profile analysis**. CIRP Annals, v. 23, n. 1, p. 179-180, 1974.
- LIN, T.Y. et al. **Model-based topography characterisation of machined surfaces in three dimensions**. Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 239-245, 1995.
- LINDSEY, K. et al. **Sub-nanometre texture and profile measurement with NANOSURF 2**. CIRP Annals, v. 37, n. 1, p. 519-522, 1988.
- LINK, W. **Metrologia mecânica – Expressão da incerteza de medição**. 1. ed. São Paulo: INMETRO/IPT/SBM/MITUTOYO, 1997.
- LONARDO, P.M. e BRUZZONE, A.A.G. **Influence of surface roughness parameters on the mechanical strenght in metal gluing**. CIRP Annals, v. 38, n. 1, p. 571-574, 1989.
- LONARDO, P.M. et al. **Surface characterization and defect detection by analysis of images obtained with coherent light**. CIRP Annals, v. 40, n. 1, p. 541-544, 1991.

- LONARDO, P.M. et al. **Analysis of machined surfaces through diffraction patterns an neural networks**. CIRP Annals, v. 44, n.1, p. 509-512, 1995.
- LOPEZ, J. et al. **3D fractal-based characterisation for engineered surface topography**. Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 211-217, 1995.
- LOUKYANOV, V.S. **Local irregularities of the surface and their influence on surface roughness parameters**. CIRP Annals, v. 29, n. 1, p. 423-428, 1980.
- MALBURG, C.M. e RAJA, J. **Characterization of surface texture generated by plateau honing process**. CIRP Annals, v. 42, n. 1, p. 637-639, 1993.
- MARIOLANI, J.R.L. e HEISEL, U. **Influência da geometria de ferramenta e das condições de usinagem no torneamento de alumínio com diamante monocristalino**. **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**, Rio de Janeiro, v. XIV, n. 1, 57-74, 1992.
- MARTIN, D.L. et al. **Precision spindle and bearing error analisys**. Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 187-193, 1995.
- MATHIA, T. et al. **Functional significance of different techniques for surface morphology measurements**. CIRP Annals. Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 195-202, 1995.
- MCCOOL, J.I. **Relating profile instrument measurements to the functional performance of rough surfaces**. **Journal of tribology**, New York, v. 109, n. 2, p. 264-270, Apr. 1987.
- MCCOOL, J.I. **A computer program for evaluating surface roughness**. **Ball Bearing Journal** n. 234, p. 16-21, sep. 1989.
- MCD (Machinability Data Center). **Machining Data Handbook - Section 18 - Surface Technology**. 3. ed. Cincinnati : 1980.

- MELKOTE, S.N. e THANGARAJ. **An enhanced surface texture model for end milling**. PED-Vol. 62 - Engineered Surfaces, p. 161-177. New York: ASME, 1992.
- MESQUITA, N.G. de M. **Avaliação e escolha de uma superfície segundo sua função e fabricação**. Florianópolis, 1992. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina.
- MESQUITA, N.G. de M. **Função e fabricação de superfícies técnicas**. Anais do XII COBEM, p. 1779-1782, 1993.
- MESQUITA, N.G.M. e MELO, I.V. **Fatores de influência sobre as superfícies de peças forjadas**. Anais do XIII Seminário Nacional de Forjamento, v. IX, p. 69-85. Porto Alegre, out. 1995.
- METALWORKING. **Surface roughness and shape measuring machines evolving**. *Metalworking Engineering and Marketing*, p. 54-55, may 1990.
- MICHALSKI, J. e PAWLUS, P. **Description of honed cylinders surface topography**. *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, v. 34, n. 2, p. 199-210, 1994.
- MICHELETTI, G.F. **Tecnologia meccanica - il taglio dei metalli**. 2. ed. Torino : Unione Tipografico - Editrice Torinese, 1977.
- MIYOSHI, T. et al. **Nanometer measurement of silicon wafer surface texture based on fraunhofer diffraction pattern**. *CIRP Annals*, v. 44, n. 1, p. 489-492, 1995.
- MOHAN, R. et al. **Characterization of surface texture generated by high energy jets**. PED-Vol. 62 - Engineered Surfaces, p. 203-218. New York: ASME, 1992.
- MOORE, F. **The influence of surface topography on the friction and lubrication elastomers**. *CIRP Annals*, v. XIV, p. 673-678, 1971.
- MULVANEY, D.J. e NEWLAND, D.E. **Identification of surface roughness**. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C*, v. 199, n. C4, 1985.

- NARA, J. **About the standardization and spectral measurement of surface waviness.** CIRP Annals, v. 19, n. 4, p. 687-693, 1971.
- NELLE, G. **Ein Tastschnittverfahren zur Ermittlung räumlicher Oberflächenmessgrößen.** CIRP Annals, v. 19, n. 4, p. 695-704, 1971.
- NOAKER, P.M. **Scrutinizing surface measurement.** Manufacturing Engineering, p. 47-51, april 1991
- NOOPEN, G. e SIAGALLA, J. **Technische Oberfläche. Teil 1 - Oberflächenbeschaffenheit.** Berlin : Beuth Verlag, 1985.
- NOVASKY, O. **Introdução à engenharia de fabricação mecânica.** 1. ed. São Paulo : Edgard Blücher, 1994.
- NÜSSLE, N. **Entwicklung und test eines Computerprogramms zur Datenübertragung und Verwaltung von Oberflächenkengrößen des Oberflächenmeßgerätes Mahr-Perthen S8P.** Relatório de estágio. UFSC-GRUCON. Florianópolis, janeiro de 1995.
- OVAERT, T.C. e RAMACHANDRA, S. **The effect of controlled counterface topography on polymer transfer and wear.** Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 311-316, 1995.
- PADILHA, A. F. **Materiais de engenharia.** 1. ed. São Paulo : Hemus, 1997.
- PERI, L. et al. **The geometric quality of end mills and the surface which they produce.** Microtecnic, n.3, 1992.
- PETERS, J. et al. **Assessment of surface typology analysis techniques.** CIRP Annals, v. 28, n. 2, p. 539-554, 1979.

- REASON, R.E. **The stylus method of surface measurement.** Proceedings of the International Production Engineering Research Conference, p.694-699. New York : ASME, 1963.
- REASON, R.E. **A comparision in tabular form of stylus method of surface profile assessment.** CIRP Annals, v. 19, n. 4, p. 559-563, 1971.
- REICHARD, A. **Fertigungstechnik 1.** 10 aufl. Hamburg : Handwerk un Technik, 1993.
- SANDER, M. **Oberflächenmesstechnik für den Praktiker.** 1. Aufl. Göttingen : Feinprüf GmbH, 1989.
- SARACHE, L.M. **Estudio del acabado superficial aplicando diseño factorial.** Anais do VIII COBEM, p. 785-788. S.J. dos Campos, dez. 1985.
- SCHAFFER, G. **The many faces of surface texture.** *American Machinist*, p. 61-68, june 1988.
- SCHMALTZ, G. **Technische Oberflächenkunde.** Berlin : Springer Verlag, 1936.
- SME. **Tool and Manufacturing Engineers Handbook.** 4. ed. Dearborn/Michigan: SME, v. VII Continuous improvement, cap. 16 Stringent Finish Requirements, 1993.
- SME. **Tool and Manufacturing Engineers Handbook.** 4. ed. Dearborn/Michigan: SME, v. IV Quality control and Assembly, cap. 5 Surface Tecnology - Surface Texture, 1987a.
- SME. **Tool and Manufacturing Engineers Handbook.** 4. ed. Dearborn/Michigan: SME, v. IV Quality control and Assembly, cap. 5 Surface Tecnology - Surface Integrity, 1987b.
- SME. **Tool and Manufacturing Engineers Handbook.** 4. ed. Dearborn/Michigan: SME, v. I Machining, cap. 1 Principles of Metalcutting and Machinability - Surface Integrity, 1983a.

- SME. **Tool and Manufacturing Engineers Handbook**. 4. ed. Dearborn/Michigan: SME, v. I Machining, cap. 1 Principles of Metalcutting and Machinability - Surface Finish, 1983b.
- SOUZA, M.M. e LÉPORE NETO, F.P. **Desenvolvimento de um microscópio mecânico de varredura para a análise de rugosidade**. Anais do X COBEM, p. 435-437, 1989.
- SPIEGEL, M. R. **Estatística**. 2. ed. São Paulo : McGraw-Hill, 1985.
- STAUFERT G, e MATHIAS E. **Kennwerte der Oberflächenrauigkeit und ihre Aussagekraft hinsichtlich der Charakterisierung bestimmter Oberflächentypen**. CIRP Annals, v. 25, n. 1, p. 345-350, 1977.
- STAUFERT G e WHITEHOUSE D. J. **Possibilities and limits of the assessment of random surfaces using two points of the autocorrelation function**. CIRP Annals, v. 29, n. 1, p. 429-433, 1980
- STEMMER, E.C. **Ferramentas de corte I**. 3. ed. Florianópolis : Editora da UFSC, 1993.
- STOUT, K.J. e SULLIVAN, P.J. **The analysis of the three dimensional topography of grinding process**. CIRP Annals, v. 38, n. 1, p. 545-548, 1989.
- STOUT, K.J. e SULLIVAN, P.J. **The use of 3-D topographic analysis to determine the microgeometric transfer characteristics of textured sheet surfaces through rolling**. CIRP Annals, v. 41, n. 1, p. 621-624, 1992.
- STOUT, K.J. e BLUNT, L.A. **Application of 3D topography to bio-engineering**. Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 219-229, 1995.
- STOUT, K.,J. **An introduction to 2D and 3D surface assessment**. **Workshop Macro e Microgeometria – Caracterização e Medição**. UFSC, Florianópolis, ago. 1997.

- SUH, P.N. e MOSIEH, M. **The minimum coefficient of friction: what is it?** CIRP Annals, v. 43, n. 1, p. 491-495, 1994.
- SUSIC, E. e GRABEC I. **Application of a neural network to the estimation of surface roughness from AE signals generate by friction process.** Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 8, p. 1077-1086, 1995.
- TABENKIN, A. **As últimas tendências das normas sobre o acabamento superficial.** Máquinas e Metais, n. 356, p. 98-108, set. 1995.
- TABENKIN, A. **Surface measurements technology and standards.** Understanding the basis of Honing & Superfinishing, Simposium, Nashville, Tennessee, May, 6-7, 1997.
- TAMAKI, J. e KITIGAWA, T. **Evaluation of surface topography of metal-bonded diamond wheel utilizing three-dimensional profilometry.** Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 1339-1351, 1995.
- TAYLOR, J. **Toll wear, life and surface finish.** Proceedings of the International Production Engineering Research Conference, p. 130-136. New York : ASME, 1963.
- THWAITE, E.G. **Power spectra of rough surfaces obtained by optical Fourier transformation.** CIRP Annals, v. 29, n. 1, p. 419-422, 1980.
- ULUSOY, M. et al. **An evaluation of polishing techniques on surface roughness of acrylic resins.** The Journal of Prosthetic Dentistry. St. Louis, v. 56, n. 1, p. 107-112, July 1986.
- VALADARES, E.C., CURY, L. A. e HENINI, M. **Dispositivos eletrônicos em escala atômica.** Ciência Hoje: Rio de Janeiro, v. 18, n. 106, p. 40-49, jan. 1995.
- VANHERCK, P. e LEUVEN, K.U. **STC "S" co-operative work on phase correct Gaussian filtering in surface roughness measurement.** CIRP Annals, v. 43, n. 2, p. 599-601, 1994.

VDI (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE). **Oberflächenrauheit und Maßtoleranz in der spanenden Fertigung**, VDI-Richtlinie 3219. 1965.

VENKATESH, V.C. e RADHAKRISHNAN, V. **Brightnes in machining**. CIRP Annals, v. XIV, p. 433-438, 1971.

VERMEULEN, M. et al. **3D characterization of EBT-Steel sheet surfaces**. Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 273-280, 1995.

WARDANY, T.E. et al. **Surface Finish in turning of hardened steel**. PED-Vol. 62 - Engineered Surfaces, p. 141-189. New York: ASME, 1992.

WEI, G. e SCOTT, W. **The influence of roughness on the results of the Timken lubricant extreme pressure film**. Int. J. Mach. Tools Manufact., v. 35, n. 2, p. 357-361, 1995.

WEINGRABER, H. **Optical methods for surface finish evaluation**. Proceedings of the International Production Engineering Research Conference, p. 659-666. New York : ASME, 1963.

WEINGRABER, H., Abou-Aly, M. **Handbuch Technische Oberflächen**. Braunschweig/ Wiesbaden : Friedr. Vieweg & Sohn, 1989.

WHITEHOUSE, D.J. **Typology of manufactured surfaces**. CIRP Annals, v. XIII, n. 3, p. 417-431, 1971.

WHITEHOUSE, D.J.. et al. **Assessment of surface typology analysis techniques in turning**. CIRP Annals, v. 23, n. 2, p. 265-282, 1974.

WHITEHOUSE, D.J. **Theoretical analysis of stylus integration**. CIRP Annals, v. 23, n. 1, p. 181-182, 1974b.

WHITEHOUSE, D.J. **Beta functions for surface typologie?** CIRP Annals, v. 27, n. 1, p. 491-497, 1978.

- WHITEHOUSE, D.J. **Manufacture to function - in optics**. CIRP Annals, v.42, n. 1, p. 641-646, 1993.
- WHITEHOUSE, D.J. **Handbook of Surface Metrology**. 1. ed. London : IOP Publishing, 1994a.
- WHITEHOUSE, D.J. **Gloss and surface topography**. CIRP Annals, v. 43, n. 2, p. 541-549, 1994b.
- WILSON, W.R.D. e SCHMID, S.R. **Surfaces in metal rolling**. PED-Vol. 62 - Engineered Surfaces, p. 91-100. New York: ASME, 1992.
- WYANT, J.; CREATH, K. **Advances in interferometric optical profiling**. **International Journal of Machine Tools Manufacturing**, Great Britain. v. 32, n. 1/2, p. 5-10, 1992.
- YANAGI, K. et al. **The allowable spacing for lattice data sampling by a round stylus tip and an assessment of envelope surface**. **Int. J. Mach. Tools Manufact.**, v. 35, n. 2, p. 183-186, 1995.
- YOUNG, R.D. et al. **In-process and on-line measurement of surface finish**. CIRP Annals, v. 29, n. 1, p. 435-440, 1980
- ZHANG, B. et al. **A preliminary study of surface roughness in wheel brush polishing**. PED-Vol. 62 - Engineered Surfaces, p. 179-190. New York: ASME, 1992.
- ZHOU, G. et al. **Investigation of topography of waterjet generated surfaces**. PED-Vol. 62 - Engineered Surfaces, p. 191-202. New York: ASME, 1992.
- ZHOU, G. et al. **Fractal geometry modeling whit applications in surface characterization and wear prediction**. **Int. J. Mach. Tools Manufact.**, v. 35, n. 2, p. 203-209, 1995.
- ZIPIN, R.B. **The lenght of surface profiles**. PED-Vol. 62 - Engineered Surfaces, p. 17-36. New York: ASME, 1992.

APÊNDICE 1

CORPOS DE PROVA E EQUIPAMENTOS

1. Corpos de prova

□ Aço ABNT 1045 - Grupos 01, 02, 03, 04 e 05

- Origem: adquirido e preparado exclusivamente para este trabalho.
- Geometria: tarugos com 25mm de diâmetro e 10mm de espessura.
- Acabamentos: retificação plana tangencial (LMP), Lapidação (LMP) e Polimento em polidora plana para metalografia (LABMAT).
- Tratamento superficial: nitretação gasosa (LABMAT), somente para parte dos CP retificados e lapidados
- Dureza média: CP não nitretados, 204HB.
- Medição: superfície plana, 8 a 10 medições por peça.

□ Aço inoxidável SAE 316 – Grupos 06, 07 e 08

- Origem: trabalho cooperativo com LMP.
- Geometria: tarugos com 25mm de diâmetro e 10mm de espessura.
- Acabamento: Faceamento em torno CNC (USICOM), Lapidação (LMP) e Polimento em polidora plana para metalografia (LABMAT).
- Dureza média: 177 HV.
- Medição: superfície plana, 8 a 10 medições por CP.

□ Aço DIN 100Cr6 - Grupo 09

- Origem: trabalho cooperativo com LMP.
- Geometria: corpo cilíndrico de pistão para bomba injetora (BOSCH).
- Acabamento: Retificação cilíndrica externa de mergulho (LMP).
- Dureza média: 62HRc.
- Medição: superfície cilíndrica externa, 10 medições por CP.

□ Aço fundido FC25 – Grupo 10

- Origem: trabalho cooperativo com LMP.
- Geometria: cilindros ocos ϕ externo 50mm, ϕ interno 25mm e comprimento 50mm. Componente de compressor hermético (EMBRACO).
- Acabamento: Torneamento cilíndrico externo (CNC - EMBRACO).
- Dureza média: 50HRc.
- Medição: superfície cilíndrica externa, 12 medições por CP.

□ Aço sinterizado e nitretado (tipo 1) – Grupo 11

- Origem: trabalho cooperativo com LABMAT.
- Geometria: engrenagem para corrente de comando de válvulas (FORD SCORT).
- Acabamento: bruto de sinterização com nitretação gasosa.
- Medição: superfície plana, 6 medições por face de cada CP.

□ Aço sinterizado – Grupo 12

- Origem: trabalho cooperativo com LABMAT.
- Geometria: *cotonetes* planos para ensaios de tração (LABMAT).
- Acabamento: bruto de sinterização.
- Medição: superfície plana, 8 medições por face de cada CP.

□ Aço sinterizado e nitretado (tipo 2) – Grupo 13

- Origem: trabalho cooperativo com LABMAT.
- Geometrias: *cotonetes* para ensaio de tração.
- Acabamento: bruto de sinterização com nitretação gasosa.
- Tratamento superficial: nitretação gasosa (LABMAT).
- Medição: superfícies planas, 8 medições por face de cada CP.

□ Alumínio torneado – Grupo 14

- Origem: cilindro de máquina fotocopadora.
- Geometria: seções de aproximadamente 20mmx20mm removidas do corpo do cilindro
- Acabamento: torneamento de precisão.
- Medição: superfície cilíndrica, 12 medições por CP.

□ Alumínio polido – Grupo 15

- Origem: preparado exclusivamente para este trabalho.
- Geometria: peças com 25mm de comprimento removidas de barra com seção de 25mmx6mm.
- Acabamento: polimento em polidora plana para metalografia (LABMAT).
- Medição: superfície plana (25mm x 25mm), 20 medições por CP.

□ Cobre eletrolítico polido – grupo 16

- Origem: preparado exclusivamente para este trabalho.
- Geometria: peças com 25mm de comprimento removidas de barra com seção de 25mmx6mm.
- Acabamento: polimento em polidora plana para metalografia (LABMAT).
- Medição: superfície plana (25mm x 25mm), 20 medições por CP.

□ Resina acrílica – Grupos 17, 18 e 19

- Origem: trabalho cooperativo com Departamento de Odontologia da UFSC.
- Geometria: barras com seção retangular de 10mmx3mm e 65mm de comprimento.
- Acabamento: lixamento mecânico, ataque químico e em bruto de cura em molde de gesso.
- Medição: superfície plana (10mm x 65mm), 5 medições por CP.

□ Gesso – Grupo 20

- Origem: trabalho cooperativo com Departamento de Odontologia da UFSC.
- Geometria: placas de 50 x 50mm e 10mm de espessura.
- Acabamento: superfície bruta de cura em fôrma de alumínio polido.
- Medição: superfície de 50mm x 50mm, 8 medições por CP.

2. Equipamentos

□ Rugosímetro

- Tipo de bancada, modelo PERTHOMETER S8P da Mahr-Perthen GmbH
- Campo de medição vertical (VB, μm): $\pm 12,5$; $\pm 62,5$; ± 125 ; ± 250 ; ± 625 ; ± 2500 .
- Percursos de medição padrão (l_m , mm): 0,4 - 1,25 - 4,0 - 12,5 - 40.
- Cut-off (λ_c , mm): 0,025 - 0,08 - 0,25 - 0,8 - 2,5 - 8,0.
- Perfis processados: D, G, P, W, R e combinação P+W.
- Resolução do perfil: vertical, 16.384 pontos por campo de medição (VB).
horizontal, 8.064 pontos em l_t , perfis D e G.
5.760 pontos em l_m , perfis P, W, e R.
- Filtros disponíveis: Gaussiano (λ_c em 50% da amplitude).
RC (λ_c em 75% da amplitude).
M5 (λ_c em 50% da amplitude).
M7 (λ_c em 75% da amplitude).
- Parâmetros: R_a , R_z , R_{max} , R_q , R_{pm} , R_p , R_t , P_t , W_t , t_p , S_m .
- Listagem de parâmetros: lista de t_p versus profundidade do perfil e vice-versa.
lista de R_{z1} a R_{z5}
lista de R_{3z1} a R_{3z5}
lista de R_{p1} a R_{p5}
lista da contagem de picos para S, P_c e HSC
- Gráficos: curva de suporte do perfil (curva de Abbott-Firestone)
curva de distribuição de amplitudes (curva ADK)
- Estatísticas: média, desvio padrão, valor máximo, valor mínimo e diferença entre valor máximo e mínimo. Cálculo para até oito parâmetros e até oitenta medições por estatística.
- Vídeo monocromático com resolução de 512x384 pixels.
- Impressora térmica embutida com resolução de 8 pontos/mm.
- Saída serial RS232 para conexão com microcomputador externo.

□ Sondas mecânicas disponíveis

- Três modelos de sondas mecânicas (PERTHEN): RHT 6-50, RFHTB e RHTT 50. Patins de apoio com raio de 25mm na direção de medição. Campo vertical de $\pm 50\mu\text{m}$. Ponta do estilete com raio de $5\mu\text{m}$ e ângulo de 90° : Forças de medição 0,8 a 1,2mN (RHT 6-50 e RFHTB) e 2 a 2,4mN (RHTT 50).
- Um modelo de sonda mecânica sem patins, campo vertical de $750\mu\text{m}$, ponta do estilete com raio de $10\mu\text{m}$ e ângulo de 90° : Perthen FRW 750.

□ Sonda óptica

- Modelo: Focodyn PERTHEN-RODENSTOCK.
- Campo vertical: $\pm 250\mu\text{m}$.
- Desvio de linearidade: $< 1\%$.
- Distância entre sonda e superfície da peça: 0,9 - 1,2mm.
- Refletividade exigida para superfície a ser medida: 4 - 95%.
- Inclinação máxima da superfície: 10° na direção de medição e
 5° na direção perpendicular à de medição.
- Comprimento de onda do laser: 780nm.
- Raio focal no ponto de medição: cerca de $1\mu\text{m}$.

□ Padrões de calibração

- PGN 1: Padrão geométrico com ranhuras senoidais para calibração dinâmica do sistema de medição. Valores nominais: $R_a = 0,45\mu\text{m}$, $R_z = 1,6\mu\text{m}$ e $S_m = 0,12\text{mm}$. Certificado de Aferição INMETRO 037/92: $R_a = 0,45\mu\text{m}$, $R_z = 1,58\mu\text{m}$, $R_{\text{max}} = 1,59\mu\text{m}$ e Incerteza de medição = 5%.
- Padrão PGN 3: similar ao padrão PGN 1. Valores nominais: $R_a = 0,91\mu\text{m}$, $R_z = 3,1\mu\text{m}$ e $S_m = 0,1\text{mm}$. Certificado de Aferição INMETRO 036/92: $R_a = 0,91\mu\text{m}$, $R_z = 3,04\mu\text{m}$, $R_{\text{max}} = 3,06\mu\text{m}$ e Incerteza de medição = 5%.
- Padrão PEN 10-1: padrão para a calibração de ganho, com dois rasgos padrão. Profundidades nominais dos rasgos: $8,4\mu\text{m}$ e $8,6\mu\text{m}$. Certificado de Aferição INMETRO 038/92: $P_t = 8,59\mu\text{m}$ e $P_t = 8,69\mu\text{m}$, Incerteza de medição = $\pm 0,08\mu\text{m}$

□ Dispositivo de deslocamento PRK

- Percurso de apalamento máximo l_t : 60mm.
- Velocidade de medição: 0,1 ou 0,5 ($\pm 5\%$) mm/s.
- Erro máximo de alinhamento: $0,2\mu\text{m}/60\text{mm}$.
- Ajuste de inclinação com resolução de: $0,05\mu\text{m}/\text{mm}$.

□ Mesa xy para apoio de peças

- Eixo transversal ao percurso de apalamento (y), acionado por motor de passo.
- Faixa de deslocamento: 0,24 a 17,5mm.
- Resolução: $0,375\mu\text{m}/\text{passo de medição}$.
- Erro de linearidade: $15\mu\text{m}/10\text{mm}$ de deslocamento
- Repetibilidade em zero: melhor do que $1\mu\text{m}$.

□ Unidade de avaliação da ponta de estiletos PTN

- Gabarito de raio de curvatura em escala 2000:1, raios de $1\mu\text{m}$ a $10\mu\text{m}$.
- Lâmina com gume de precisão.

□ Software “PARALLEL RECORDING” para medição tridimensional

- Software opcional fornecido para o rugosímetro S8P
- Apresentação de perspectiva cavaleira a 45° com quatro possíveis vistas.
- Apresentação de 4 a 129 perfis (D e G) individuais, normais ou invertidos.
- Capacidade de deslocamento na direção de medição 0,24 a 56 mm.
- Capacidade de deslocamento na direção ortogonal à de medição: 0,24 a 17,5 mm
- Resolução do perfil: 720 pontos por percurso de apalamento (l_t).
- Amplificação vertical máxima igual a 200.000 vezes.

□ Microscópios

- Microscópio de ferramentaria NIKON com aumento de trinta vezes (30x) e mesa xy com deslocamento manual e resolução de $1\mu\text{m}$ em x e em y
- Microscópio estereoscópico ZEISS SV8 com aumentos de 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50 e 64 vezes, equipado com câmara captadora de imagem CCD, vídeo colorido e câmara fotográfica.
- Microscópio de varredura por feixe de elétrons PHILIPS XL30 (LABMAT).
- Microscópio Metalográfico UNION Neomet MC 8595. Aumentos de 50, 100, 200 e 400x, equipado com câmara fotográfica.

□ **Equipamento de apoio**

- Microcomputador padrão IBM PC 486 DX2/66 com: HD de 360 Mb, 8 Mb de memória RAM, placa de vídeo de 1 Mb de memória, 1 drive de 3,5".
- Impressora jato de tinta, monocromática e com resolução de 600x300 ppp.

□ **Programas computacionais**

- Windows 3.11 Workgroups
- Excell
- Grapher
- Origin
- Borland C
- Borland C++.

□ **Dados de comunicação rugosímetro/microcomputador**

- Tipo da interface: V.24/RS 232
- Taxa de transmissão (Bd): 300, 1.200, 2.400, 4.800, e 9.600
- Código para entrada de dados: ASCII
- Código para saída de dados: ASCII ou binário
- Formato de entrada e saída de dados tipo 1: 7 bits de dados
1 bit de paridade par
1 stop bit
- Formato de entrada e saída de dados tipo 2: 8 bits de dados
1 stop bit

APÊNDICE 2

DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DE TEXTURA

DEFINIÇÕES PRELIMINARES.

Linha média: Linha com a mesma forma do perfil geométrico, disposta paralelamente à direção geral do perfil, dentro do percurso de medição l_m e dividindo o perfil de rugosidade de modo que a soma das áreas superiores seja exatamente igual à soma das áreas inferiores (figura 1).

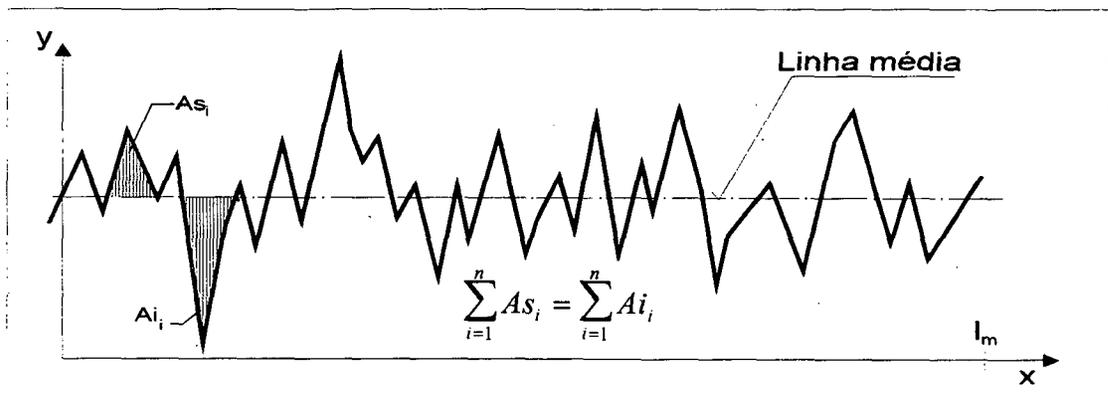


FIGURA 1

Percurso de apalpamento (l_t): percurso total percorrido pelo sensor do sistema de medição (figura 2). Corresponde a soma dos percursos: inicial (l_v), de medição (l_m) e final (l_n).

Percurso inicial (l_v): Primeira parte do trecho apalpado, e não utilizado na avaliação (figura 2). Tem a finalidade de permitir o amortecimento das oscilações mecânicas e elétricas iniciais do sistema.

Comprimento de amostragem (l_e): Um quinto do percurso de medição (l_m) (figura 2).

Percurso de medição (l_m): Trecho do perfil de rugosidade usado diretamente na avaliação (figura 2).

Percurso final (l_n): Extensão da última parte do trecho apalpado e não utilizado na avaliação (figura 2). Tem a finalidade de permitir o amortecimento das oscilações mecânicas e elétricas finais do sistema.

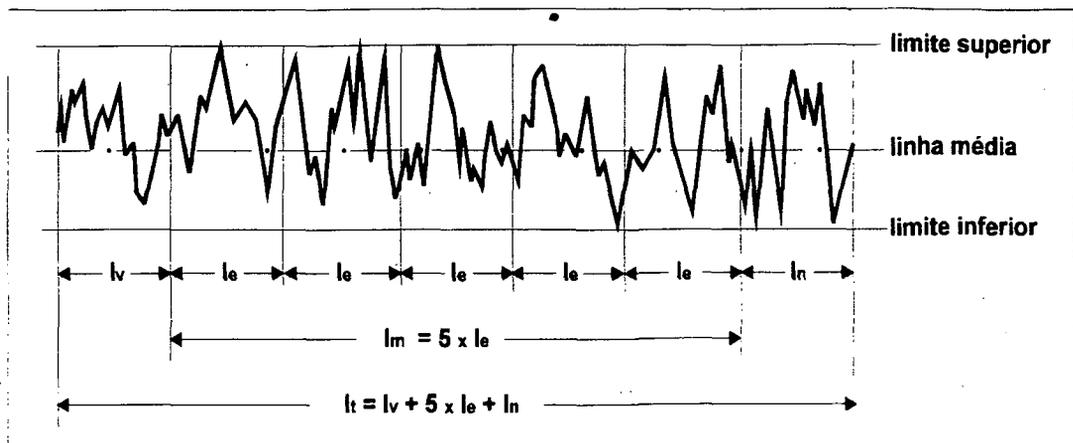


FIGURA 2

Perfil P: ou perfil primário, é o perfil no qual se encontram somados os desvios de ondulação e de rugosidade. Todos os parâmetros medidos neste perfil são precedidos da letra "P", por exemplo, P_t .

Perfil W: ou perfil de ondulação, é o perfil que se obtém quando se filtram as componentes de rugosidade do perfil P. Todos os parâmetros medidos neste perfil são precedidos da letra "W", por exemplo, W_t .

Perfil R: ou perfil de rugosidade, é o perfil que se obtém quando se filtram as componentes de ondulação do perfil P. Todos os parâmetros medidos neste perfil são precedidos da letra "R", por exemplo, R_y .

Intervalo de digitalização Δx : intervalo horizontal percorrido pela sonda de equipamentos de medição com processamento digital de sinais, para que seja computada uma ordenada do perfil.

PARÂMETROS DE RUGOSIDADE

Os parâmetros apresentados neste apêndice estão definidos nas normas ABNT 6405, DIN/ISO 4287 e DIN 4762, a menos que a fonte esteja citada junto ao parâmetro.

Parâmetros verticais

01- R_a , Desvio médio aritmético de rugosidade ou valor médio de rugosidade, (CLA - Center Line Average, AA - Aritmetical Average, Mittenrauhwert).

É a média aritmética do valor absoluto das ordenadas "y" do perfil de rugosidade dentro do percurso de medição l_m , tomando como referência a linha média. Isto é equivalente a altura de um retângulo de comprimento igual ao percurso de medição l_m e de área igual a soma das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e a linha média, figura 3

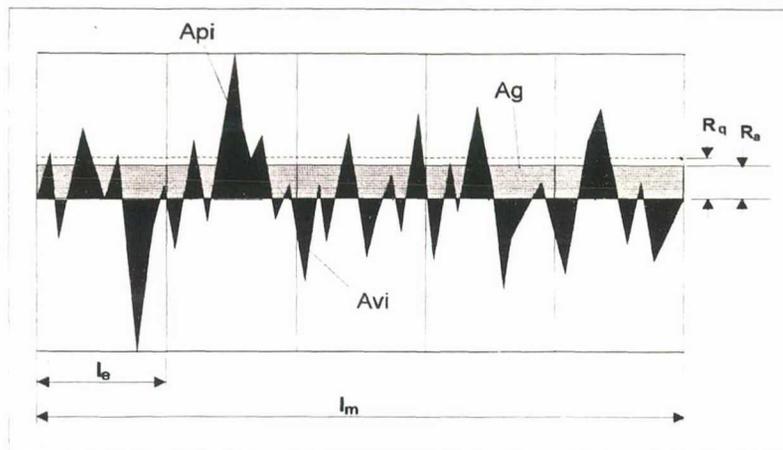


FIGURA 3

$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y(x)| dx \quad \text{ou} \quad R_a = \frac{1}{n} \sum_0^n |y_i| \tag{1}$$

$$\sum A_{pi} = \sum A_{vi} \quad \text{e} \quad A_g = \sum A_{pi} + \sum A_{vi} = R_a \times l_m$$

02- R_q , Desvio médio quadrático de rugosidade ou (RMS - Root Mean Square Average, Quadratischer Mittenrauhwert).

Valor médio quadrático das ordenadas "y" do perfil de rugosidade dentro do percurso de medição l_m , tomando como referência a linha média. Ou seja, raiz quadrada da média dos quadrados das ordenadas do perfil de rugosidade em relação à linha média.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} y^2(x) dx} \quad \text{ou} \quad R_q \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (y_i)^2} \quad (2)$$

03- R_{Zi} , Profundidade isolada de rugosidade (Einzelrauhtiefe).

Distância entre duas paralelas à linha média, as quais tocam os pontos máximo e mínimo dentro dos comprimentos de amostragem, figura 4. É igual à soma das ordenadas dos dois pontos de maior afastamento acima e abaixo da linha média, existentes dentro do trecho correspondente a cada comprimento de amostragem. Na representação gráfica do perfil, este valor corresponde à distância entre os pontos de máximo e mínimo do perfil, dentro do percurso correspondente a cada comprimento de amostragem l_e .

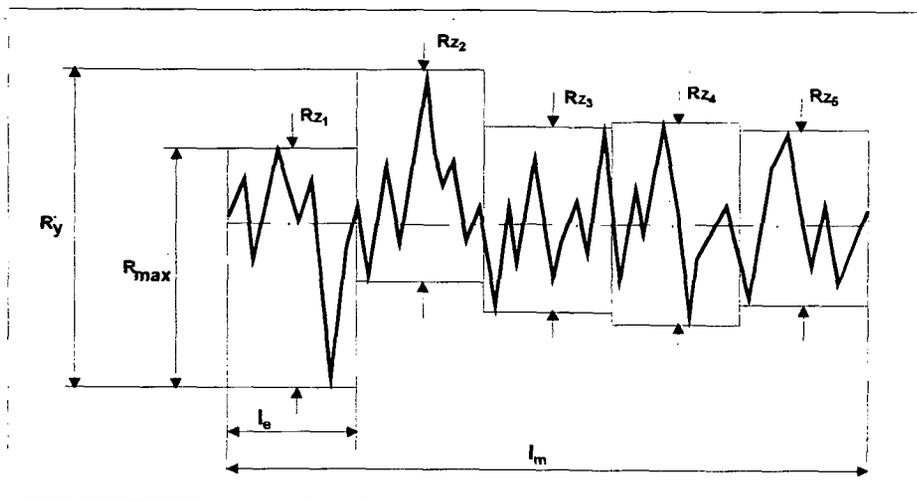


FIGURA 4

04- R_{ZDIN} , Profundidade média de rugosidade (Gemittelte Rauhtiefe).

É a média aritmética das profundidades isoladas de rugosidade (Z_i) dos cinco comprimentos de amostragem (l_e), contidos no percurso de medição (l_m).

$$R_{ZDIN} = \frac{1}{5} \sum (R_{Z1} + R_{Z2} + R_{Z3} + R_{Z4} + R_{Z5}) \quad (3)$$

05- R_{max} , Profundidade máxima individual de rugosidade (Maximal Rauhtiefe).

É a maior das cinco profundidades isoladas de rugosidade (Z_i). Na figura 4 R_{max} corresponde a Z_1 .

06- R_{pi} , Profundidade isolada de alisamento.

Distância do ponto mais alto do perfil de rugosidade à linha média, dentro de cada comprimento de amostragem (figura 5).

07- R_p , Profundidade de alisamento (Höhe der größten profilspitze).

Distância do ponto mais alto do perfil de rugosidade à linha média (figura 5).

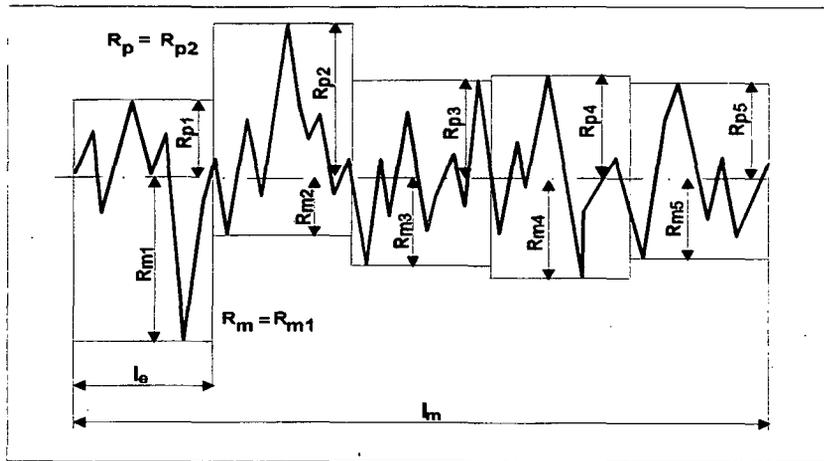


FIGURA 5

08- R_{mi} (R_{vi}), Profundidade máxima isolada de vale.

Distância entre o vale mais profundo e a linha média em cada comprimento de amostragem (figura 5).

09- R_m (R_v), Profundidade máxima de vale (Maximale Taltiefe).

Distância do vale mais profundo do perfil a linha média no percurso de medição, (figura 5).

10- R_{pm} , Profundidade de alisamento média.

Média aritmética das profundidades isoladas de alisamento R_{p1} até R_{p5} .

$$R_{pm} = \frac{1}{5} \sum (R_{p1} + R_{p2} + R_{p3} + R_{p4} + R_{p5}) \quad (4)$$

11- R_y Altura máxima do perfil (Maximale profilhöhe).

Distância entre o pico mais alto e o vale mais profundo dentro do percurso de medição (figura 6). $R_y = R_p + R_m$. Possui o mesmo significado da Profundidade de rugosidade R_t como pela DIN 4762 (1960), cujo uso foi abandonado em 1978.

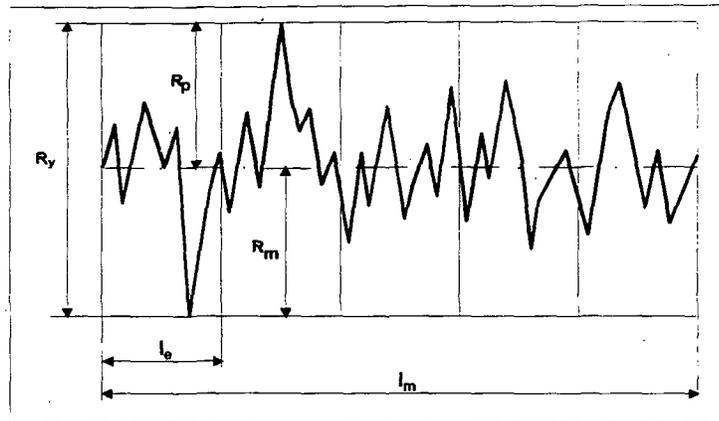


FIGURA 6

12- $3Z_i$ Profundidade isolada de rugosidade de base.

Distância entre o terceiro pico mais alto e o terceiro vale mais profundo dentro do comprimento de amostragem (l_e) (figura 7). Se não houver pelo menos três picos e três vales dentro de cada um dos comprimentos amostrais, não é possível se calcular $3Z_i$.

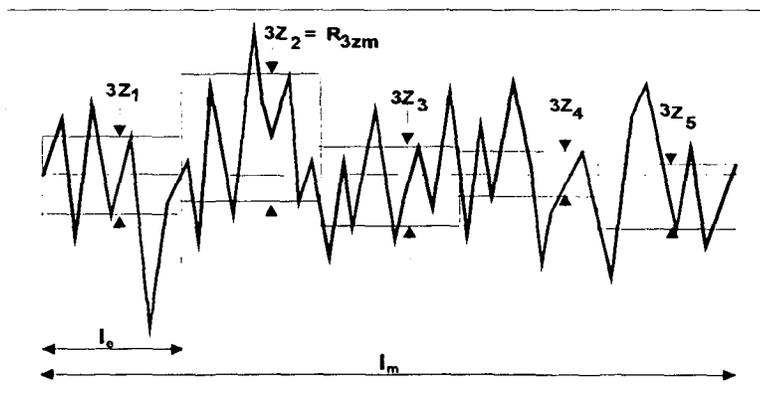


FIGURA 7

13- R_{3z} , Profundidade de rugosidade de base (Grundrauhtiefe).

É a média aritmética das profundidades isoladas de rugosidade ($3Z_i$) de cinco comprimentos de amostragem (l_e) consecutivos.

$$R_{3z} = \frac{1}{5} \sum (3Z_1 + 3Z_2 + 3Z_3 + 3Z_4 + 3Z_5) \tag{5}$$

14- R_{3zm} , Profundidade de rugosidade de base máxima.

É a maior profundidade isolada de rugosidade de base ($3Z_i$) encontrada entre os cinco comprimentos de amostragem (l_e).

Na figura 7, R_{3zm} corresponde a $3Z_2$.

15- R_{ziso} , Profundidade média de rugosidade.

Valor médio dos valores absolutos das cinco alturas dos cinco picos mais altos e dos valores absolutos das profundidades dos cinco vales mais profundos dentro do percurso de medição (l_m). Se não houver pelo menos cinco picos e cinco vales dentro do percurso de medição (l_m), R_{ziso} não poderá ser definido. É importante observar que R_{ziso} é diferente de R_{zDIN} .

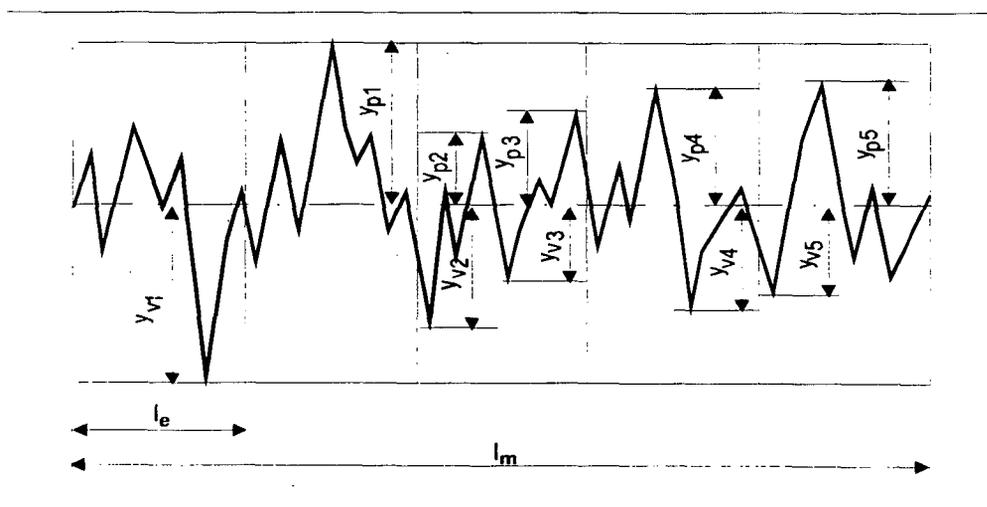


FIGURA 8

$$R_{ziso} = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right) \tag{6}$$

- 16- R_c , Altura média das irregularidades do perfil (Mittlere Höhe der Profil Unregelmäßigkeit).

É a média aritmética de todos os picos e vales do perfil.

$$R_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_{pi}| + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |y_{vi}| \quad (7)$$

OBS.: "n" e "m" são, respectivamente, o número de picos e de vales em l_m .

- 17- W_m (W_v), Profundidade máxima de vale do perfil de ondulação.

Análogo a R_m (R_v), obtido no perfil de ondulação (figura 9).

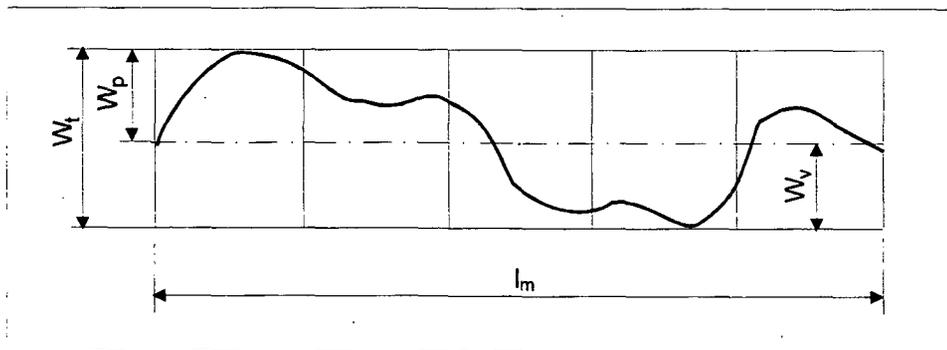


FIGURA 9

- 18- W_p , Profundidade de alisamento do perfil de ondulação. Análogo a R_p , obtido no perfil de ondulação, ver figura 9.

- 19- W_t , Profundidade das ondas, Profundidade de ondulação, Profundidade máxima de ondulação (Wellentiefe).

É a distância entre duas linhas equidistantes, que possuem a forma do perfil geométrico e que limitam o perfil de ondulação dentro da menor distância possível, (figura 9). É avaliada no percurso de medição (l_m). Para uma superfície plana, W_t é a distância vertical entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo do perfil de ondulação, dentro do percurso de medição (l_m).

- 20- W_a , Desvio médio aritmético de ondulação, valor médio de ondulação. Análogo a R_a , porém, obtido no perfil de ondulação.
- 21- W_q , Desvio médio quadrático de ondulação, valor quadrado de ondulação. Análogo a R_q , porém, obtido no perfil de ondulação.
- 22- P_t , Profundidade do perfil, altura do perfil (Profiltiefe).

É a distância entre duas linhas equidistantes, que possuem a forma do perfil geométrico e que limitam o perfil P , dentro da menor distância possível, em um percurso l . (figura 10). Para uma superfície plana, é a distância vertical entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo do perfil P , podendo ser avaliada no percurso de medição ($l = l_m$). A altura do perfil P_t , quando medida por meio de instrumentos eletromecânicos, é sempre tomada perpendicularmente à superfície de referência (figura 10). Na representação gráfica o perfil da superfície geralmente é registrado com uma distorção. Como esta distorção é função do percurso de apalpamento, ele deve ser indicado junto com o valor de P_t , por exemplo: $P_t = 1\mu\text{m}/50\text{mm}$.

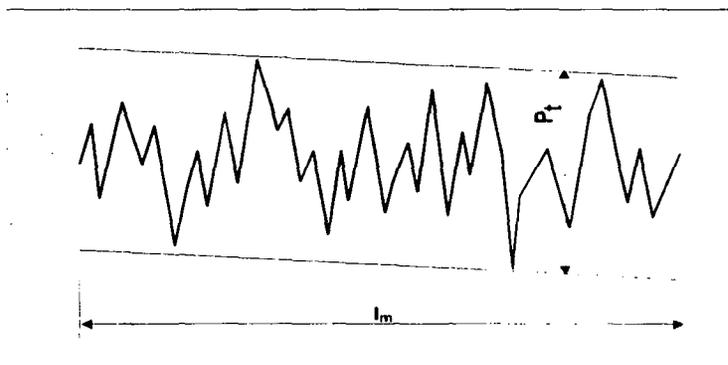


FIGURA 10

Parâmetros Horizontais

23- S_m Distância média das irregularidades do perfil (Mittlerer Abstand der Profil unregelmäßigkeit).

É a média das distâncias das “n” irregularidades do perfil (S_{mi}) no percurso de medição (l_m). Por distâncias das irregularidades do perfil S_{mi} , entende-se o comprimento de uma parte da linha média, que contém uma elevação do perfil totalmente acima dela e uma reentrância do perfil totalmente abaixo dela (figura 11).

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi} \quad (8)$$

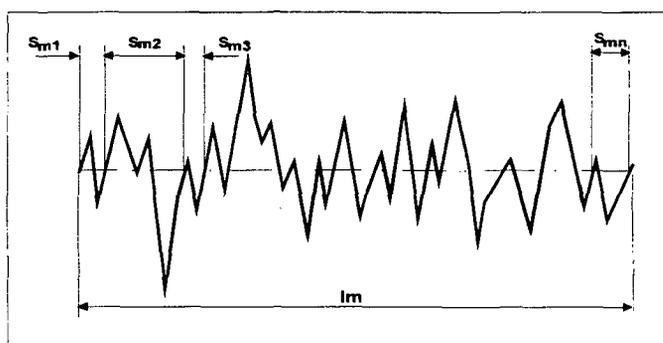


FIGURA 11

24- S Distância média dos picos locais do perfil (Mittlerer Abstand der örtlichen Profilsitzen).

Média das distâncias (S_i) entre os picos locais do perfil no percurso de medição (l_m) (figura 12).

25- P_c ($T1, Nr$), Contagem ou densidade de picos.

Corresponde ao número de picos do perfil por unidade de comprimento. Para se determinar a contagem dos picos, são definidas duas linhas paralelas à linha média, uma acima dela e outra abaixo dela, formando um limite superior e um limite inferior (figura 13). Um novo pico é contado quando a linha descendente do pico anterior atravessa a linha paralela inferior e em seguida ascende, ultrapassando a linha paralela superior, figura 13. Outra maneira de se calcular P_c é pela contagem dos elementos do perfil de rugosidade que se encontram dentro de uma largura de banda ajustável, definida pelas linhas paralelas superior e inferior, que distam respectivamente C_1 e C_2 da linha média (figura 13). P_c é especificado com número de picos por unidade de comprimento.

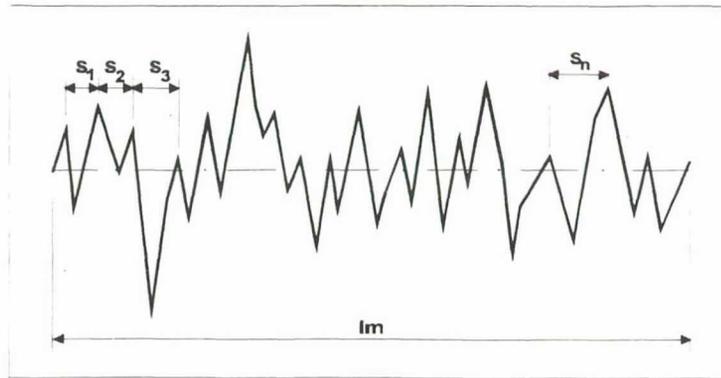


FIGURA 12

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \tag{9}$$

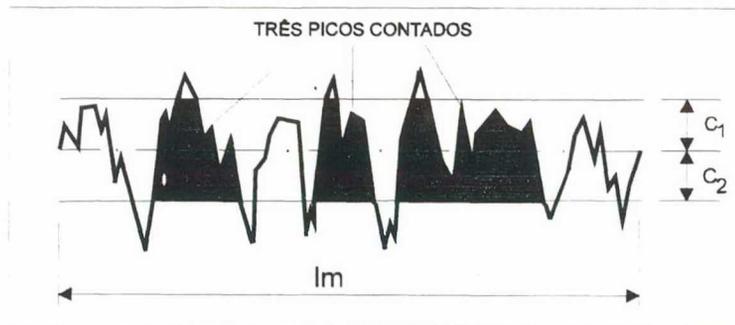


FIGURA 13

26- HSC (T₂), Contagem de picos.

É a quantidade de picos que ultrapassa uma linha paralela a linha média passando a uma distância C acima dela (figura 14). Assim como P_C, é especificado como número de picos por unidade de comprimento. Uma outra maneira de se entender HSC, é como sendo o número de pontos de contato da superfície a uma certa profundidade de penetração no perfil.

27- L₀, Comprimento retificado do perfil (Gestreckte Länge des Profils).

É o comprimento da linha que se obtém quando os segmentos que compõem o perfil de rugosidade são alinhados, de maneira tal a formarem uma linha reta. Geralmente é calculado sobre o percurso de medição (l_m).

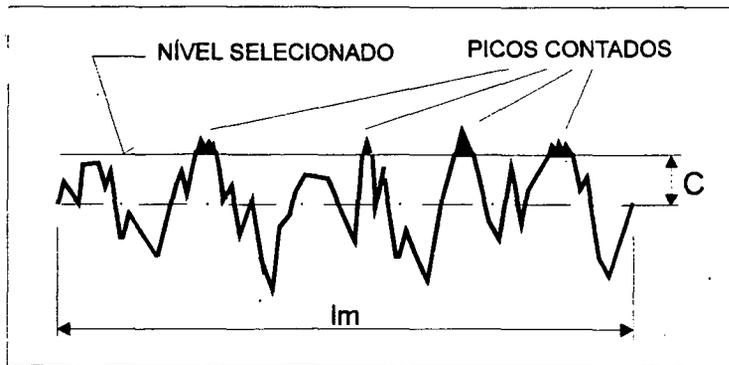


FIGURA 14

28- L_r , Razão de comprimentos do perfil (Profil-Längenverhältnis).

É a relação entre o comprimento retificado do perfil (L_0) e o percurso de medição (l_m). Na prática, esta relação sempre é maior que a unidade.

$$L_r = \frac{L_0}{l_m} \quad (10)$$

29- A_w , Distância média de onda (Mittlere Wellenabstand).

Média aritmética dos comprimentos de onda a_{wi} , medidos no percurso de medição de ondulação (perfil W).

Parâmetros para ângulos e declives

30- γ Ângulo de pico (Spitzenwinkel) e δ ângulo de vale (Öffnungswinkel).

γ é o ângulo suplementar entre o ângulo de declive positivo e negativo aos máximos do perfil (figura 15). Quando aparece um máximo relativo em uma ordenada y_k então são dados pesos aos três declives positivos das ordenadas em questão y_{k-1} , y_{k-2} , y_{k-3} e aos três declives negativos das ordenadas y_k , y_{k+1} , y_{k+2} e finalmente a partir deles calculado o ângulo de pico. Os pesos dos declives positivos e negativos efetuam-se com os fatores 3, 2 e 1. Sendo que o fator 3 é o peso do declive imediatamente vizinho ao ponto máximo e o fator 1 o peso do declive mais distante

(figura 15). O cálculo do ângulo de vale δ (figura 15) relativo aos pontos mínimos do perfil, se faz segundo definição análoga ao ângulo de pico γ .

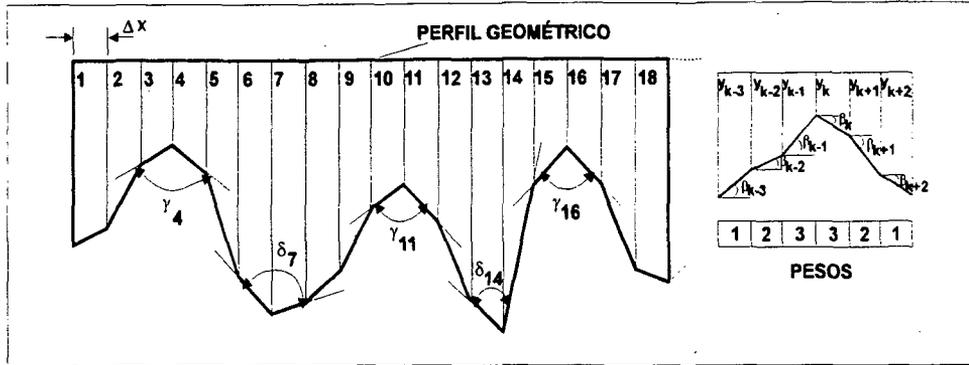


FIGURA 15

$$\gamma = 180 - \text{arc tg} \left[\frac{3 \times \text{tg}(-\beta_{i-1}) + 2 \times \text{tg}(-\beta_{i-2}) + \text{tg}(-\beta_{i-3})}{6} \right] - \text{arc tg} \left[\frac{3 \times \text{tg}(\beta_i) + 2 \times \text{tg}(\beta_{i+1}) + \text{tg}(\beta_{i+2})}{6} \right] \quad (11)$$

Com $\beta_i = \text{arc tg} \left(\frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \right)$

32- D_a ou Δ_a , Valor médio aritmético do declive do perfil (Arithmetischer Mittelwert der Profilneigung).

É a média aritmética dos valores absolutos do quociente diferencial das ordenadas do perfil no percurso de medição.

$$D_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} \left| \frac{dy}{dx} \right| dx \quad \text{ou} \quad D_a \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \right| \quad (12)$$

Onde dy/dx corresponde ao declive do perfil em cada ponto do perfil (figura 16), Δx_i é o intervalo de digitalização e Δy_i é o diferencial de amplitude.

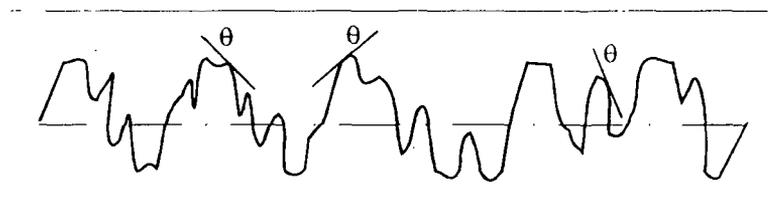


FIGURA 16

$$\theta(x) = \frac{dy}{dx} \quad \bar{\theta} = \frac{1}{l_m} \int_0^l \theta(x) dx \quad (13)$$

33- D_q ou Δ_q , Valor médio quadrático do declive do perfil (Quadratischer Mittelwert der Profilneigung).

É a média quadrática do quociente diferencial das ordenadas do perfil no percurso de medição.

$$D_q = \sqrt{\frac{1}{l_m} \int_0^l \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx} \quad \text{ou} \quad D_q \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta y_i}{\Delta x_i}\right)^2} \quad (14)$$

34 - N_{am} Valor médio de inclinação absoluta (MESQUITA, 1992).

$$N_{am} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |b_i|; \quad b_i = \frac{\sum y_i \times (x_i - x_p)}{10\Delta x^2} \quad (15)$$

onde: x_p = coordenada x do ponto médio onde a inclinação é calculada.

x_i = local dos pontos das abcissas (o valor x corresponde a um número inteiro múltiplo da distância de digitalização).

Δx = distância de digitalização.

Parâmetros híbridos.

35- L_a ou λ_a , Comprimento médio de onda da rugosidade (Mittlere Wellenlänge der Rauheit).

2π vezes a relação entre o desvio médio aritmético R_a e o valor médio aritmético da inclinação do perfil. O comprimento médio de onda L_a é uma boa aproximação do comprimento médio quadrático de onda L_q .

$$\lambda_a = 2\pi \left(\frac{R_a}{D_a} \right) \quad (16)$$

36- L_q ou λ_q , Comprimento médio quadrático de onda (Mittlere quadratische Wellenlänge).

2π vezes a relação entre o valor médio quadrático R_q e o valor médio quadrático da inclinação do perfil D_q . L_q é uma medida para a distância dos picos e dos vales locais do perfil, sob consideração das suas próprias amplitudes e comprimentos de onda.

$$\lambda_q = 2\pi \left(\frac{R_q}{D_q} \right) \tag{17}$$

Parâmetros e curvas para caracterização da forma do perfil.

37- **Curva ADK** Curva de distribuição de amplitudes (Verteilungsdichte der Profilabweichungen).

Representa a distribuição das alturas das ordenadas do perfil de rugosidade. Nos equipamentos com processamento digitalizado ela é obtida da seguinte maneira: dentro do percurso de medição são traçadas duas linhas paralelas à linha média e o número de ordenadas contidas na região entre as duas paralelas é contado (figura 17). A função é normalizada no que se expressa o número de ordenadas em cada região como um percentual do número total das ordenadas dentro do percurso de medição.

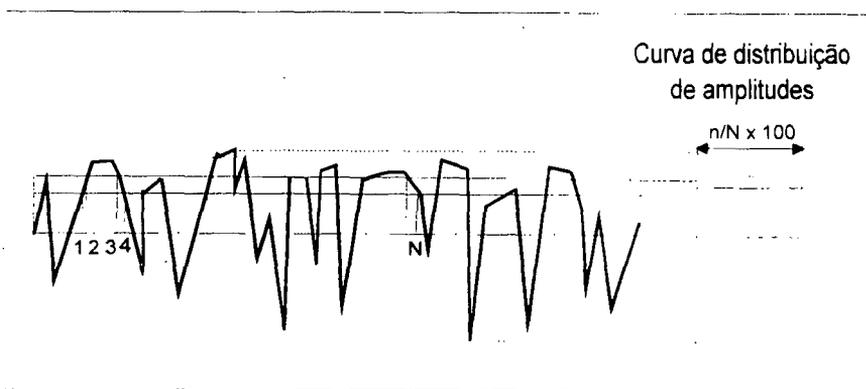


FIGURA 17

38- R_{sk} ou S_k , Coeficiente de simetria (skewness, Schiefe).

É uma medida para a simetria da distribuição das ordenadas do perfil sobre a linha média, ou seja, caracteriza a assimetria da curva de densidade das amplitudes (ADK) (figura 18). Um coeficiente negativo significa que a maioria das ordenadas do perfil se situam acima da linha média. Um coeficiente positivo indica que a maioria das ordenadas se encontra abaixo da linha média

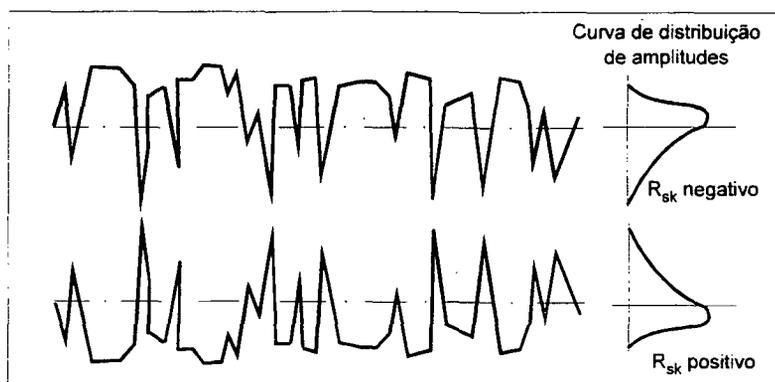


FIGURA 18

$$R_{Sk} = \frac{1}{R_q^3} \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^3 \quad (18)$$

39- R_{ku} (ou K_u), Curtose.

Mede quanto a curva da distribuição de amplitudes é mais estreita ou mais larga (*peakness*) do que uma distribuição normal típica (figura 19). Na prática ela fornece informações a respeito de quão agudos ou arredondados são os picos do perfil de rugosidade.

Curtose das ordenadas y_i do perfil de rugosidade é dada por:

$$R_{ku} = \frac{1}{nR_q^4} \sum_{i=1}^n (y_i)^4 \quad (19)$$

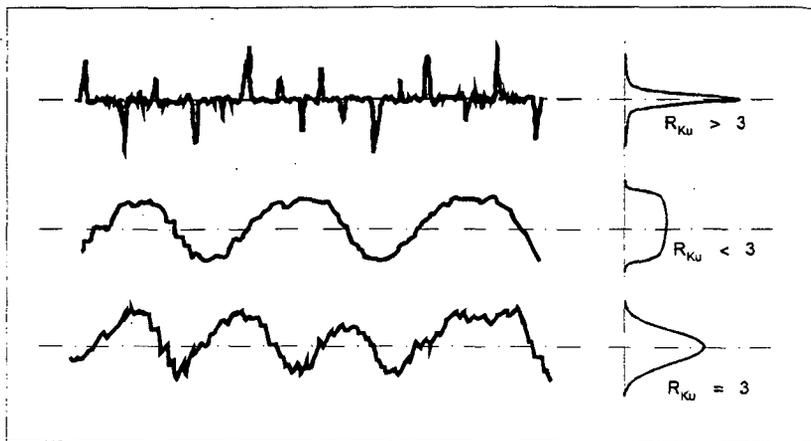


FIGURA 19

$R_{Ku} = 3$, se as ordenadas têm uma distribuição semelhante à normal;

$R_{Ku} > 3$, se a distribuição das ordenadas do perfil é mais delgada que uma distribuição normal;

$R_{Ku} < 3$, se a distribuição das ordenadas do perfil é mais achatada que uma distribuição normal.

40- n_p , Comprimento de suporte do perfil.

Soma dos comprimentos de corte (b_i) dos picos, os quais são determinados por uma paralela à linha média que corta o perfil a uma profundidade "C" pré-determinada (figura 20).

$$n_p = \sum_{i=1}^n b_i \quad (20)$$

41- t_p , Percentagem de suporte do perfil, percentagem de material (Profiltraganteil).

É a relação entre o comprimento de contato e o percurso de medição (l_m) para o nível de corte "C". O nível de corte "C" indica a qual distância da linha de referência foi determinado o valor de contato para a fração de contato. A linha de referência para a fração de contato é uma linha com valor de contato pré-estabelecido em %, paralela às retas de compensação, quando o perfil P é avaliado e paralela à linha média, quando o perfil de rugosidade R é avaliado (figura 19). t_p também é expresso graficamente na curva de Abbott-Firestone, como função da profundidade C (figura 21).

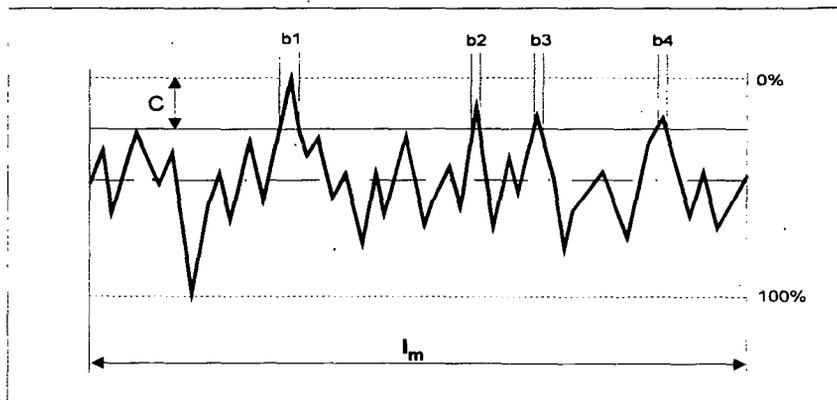


FIGURA 20

$$t_p = \frac{n_p}{l_m} \times 100\% \quad (21)$$

42- t_{pi} Percentagem de suporte do microperfil.

t_p , calculado para o perfil de rugosidade (perfil R).

43- t_{pa} , Percentagem de suporte de macroperfil, percentagem de macromaterial.

t_p , calculado para o perfil primário (perfil P).

44- **Curva de Abbott-Firestone**, Curva de suporte do perfil (Profil Tragkurve, Abbott-Kurve).

É a apresentação gráfica da relação entre o percentual de suporte do perfil t_p e a profundidade da linha de corte C (figura 21). A aproximação da curva de suporte do perfil através de 3 retas paralelas a linha média, divide o perfil de rugosidade em três regiões: região de picos (I), região de rugosidade central (II) e região de vales (III).

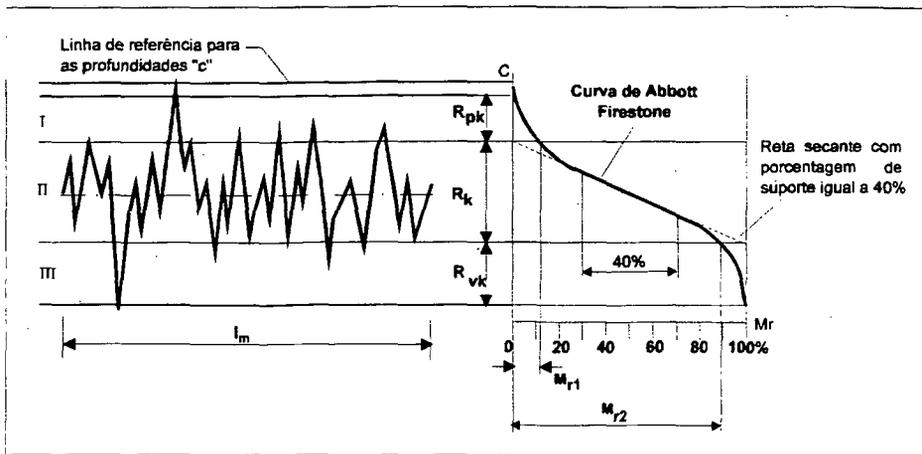


FIGURA 21

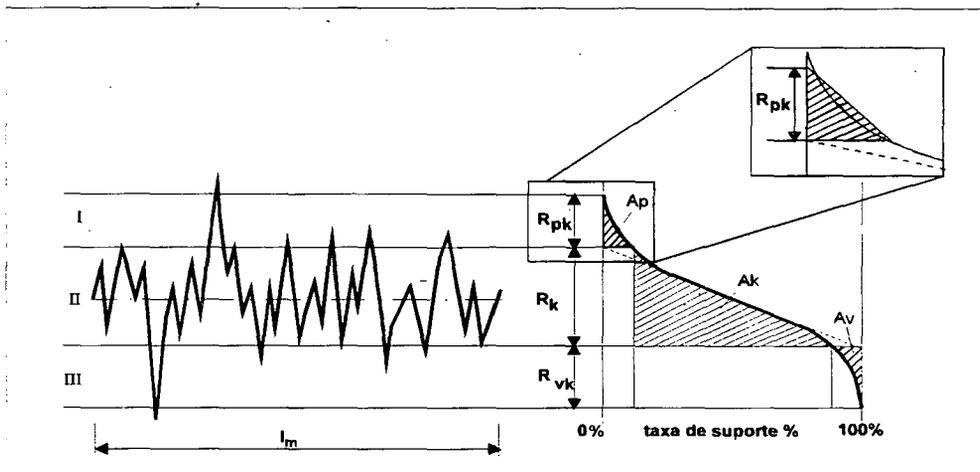


FIGURA 22

45- R_k , Profundidade da rugosidade central (Core roughness depth, Kernrauhentiefe).

Profundidade da rugosidade com exceção dos picos e dos vales (figura 21). É a a altura da região de rugosidade central (II).

46- R_{pk} , Altura reduzida dos picos (Reduced peak height, Reduzierte Spitzenhöhe).

R_{pk} caracteriza a porção do perfil que está acima da região de rugosidade central (figura 21). É a altura da região de picos.

47- R_{vk} , Profundidade reduzida de vales (Reduced valley depth, Reduzierte Riefentiefe).

R_{vk} caracteriza a porção do perfil que está abaixo da região de rugosidade central (figura 21). É a altura da região de vales.

48- Mr_1 e Mr_2 , Percentual de material (Materialanteil).

Mr tem a mesma definição da porcentagem de suporte do perfil (t_p), porém é a designação preferida, quando ele é aplicado à curva de Abbott.

Mr_1 é o percentual de material correspondente à intersecção entre a linha superior da região de rugosidade central e a curva de Abbot. Corresponde, portanto, ao menor percentual de suporte da região central.

Mr_2 é o percentual de material correspondente à intersecção entre a linha inferior da região de rugosidade central e a curva de Abbot. Corresponde, portanto, ao maior percentual de suporte da região central.

49- A_p , Área de picos.

Área compreendida entre a curva de Abbott e a linha superior da região de rugosidade central (figura 22). Está relacionada a região de picos.

50 - A_k Área do núcleo.

Área delimitada pela curva de Abbott, pela linha inferior da região de rugosidade central e por uma vertical passando por Mr_1 (figura 22). Está relacionada à região de rugosidade central.

51- A_v , Área de vales.

Área compreendida entre a curva de Abbott e a linha inferior da região de rugosidade central (figura 22). Está relacionada a região de vales.

52 - Relações entre as áreas da curva de Abbott.

$$A_t = A_p + A_k + A_v. \quad (22)$$

$$A_p/A_t. \quad (23)$$

$$A_v/A_t. \quad (24)$$

53- θ_k , Ângulo de inclinação central (MESQUITA, 1992).

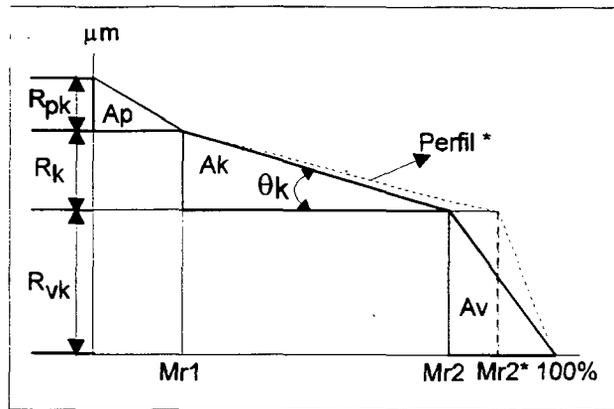


FIGURA 23

$$\theta_K = \arctan\left(\frac{R_k/R_s}{M_{r2} - M_{r1}}\right) \quad (25)$$

onde: $R_s = R_{pk} + R_k + R_{vk}$, figura 23. (MESQUITA, 1992).

54- K_p , Coeficiente de vazio (MESQUITA, 1992).

$$K_p = \frac{R_p}{R_y} \quad (26)$$

55- K_e , Coeficiente de enchimento (MESQUITA, 1992).

$$K_e = 1 - K_p \quad (27)$$

56- K_f , Fator de forma (MESQUITA, 1992).

$$K_f = \frac{R_a}{R_p} \quad (28)$$

57- K' , Coeficiente de dispersão (MESQUITA, 1992).

$$K' = \frac{R_q}{R_y} \quad (29)$$

58- Q_{f1} , Q_{f2} , Q_{f3} , Q_{f4} , Q_{f5} , Quocientes de forma do perfil (MESQUITA, 1992).

$$Q_{f1} = \frac{R_y}{R_p}, \quad Q_{f2} = \frac{R_y}{R_a}, \quad Q_{f3} = \frac{R_p}{R_a}, \quad Q_{f4} = \frac{R_t \times R_a}{R_p^2}, \quad Q_{f5} = \frac{R_t \times R_p}{R_a^2} \quad (30)$$

59- K_{pr} , Valor característico do perfil (MESQUITA, 1992).

$$K_{pr} = \frac{R_y \times R_a^4}{R_p^5} \quad (31)$$

60- C_m , Curvatura (Krümung) (MESQUITA, 1992).

$$C_i = \frac{\sum y_i (x_i - x_p)^2 - 2\Delta x^2 \sum y_i}{7\Delta x^4} \quad (32)$$

$$C_m = \sum_{i=1}^n (-C_i)$$

61- R_{ii} , R_{jj} , R_{ij} , Função de correlação (MESQUITA, 1992).

A função de autocorrelação $R_{ii}(\lambda)$ ou $R_{jj}(\lambda)$ de dois perfis da superfície $y_i(x)$ e $y_j(x)$ são definidos da seguinte forma:

$$R_{ii}(\lambda) = \frac{\sum_{i=1}^{N-\lambda} (y_i - \bar{y}_i)^2}{N - \lambda} \quad (33)$$

$$R_{jj}(\lambda) = \frac{\sum_{i=1}^{N-\lambda} (y_j - \bar{y}_j)^2}{N - \lambda}$$

A função de correlação transversa $R_{ij}(\lambda)$ de $y_i(x)$ e $y_j(x)$ é definida como:

$$R_{ij}(\lambda) = \frac{\sum_{i=1}^{N-\lambda} (y_i - \bar{y}_i)(y_{j+\lambda} - \bar{y}_j)}{N - \lambda} \quad (34)$$

onde:

N é o número de coordenadas

y_i e y_j são os valores médios de $y_i(x)$ e $y_j(x)$ respectivamente
 λ é o parâmetro de deslocamento.

As funções de correlação transversa normalizadas são calculadas da seguinte forma:

$$r_{ii}(\lambda) = \frac{R_{ii}(\lambda)}{\sigma_i^2}, \quad r_{jj}(\lambda) = \frac{R_{jj}(\lambda)}{\sigma_j^2}, \quad r_{ij}(\lambda) = \frac{R_{ij}(\lambda)}{\sigma_i \times \sigma_j} \quad (35)$$

62- $\beta(m,n)$, Função Beta (MESQUITA, 1992).

Através da função Beta é possível se descrever com poucos parâmetros a distribuição das amplitudes.

$$\beta(m,n) = \int_0^1 y^{m-1} (1-y)^{n-1} dy \quad (36)$$

Função de probabilidade da função Beta:

$$f_{\beta}(m,n,y) = \frac{1}{\beta(m,n)} y^{m-1} (1-y)^{n-1}$$

$$m = (R_v) \frac{[(R_v)R_p - R_q^2]}{R_y \times R_q^2} \quad (37)$$

$$n = \frac{R_p [(R_v)R_p - R_q^2]}{R_y \times R_q^2}$$

63- Análise de Fourier (MESQUITA, 1992).

A análise de Fourier de um perfil resulta em sua totalidade de amplitudes e correspondentes freqüências de oscilações harmônicas, as quais somadas conforme fases correspondentes são idênticas ao perfil. O espectro de Fourier do perfil da superfície $y(x)$ é obtido através da transformação de Fourier:

$$F(jw) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(x) e^{-jwx} dx \quad (38)$$

O comprimento de onda λ vale para a frequência da circunferência $w=2/\dots$, tal que a transformada de Fourier deixa-se expressar como função do comprimento de onda:

$$F(\lambda) = F\left(j \frac{2\pi}{\lambda}\right) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(x) e^{-j2\pi/\lambda} dx \quad (39)$$

A série de Fourier da função $y(x)$ pode ser calculada da seguinte forma:

$$y(x) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos nw_0 + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin nw_0 \quad (40)$$

onde:

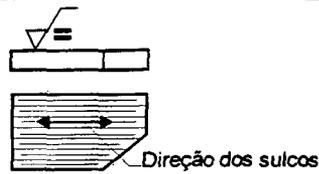
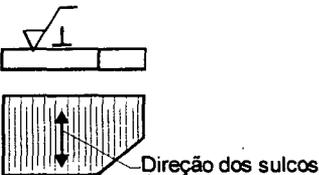
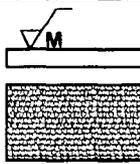
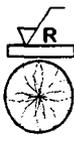
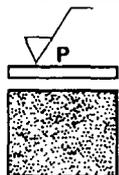
$$\begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{x_0} \int_0^{x_0} y(x) dx = \bar{y}(x) \\ A_n &= \frac{2}{x_0} \int_0^{x_0} y(x) \cos(nw_0 x) dx \\ B_n &= \frac{2}{x_0} \int_0^{x_0} y(x) \sin(nw_0 x) dx \end{aligned} \quad (41)$$

Para o torneamento, por exemplo (MESQUITA, 1992):

$$x_0 = f \text{ (avanço)}$$

$$f_0 = 1/x_0 = 1/f$$

$$w_0 = 2\pi/f.$$

SIMBOLOGIA APLICADA À ORIENTAÇÃO DOS SULCOS DE UMA SUPERFÍCIE		
Símbolo gráfico (ISO 1302)	Interpretação da direção dos sulcos	Exemplo
=	Sulcos paralelos ao plano de projeção da vista na qual o símbolo é aplicado.	
⊥	Sulcos perpendiculares ao plano de projeção da vista na qual o símbolo é aplicado.	
X	Sulcos cruzados em duas direções oblíquas em relação ao plano de projeção da vista na qual o símbolo é aplicado.	
M	Sulcos multi-direcionais.	
C	Sulcos aproximadamente concêntricos em relação ao centro da superfície na qual o símbolo é aplicado.	
R	Sulcos aproximadamente radiais em relação ao centro da superfície na qual o símbolo é aplicado.	
P	Superfície não-direcional.	

OBS.: se for necessário especificar uma superfície com um padrão de sulcos que não é claramente definido por estes símbolos, deve-se adicionar notas esclarecedoras no desenho do componente que contenha esta superfície.

Parâmetros de comparação definidos neste trabalho

64- Razão percentual *R*

$$R = 100 \times \frac{x_o}{x_m} [\%] \tag{42}$$

- R* = razão percentual [%]
- x* = valor médio do parâmetro de textura em análise
- o* = índice para medição com sonda óptica
- m* = índice para medição com sonda mecânica

65- Razão percentual máxima *Rmaxi*

Maior valor da razão percentual *R* de um determinado parâmetro medido para corpos de prova diferentes.

66- Razão percentual mínima *Rmin*

Menor valor da razão percentual *R* de um determinado parâmetro medido para corpos de prova diferentes.

EXEMPLO

Parâmetro	CORPOS DE PROVA				
	A	B	C	D	E
<i>R</i> _{ao} (µm)	0,50	1,00	0,80	0,77	1,50
<i>R</i> _{am} (µm)	0,23	0,86	0,39	0,72	0,99
<i>R</i> (%)	217,4	116,3	205,1	106,9	151,5
<i>Rmaxi</i> (%)	217,4				
<i>Rmin</i> (%)	106,9				

*R*_{ao} = rugosidade média aritmética medida com sensor óptico.

*R*_{am} = rugosidade média aritmética medida com sensor mecânico.

APÊNDICE 3

SELEÇÃO DE NORMAS TRATANDO DE TEXTURA SUPERFICIAL

**Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABNT (<http://www.abnt.org.br>)**

NBR 6405, Rugosidade das superfícies. Rio de Janeiro, jan. 1988.

NBR 8404, Indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos. Rio de Janeiro, mar. 1984.

**Association Française de Normalisation
AFNOR (<http://www.afnor.fr>)**

NF - E 05-015, Surface Texture of Products - Requirements. 1 - General - Terminology - Definitions. Paris, Sep., 1984.

NF - E 05-018, Surface texture of products – Regulation. Economic aspects. Paris, Juillet 1969.

NF E 05-051, Surface texture. Measurement devices. Roughness comparison specimens. Paris, Septembre 1981

NF EN ISO 4287, Geometrical Product Specifications (GPS). Surface texture : Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters. Paris, Décembre 1998.

NF ISO 1302, Technical drawings. Method of indicating surface texture. Paris, Novembre 1995.

NF EN ISO 3274, Geometrical Product Specifications (GPS). Surface Texture : Profile method. Nominal characteristics of contact (stylus) instruments. (European Standard EN ISO 3274). (E 05-052). Paris, Mars 1998.

NF EN ISO 4287, Geometrical Product Specifications (GPS). Surface Texture : Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters. (European Standard EN ISO 4287). (E 05-015). Paris, Décembre 1998.

NF EN ISO 4288, Geometrical Product Specifications (GPS). Surface Texture : Profile method.. Rules and procedures for the assessment of surface texture. (European Standard EN ISO 4288). (E 05-054). Paris, Mars 1998.

NF EN ISO 5436, Surface texture of products. Calibration specimens for stylus instruments. Types, calibration and use of specimens. (E 05-053). Paris, Avril 1987.

NF EN ISO 11562, Geometrical Product Specifications (GPS). Surface Texture : Profile method. Metrological characteristics of phase correct filters. (European Standard EN ISO 11562). (E 05-055). Paris Mars 1998

NF EN ISO 12085, Geometrical Product Specifications (GPS). Surface Texture : Profile method. Motif parameters. (European Standard EN ISO 12085). (E 05-020). Paris, Mars 1998.

NF EN ISO 13565-1, Geometrical Product Specifications (GPS). Surface Texture : Profile method. Surfaces having stratified functional properties. part 1 : Filtering and general measurement conditions. (european standard EN ISO 13565-1). (E 05-021). Paris, Mars 1998.

NF EN ISO 13565-2, Geometrical Product Specifications (GPS). Surface Texture : Profile method. Surfaces having stratified functional properties. part 2 : Height characterization using the linear material ratio curve. (European Standard EN ISO 13565-2). (E 05-022). Paris, Mars 1998.

PROJET E 05-023, Etat de surface (methode du profil) caracterisation des surfaces ayant des proprietes fonctionnelles differentes suivant les niveaux partie 3 : Caracterisation des hauteurs utilisant la courbe de probabilite de matiere pour des surfaces ayant deux composantes aleatoires verticales. Paris, Janvier 1996.

**American Society of Mechanical Engineers
ASME (<http://www.asme.org>)**

ASME BS 46.1/95, Surface Texture (Surface roughness, waviness and lay). Fairfield/NJ, jul. 1995.

ASME Y.14.36, Surface texture symbols – Drafting standards, Fairfield/NJ, 1993.

**British Standards Institution
BSI (<http://www.bsi.org.uk>)**

BS 1134:Part 1, Assessment of surface texture. Methods and instrumentation, 1988.

BS 1134 Part 2, Assessment of surface texture. Guidance and general information, 1990.

BS 2634 Part 1, Roughness comparison specimens. Specification for turned, ground, bored, milled, shaped and planed specimens, 1987.

BS 2634 Part 2, Roughness comparison specimens. Specification for spark-eroded, shot-blasted, grit-blasted, and polished specimens, 1987.

BS 6393, Specification for calibration of stylus instruments Characteristics of specimens for the calibration of stylus instruments, 1987.

**Deutsches Institut für Normung
DIN (<http://www.din.de>)**

DIN EN 1370, Ausgabe:1997-02 Gießereiwesen - Prüfung der Oberflächenrauheit mit Hilfe von Vergleichsmustern; Deutsche Fassung EN 1370:1996.

DIN EN ISO 3274, Ausgabe:1998-04 Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Nenneigenschaften von Tastschnittgeräten (ISO 3274:1996); Deutsche Fassung EN ISO 3274:1997.

DIN EN ISO 4287, Ausgabe:1998-10, Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit (ISO 4287:1997); Deutsche Fassung EN ISO 4287:1998.

DIN EN ISO 4288, Ausgabe:1998-04, Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit (ISO 4288:1996); Deutsche Fassung EN ISO 4288:1997.

DIN 4760, Gestaltabweichungen; Begriffe Ordnungssystem; (Form deviation; Concepts; Classification system). Berlin, Juni 1982.

DIN 4761, Oberflächencharakter; Geometrische Oberflächen-textur-Merkmale, Begriffe, Kurzzeichen (Surface Character; Geometrical characteristics of surface texture; Terms; Definitions; Symbols). Berlin, Dez. 1978.

DIN 4762, Oberflächenrauheit; Begriffe, oberfläche und ihre Kenngrößen (Surface roughness; Terminology, surface and its parameters). Berlin, Jan. 1984.

DIN 4763, Stufung der Zahlenwerte für Rauheitsmeßgrößen (Progressive ratio of number values of surface roughness parameters). Berlin, März 1981.

DIN 4764, Oberflächen an Teilen für Maschinenbau und Feinwerktechnik; Begriffe nach der Beanspruchung (Surfaces of components used in mechanical engineering and light engineering; Terminology according to stress conditions). Berlin, Juni 1982.

DIN 4765, Bestimmen des Flächentraganteils von Oberflächen; Begriffe (Determination of the bearing area fraction of surface, terms). Berlin, März 1981.

DIN 4766-1, Herstellverfahren der Rauheit von Oberflächen; Erreichbare gemittelte Rauhtiefe Rz nach DIN 4768 Teil 1 (Surface roughness associated with types of manufacturing method; Attainable arithmetical mean value of peak-to-valey height Rz according to DIN 4768 Part 1). Berlin, März 1981.

DIN 4766-2, Herstellverfahren der Rauheit von Oberflächen; Erreichbare Mittenrauhwerte Ra nach DIN 4768 Teil 1 (Surface roughness associated with types of manufacturing method; Attainable arithmetical mean value Ra according to DIN 4768 Part 1). Berlin, März 1981.

DIN 4768-1, Ermittlung der Rauheitsmeßgrößen Ra, Rz, Rmax mit elektrischen Tastschnittgeräten; Begriffe, Meßbedingungen (Determination of values of surface roughness parameters Ra, Rz, Rmax using electric contact (stylus) instruments; Concepts and measuring conditions). Berlin, Mai 1990.

DIN 4769-1, Oberflächen-Vergleichsmuster; Technische Lieferbedingungen, Anwendung (Roughness comparison specimens; general specification). Berlin, Mai 1972.

DIN 4769-2, Oberflächen-Vergleichsmuster; Spanend hergestellte Flächen mit periodischem Profil (Roughness comparison specimens; cutting manufactured surfaces with periodic profile). Berlin, Mai 1972.

DIN 4769-3, Oberflächen-Vergleichsmuster; Spanend hergestellte Flächen mit aperiodischem Profil (Roughness comparison specimens; cutting manufactured surfaces with aperiodic profile). Berlin, Mai 1972.

DIN 4769-4, Oberflächen-Vergleichsmuster; Gestrahlte Metalloberflächen (Roughness comparison specimens; Metallic surfaces cleaning with abrasives). Berlin, Mai 1974.

DIN 4771, Messung der Profiltiefe Pt von Oberflächen (Measurement of the profile height Pt). Berlin, Apr.I 1977.

DIN 4772, Elektrische Tastschnittgeräte zur Messung der Oberflächenrauheit nach dem Tastschnittverfahren (Electrical contact (stylus) instruments for measurement of surface roughness by de profile method). Berlin, Nov. 1979.

DIN 4774, Messung der Wellentiefe mit elektrischen Tastschnittgeräten (Measurement of the depth of waviness by means of electrical contact (stylus) instruments). Berlin, Juni 1981.

DIN 4775, Prüfen der Rauheit von Werkstückoberflächen (Measuring the surface roughness workpieces; Visual and tactile comparison; methods by means of contact stylus instruments). Berlin, Juni 1982.

DIN 4776-1, Kenngrößen Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2 zur Beschreibung des Materialanteils im Rauheitsprofil; Meßbedingungen und Auswerteverfahren, Anwendungshinweise und Beispiele (Measurement of surface roughness: parameters Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2 for the description of the material portion (profile bearing length ratio) in the roughness profile; measuring conditions and evaluation procedures, explanations to DIN 4776. Berlin, Mai 1990.

DIN 4777, Profilfilter zur Anwendung in elektrischen Tastschnittgeräten; Phasenkorrekte Filter (Metrology of surfaces; profile filters for electrical contact stylus instruments; phasecorrected filters). Berlin, Mai 1990.

DIN EN ISO 11562, Ausgabe:1998-09 Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Meßtechnische Eigenschaften von phasenkorrekten Filtern (ISO 11562:1996); Deutsche Fassung EN ISO 11562:1997.

DIN EN ISO 13565-1, Ausgabe:1998-04, Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften - Teil 1: Filterung und allgemeine Meßbedingungen (ISO 13565-1:1996); Deutsche Fassung EN ISO 13565-1:1997.

DIN EN ISO 13565-2, Ausgabe:1998-04 Geometrische Produktspezifikationen (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften - Teil 2: Beschreibung der Höhe mittels linearer Darstellung der Materialanteilkurve (ISO 13565-2:1996); Deutsche Fassung EN ISO 13565-2:1997.

**International Organization for Standardization
ISO (<http://www.iso.ch>)**

ISO 468, Surface roughness - Parameters, their values an general rules for specifying requirements. Genève, 1982.

ISO 1302, Technical Drawing - Method of indicating surface texture on drawing. Genève, 1992.

ISO 1878, Classification of instruments and devices for measurement and evaluation of the geometrical parameters of surface finish. Genève, 1983.

ISO 1879, Instruments for measurement of surface roughness by the profile method - Vocabulary. Genève, 1981.

ISO 1880, Instruments for measurement of surface roughness by the profile method - Contact (stylus) instruments of progressive profile transformation - Profile recording instruments. Genève, 1979.

ISO 2632-1, Roughness comparison specimens - Part 1: Turned, ground, bored, milled, shaped and planed. Genève, 1975. (BS 2634 : Part 1 : 1987).

ISO 2632-2, Roughness comparison specimens - Part 2: Spark-eroded, shot blasted and grid blasted, and polished. Genève, 1977. (BS 2634 : Part 2 : 1987).

ISO 2632-3, Roughness comparison specimens - Part 3: Cast surfaces. Genève, 1979.

ISO 3274, Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Nominal characteristics of contact (stylus) Instruments. Genève, 1996.

ISO 4287, Geometrical Product Specification (GPS) - Surface texture: Profile Method – Terms, definitions and surface texture parameters. Genève, 1997.

ISO 4287/2, Surface roughness - Terminology. Part 2: Measurement of surface roughness parameters. Genève, 1984.

ISO 4288, Geometrical Product Specification (GPS) - Surface texture: Profile Method – Rules and procedures for the assessment of surface texture. Genève, 1996.

ISO 5436, Calibration specimens - Stylus instruments - Types, calibration and use of specimens. Genève, 1985.

ISO 5436-1, Geometrical Product Specification (GPS) - Surface texture: Measurement standards – Part 1: Material measures. Genève, 1993.

ISO/DIS 11562, Geometrical Product Specification (GPS) - Surface texture: Profile Method – Metrological characterization of phase corrected filters. Genève, 1996.

ISO/DIS 12085, Geometrical Product Specification (GPS) - Surface texture: Profile Method – Motif parameters. Genève, 1996.

ISO/DIS 13565-1, Geometrical Product Specification (GPS) - Surface texture: Profile Method – Surfaces having stratified functional properties – Part 1: Filtering and general measurements conditions. Genève, 1996.

ISO/DIS 13565-1, Geometrical Product Specification (GPS) - Surface texture: Profile Method – Surfaces having stratified functional properties – Part 2: Height characterization using the linear material ratio curve.

JAPANESE INDUSTRIAL STANDARDS

JIS (<http://www.jisc.org>)

JIS B 0031, Method of indicating surface texture on drawings, 1982.

JIS B 0601, Definitions and designations of surface roughness, 1982.

JIS B 0610, Waviness, 1976.

JIS B 0659, Roughness comparison specimens, 1973.

JIS B 0651, Instruments for the measurement of surface roughness by the stylus method, 1976.

JIS B 0652, Instrumens for the measurement of surface roughness by the interferometric method, 1973.

**Society of Automotive Engineers
SAE (<http://www.sae.org>)**

SAE AS 291 D, Surface Texture, roughness, waviness and lay (em revisão).

SAE J 448, Surface Texture, 1992.

SAE J 449, Surface Texture Control, 1992.

APÊNDICE 4

PROPOSTA DE QUESTIONÁRIO PARA PESQUISA NA INDÚSTRIA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
GRUCON - LASUS



CAIXA POSTAL 476 - 88040-900 - Florianópolis - SC - Tel.: (048) 231-9387 / 234-3579 - FAX: (048) 234 -1519

QUESTIONÁRIO

OBSERVAÇÕES:

- Por favor responder todas as questões cuidadosamente e sempre que possível baseando-se em informações atualizadas.
- As questões devem ser respondidas, se possível, em conjunto pelos setores de projeto/processos, metrologia e de fabricação.
- Todas as questões, a menos que dada outra informação contrária, se referem ao problema da medição da textura (rugosidade e ondulação) em superfícies técnicas.

QUESTÕES

01- Quais são os tipos de peças produzidas nesta fábrica, cujas superfícies terão uma função tecnológica que exija a análise de textura?

- Mancais de maneira geral
- Cilindros e pistões
- Matrizes e moldes de maneira geral
- Guias
- Superfícies a serem recobertas por um processo qualquer
- Outras. Especifique:

02- Qual ou quais tipos de equipamento para análise de superfícies existem nesta fábrica.

- Rugosímetros manuais
- Rugosímetros de bancada
- Microscópio de ferramenta
- Estereomicroscópio
- Outros. Especifique:

03- Quais as normas utilizadas para análise de textura?

- ABNT:
- DIN:
- ISO:
- Outras. Especifique:

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
GRUCON - LASUS

GRUCON



CAIXA POSTAL 476 - 88040-900 - Florianópolis - SC - Tel.: (048) 231-9387 / 234-3579 - FAX: (048) 234 -1519

04- Qual, ou quais, dos três problemas abaixo tem exigido mais esforços?

Determinar em qual local, em qual direção e quantas vezes fazer a medição.

Determinar qual parâmetro de rugosidade deve ser utilizado.

Determinar o melhor tipo de apalpador.

Outros. Especifique:

05- De que maneira são definidos os parâmetros e os seus valores, a serem utilizados para cada tipo de superfície?

Consulta a literatura especializada de maneira geral.

Experimentação executada na própria fábrica.

Adoção das especificações oriundas do projeto original da peça.

Outros. Especifique:

06- Quais tipos de parâmetros têm sido utilizados para qualificação das superfícies?

R_a R_z R_q R_y (R_t) R_{max}

t_p R_p R_k P_t W_t

Outros. Especifique:

07- Este(s) parâmetro(s) tem sido suficiente(s) para qualificar a superfície das peças?

Sim.

Não.

08- Existe a necessidade de se empreender mais esforços na área de análise de superfícies, para adequar os seus produtos a novas exigências de mercado?

Sim.

Não.

Por que?

.....

.....

APÊNDICE 5

PLANILHAS COM DADOS DE MEDIÇÃO PRÉ-PROCESSADOS

AÇO SAE 1045 RETIFICADO PLANO
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
9 MEDIÇÕES NA FACE PLANA RETIFICADA
PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,171	1,343	0,504	0,614	1,573	1,697	1,791	0,400	1,083
2	0,171	1,288	0,526	0,629	1,556	1,591	1,679	0,312	0,962
3	0,147	1,454	0,412	0,503	1,939	2,018	2,093	0,200	1,515
4	0,147	1,520	0,424	0,494	1,920	1,997	2,189	0,326	1,503
5	0,159	1,435	0,537	0,722	1,855	1,926	2,011	0,331	1,204
6	0,170	1,315	0,512	0,604	1,579	1,659	1,810	0,415	1,055
7	0,156	1,266	0,481	0,600	1,551	1,624	1,671	0,206	1,024
8	0,166	1,339	0,491	0,572	1,585	1,668	1,852	0,445	1,096
9	0,167	1,404	0,504	0,631	1,676	1,744	1,889	0,357	1,113
10	0,172	1,477	0,466	0,593	1,985	2,103	2,442	0,664	1,510
11	0,171	1,364	0,511	0,618	1,698	1,737	1,860	0,357	1,119
12	0,163	1,323	0,493	0,592	1,562	1,692	1,741	0,278	1,100
13	0,166	1,313	0,498	0,672	1,696	1,763	1,839	0,393	1,091
14	0,152	1,534	0,488	0,855	2,413	2,582	2,622	0,305	1,727
15	0,191	1,364	0,558	0,664	1,538	1,595	1,672	0,268	0,931
16	0,176	1,333	0,519	0,640	1,629	1,688	1,751	0,312	1,048
17	0,179	1,347	0,543	0,690	1,671	1,769	2,125	0,575	1,079
18	0,202	1,468	0,597	0,837	2,071	2,119	2,398	0,737	1,282
19	0,204	1,504	0,613	0,909	2,311	2,375	2,802	0,882	1,466
20	0,156	1,299	0,480	0,611	1,688	1,756	1,891	0,367	1,145
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,169	1,385	0,508	0,653	1,775	1,855	2,006	0,407	1,203
MAX	0,204	1,534	0,613	0,909	2,413	2,582	2,802	0,882	1,727
MIN	0,147	1,266	0,412	0,494	1,538	1,591	1,671	0,200	0,931
s	0,0158	0,0831	0,0484	0,1075	0,2572	0,2692	0,3295	0,1773	0,2206
l	0,0074	0,039	0,0227	0,0505	0,1208	0,1264	0,1547	0,0832	0,1036

20 peças

GL = 19

t95% = 2,1

AÇO SAE 1045 RETIFICADO PLANO
 FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
 9 MEDIÇÕES NA FACE PLANA RETIFICADA
 PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rpm [μ m]	Rp [μ m]	Rmax [μ m]	Rt [μ m]	Pt [μ m]	Wt [μ m]	Rv [μ m]
1	0,447	4,005	1,384	1,529	4,622	4,761	5,040	0,717	3,232
2	0,457	4,089	1,393	1,592	4,655	4,825	5,153	0,849	3,233
3	0,435	4,746	1,299	1,460	5,674	5,863	6,088	0,908	4,403
4	0,433	3,832	1,357	1,524	4,377	4,477	4,849	0,882	2,953
5	0,431	4,156	1,403	1,595	5,613	5,689	5,768	0,857	4,094
6	0,428	3,772	1,356	1,526	4,245	4,431	4,800	0,750	2,905
7	0,444	3,912	1,364	1,512	4,334	4,512	4,850	0,771	3,000
8	0,447	3,948	1,399	1,580	4,462	4,634	4,807	0,792	3,054
9	0,473	4,414	1,430	1,624	5,332	5,477	5,785	0,808	3,853
10	0,429	4,614	1,310	1,490	5,916	6,087	6,430	0,850	4,597
11	0,446	4,078	1,388	1,521	4,824	4,951	5,267	0,836	3,430
12	0,433	3,781	1,363	1,497	4,214	4,350	4,711	0,800	2,853
13	0,446	4,041	1,383	1,525	4,835	4,993	5,209	0,662	3,468
14	0,419	3,871	1,309	1,468	4,717	4,797	4,954	0,632	3,329
15	0,440	3,901	1,392	1,566	4,336	4,493	4,640	0,694	2,927
16	0,435	3,933	1,363	1,508	4,471	4,634	4,783	0,575	3,126
17	0,453	4,140	1,410	1,585	4,556	4,758	5,031	0,745	3,173
18	0,455	4,034	1,447	1,623	4,637	4,844	5,102	0,714	3,221
19	0,449	3,982	1,444	1,586	4,391	4,512	4,817	0,729	2,926
20	0,439	3,975	1,388	1,548	4,536	4,675	5,054	0,625	3,127
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,442	4,061	1,379	1,543	4,737	4,888	5,157	0,760	3,345
MAX	0,473	4,746	1,447	1,624	5,916	6,087	6,430	0,908	4,597
MIN	0,419	3,772	1,299	1,460	4,214	4,350	4,640	0,575	2,853
s	0,012	0,258	0,041	0,049	0,500	0,498	0,487	0,092	0,505
l	0,006	0,121	0,019	0,023	0,235	0,234	0,229	0,043	0,237

AÇO SAE 1045 RETIFICADO PLANO
 RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
 9 MEDIÇÕES NA FACE PLANA RETIFICADA
 PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	41,53	20	55	1,003	17	0,061	73	-0,758
2	43,73	23	68	1,003	17	0,061	67	-0,479
3	38,03	12	26	1,003	17	0,058	84	-2,085
4	38,88	13	26	1,003	17	0,058	84	-2,154
5	43,45	19	48	1,003	18	0,056	75	-0,749
6	52,76	29	100	1,003	19	0,061	63	-0,455
7	40,90	19	49	1,003	17	0,060	76	-0,629
8	48,54	25	87	1,003	19	0,060	65	-0,623
9	45,14	22	68	1,003	18	0,059	73	-0,833
10	54,28	19	63	1,003	19	0,058	75	-1,806
11	56,85	25	74	1,003	21	0,060	60	-0,860
12	48,45	20	60	1,003	18	0,057	71	-0,593
13	43,05	27	64	1,003	18	0,062	70	-0,554
14	42,04	10	23	1,003	18	0,056	83	-2,276
15	59,55	28	108	1,003	20	0,061	59	-0,350
16	48,16	27	74	1,003	18	0,060	69	-0,434
17	45,71	27	90	1,003	18	0,062	67	-0,437
18	47,09	29	95	1,003	18	0,062	62	-0,468
19	45,53	26	76	1,003	18	0,062	67	-0,489
20	40,43	19	47	1,003	17	0,060	75	-0,727
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	46,21	21,95	65,05	1,003	18,10	0,06	70,90	-0,89
MAX	59,55	29,00	108,00	1,003	21,00	0,06	84,00	-0,35
MIN	38,03	10,00	23,00	1,003	17,00	0,06	59,00	-2,28
s	5,90	5,68	24,27	0,00	1,07	0,00	7,48	0,63
l	2,77	2,67	11,40	0,00	0,50	0,00	3,51	0,30

AÇO SAE 1045 RETIFICADO PLANO
 FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
 9 MEDIÇÕES NA FACE PLANA RETIFICADA
 PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/cm]	[p/cm]	[—]	[mm]	[—]	[%]	[—]
1	9,338	725	1332	1,119	7	0,417	20	-0,718
2	9,624	726	1320	1,120	7	0,419	20	-0,732
3	9,231	706	1339	1,108	7	0,392	23	-1,390
4	9,178	722	1332	1,110	7	0,400	21	-0,746
5	9,631	696	1280	1,110	7	0,398	20	-1,240
6	8,983	769	1400	1,123	6	0,427	20	-0,677
7	9,256	726	1319	1,118	7	0,415	21	-0,657
8	9,491	731	1327	1,121	7	0,420	20	-0,700
9	9,392	727	1336	1,115	7	0,408	21	-0,786
10	9,799	648	1287	1,101	7	0,377	24	-1,297
11	9,373	752	1369	1,125	7	0,428	20	-0,837
12	9,405	697	1258	1,109	7	0,397	21	-0,686
13	9,751	721	1313	1,116	7	0,409	21	-0,818
14	9,152	718	1363	1,113	7	0,404	22	-0,859
15	9,476	731	1335	1,120	7	0,419	20	-0,692
16	9,171	753	1364	1,124	7	0,427	20	-0,800
17	9,207	756	1364	1,125	7	0,430	19	-0,829
18	9,886	730	1311	1,121	7	0,418	19	-0,702
19	9,740	706	1293	1,119	7	0,418	19	-0,643
20	9,513	709	1313	1,117	7	0,413	19	-0,706
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	9,430	722	1328	1,12	6,950	0,412	20,50	-0,826
MAX	9,886	769	1400	1,13	7,000	0,430	24,00	-0,643
MIN	8,983	648	1258	1,10	6,000	0,377	19,00	-1,390
s	0,249	26	34	0,01	0,224	0,014	1,32	0,219
l	0,117	12	16	0,00	0,105	0,006	0,62	0,103

**AÇO SAE 1045 RETIFICADO PLANO E NITRETADO
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
9 MEDIÇÕES NA FACE PLANA RETIFICADA
PARÂMETROS VERTICAIS**

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
11N	0,225	1,866	0,814	1,197	2,384	2,592	2,943	0,768	1,395
12N	0,198	1,624	0,704	0,853	1,985	2,087	2,302	0,430	1,234
13N	0,191	1,585	0,683	0,845	1,839	1,946	2,005	0,485	1,101
14N	0,207	1,881	0,698	0,892	2,525	2,644	2,701	0,467	1,752
15N	0,203	1,640	0,729	0,907	1,969	2,042	2,226	0,398	1,135
16N	0,195	1,590	0,686	0,810	1,847	1,999	2,094	0,326	1,189
17N	0,196	1,633	0,707	0,879	1,988	2,091	2,221	0,379	1,212
18N	0,230	1,742	0,751	0,973	2,077	2,231	2,557	0,719	1,258
19N	0,210	1,635	0,739	0,908	1,947	2,087	2,374	0,480	1,179
20N	0,204	1,742	0,724	1,108	2,401	2,563	2,825	0,703	1,455
PEÇA	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,206	1,694	0,724	0,937	2,096	2,228	2,425	0,516	1,291
MAX	0,230	1,881	0,814	1,197	2,525	2,644	2,943	0,768	1,752
MIN	0,191	1,585	0,683	0,810	1,839	1,946	2,005	0,326	1,101
s	0,013	0,109	0,039	0,123	0,247	0,267	0,317	0,157	0,196
l	0,009	0,078	0,028	0,088	0,177	0,191	0,227	0,112	0,140

10 peças

GL = 9

t95% = 2,26

**AÇO SAE 1045 RETIFICADO PLANO E NITRETADO
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
9 MEDIÇÕES NA FACE PLANA RETIFICADA
PARÂMETROS VERTICAIS**

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
11N	0,74	6,52	2,43	2,83	7,82	7,99	8,10	0,78	5,16
12N	0,75	6,36	2,38	2,70	7,24	7,51	7,72	0,88	4,81
13N	0,67	5,79	2,11	2,52	6,66	6,90	7,11	0,72	4,38
14N	0,76	6,93	2,52	2,90	8,25	8,54	8,75	0,80	5,64
15N	0,68	6,04	2,16	2,45	7,31	7,53	7,77	0,90	5,08
16N	0,67	6,02	2,20	2,44	7,50	7,67	7,72	0,64	5,23
17N	0,67	5,98	2,12	2,35	7,49	7,58	7,99	0,97	5,23
18N	0,78	6,92	2,50	2,84	7,70	8,01	8,19	0,79	5,17
19N	0,74	6,44	2,47	2,97	7,39	7,89	8,05	0,72	4,92
20N	0,69	6,24	2,22	2,51	7,79	8,00	8,14	0,74	5,49
PEÇA	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,72	6,32	2,31	2,65	7,52	7,76	7,95	0,79	5,11
MAX	0,78	6,93	2,52	2,97	8,25	8,54	8,75	0,97	5,64
MIN	0,67	5,79	2,11	2,35	6,66	6,90	7,11	0,64	4,38
s	0,043	0,389	0,165	0,223	0,423	0,434	0,423	0,099	0,353
l	0,031	0,278	0,118	0,159	0,302	0,310	0,302	0,070	0,252

AÇO SAE 1045 RETIFICADO PLANO E NITRETADO
 RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
 9 MEDIÇÕES NA FACE PLANA RETIFICADA
 PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
11N	38,95	49	169	1,005	17	0,079	48	-0,327
12N	42,74	43	135	1,004	18	0,070	52	-0,483
13N	35,90	45	122	1,004	17	0,071	56	-0,366
14N	39,25	45	148	1,005	17	0,075	58	-1,310
15N	43,43	41	145	1,004	18	0,073	51	-0,307
16N	39,99	48	148	1,005	17	0,074	50	-0,245
17N	35,33	45	130	1,004	16	0,073	57	-0,400
18N	42,29	51	183	1,005	19	0,077	45	-0,294
19N	37,14	52	174	1,005	16	0,080	48	-0,286
20N	40,46	45	135	1,004	18	0,071	52	-0,359
PEÇA	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	39,55	46,40	148,90	1,005	17,30	0,07	51,70	-0,44
MAX	43,43	52,00	183,00	1,005	19,00	0,08	58,00	-0,25
MIN	35,33	41,00	122,00	1,004	16,00	0,07	45,00	-1,31
s	2,81	3,50	20,22	0,001	0,95	0,00	4,24	0,31
l	2,01	2,50	14,45	0,000	0,68	0,00	3,03	0,22

AÇO SAE 1045 RETIFICADO PLANO E NITRETADO
 FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
 9 MEDIÇÕES NA FACE PLANA RETIFICADA
 PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
11N	10,72	889	1423	1,260	7	0,652	10	-0,673
12N	11,01	866	1373	1,252	7	0,638	10	-0,642
13N	10,31	895	1466	1,239	7	0,619	11	-1,016
14N	10,98	884	1423	1,265	7	0,658	9	-0,731
15N	10,34	866	1439	1,222	7	0,594	11	-0,663
16N	10,04	910	1476	1,241	7	0,624	11	-0,741
17N	10,22	908	1495	1,249	7	0,639	11	-0,700
18N	11,19	874	1399	1,266	7	0,660	9	-1,026
19N	10,46	918	1435	1,269	7	0,668	10	-0,570
20N	9,96	930	1486	1,252	7	0,639	11	-0,776
PEÇA	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	10,52	894	1442	1,25	7,000	0,639	10,30	-0,754
MAX	11,19	930	1495	1,27	7,000	0,668	11,00	-0,570
MIN	9,96	866	1373	1,22	7,000	0,594	9,00	-1,026
s	0,43	22	39	0,01	0,000	0,022	0,82	0,152
l	0,31	16	28	0,01	0,000	0,016	0,59	0,109

AÇO ABNT 1045 LAPIDADO
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA
PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,100	0,811	0,408	0,487	0,973	1,007	1,056	0,153	0,520
2	0,098	0,819	0,409	0,497	0,991	1,066	1,103	0,144	0,569
3	0,092	0,795	0,388	0,485	0,985	1,042	1,157	0,257	0,557
4	0,093	0,754	0,380	0,476	0,862	0,918	0,980	0,184	0,442
5	0,090	0,712	0,347	0,409	0,801	0,834	0,869	0,095	0,425
6	0,096	0,764	0,382	0,455	0,903	0,928	0,967	0,154	0,473
7	0,090	0,734	0,373	0,484	0,861	0,898	0,955	0,153	0,414
8	0,102	0,828	0,429	0,542	0,943	0,989	1,023	0,104	0,447
9	0,102	0,825	0,431	0,546	0,947	0,990	1,008	0,068	0,444
10	0,086	0,691	0,334	0,450	0,851	0,884	0,892	0,087	0,434
11	0,091	0,719	0,359	0,411	0,801	0,826	0,837	0,083	0,415
12	0,096	0,761	0,381	0,442	0,860	0,881	0,908	0,076	0,439
13	0,095	0,765	0,383	0,474	0,856	0,906	0,914	0,085	0,432
14	0,097	0,778	0,388	0,500	0,910	0,956	0,975	0,083	0,456
15	0,095	0,767	0,388	0,486	0,923	0,961	0,968	0,070	0,475
16	0,095	0,751	0,374	0,472	0,872	0,921	0,958	0,112	0,449
17	0,096	0,829	0,402	0,522	1,024	1,091	1,259	0,293	0,569
18	0,099	0,818	0,436	0,530	0,926	0,958	0,973	0,063	0,428
19	0,094	0,760	0,388	0,474	0,862	0,901	0,939	0,085	0,427
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,095	0,773	0,388	0,481	0,903	0,945	0,986	0,124	0,464
MAX	0,102	0,829	0,436	0,546	1,024	1,091	1,259	0,293	0,569
MIN	0,086	0,691	0,334	0,409	0,801	0,826	0,837	0,063	0,414
s	0,004	0,042	0,027	0,038	0,063	0,073	0,101	0,064	0,051
l	0,002	0,020	0,013	0,018	0,031	0,035	0,049	0,031	0,025

19 peças

GL = 18

t95% = 2,11

AÇO ABNT 1045 LAPIDADO
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA
PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
1	0,854	7,358	2,840	3,178	8,559	8,823	9,063	1,084	5,645
2	0,918	7,603	3,032	3,389	8,612	8,920	9,083	1,335	5,531
3	0,922	7,635	2,997	3,385	8,737	9,176	9,576	1,231	5,791
4	0,915	7,637	2,948	3,319	9,019	9,245	9,515	1,092	5,926
5	0,870	7,170	2,720	3,112	8,375	8,601	8,837	0,951	5,489
6	0,919	7,745	2,977	3,334	9,229	9,428	9,573	1,120	6,094
7	0,905	7,543	2,905	3,251	8,485	8,780	8,985	1,000	5,529
8	0,956	7,834	3,182	3,629	9,032	9,264	9,516	0,945	5,635
9	0,958	7,968	3,153	3,468	9,662	9,848	10,140	1,115	6,380
10	0,880	7,464	2,784	3,160	8,864	9,212	9,519	0,907	6,052
11	0,893	7,524	2,886	3,207	8,851	9,052	9,311	1,090	5,845
12	0,936	7,824	3,051	3,443	8,959	9,411	9,405	0,841	5,968
13	0,918	7,720	2,976	3,428	9,014	9,398	9,707	0,862	5,970
14	0,921	7,471	3,081	3,642	8,759	8,845	8,967	0,982	5,203
15	0,917	7,626	3,029	3,385	8,875	9,112	9,195	0,987	5,727
16	0,918	7,565	2,920	3,287	8,614	8,930	9,263	1,071	5,643
17	0,944	7,765	3,163	3,495	8,516	8,811	9,130	1,080	5,316
18	0,921	7,662	3,040	3,530	8,733	9,052	9,159	0,833	5,522
19	0,934	7,489	3,011	3,292	8,566	8,699	9,017	0,959	5,407
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,916	7,611	2,984	3,365	8,814	9,085	9,314	1,026	5,720
MAX	0,958	7,968	3,182	3,642	9,662	9,848	10,140	1,335	6,380
MIN	0,854	7,170	2,720	3,112	8,375	8,601	8,837	0,833	5,203
s	0,027	0,184	0,123	0,150	0,304	0,309	0,320	0,130	0,297
l	0,013	0,089	0,060	0,073	0,147	0,150	0,155	0,063	0,144

AÇO ABNT 1045 LAPIDADO
 RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
 10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA
 PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	13,64	24	44	1,004	9	0,067	34	0,075
2	12,81	21	46	1,004	8	0,070	36	0,013
3	13,03	14	31	1,004	9	0,066	37	0,029
4	13,56	14	24	1,003	9	0,064	44	-0,104
5	13,18	9	13	1,003	9	0,062	47	-0,137
6	13,72	17	33	1,003	9	0,065	38	-0,035
7	13,46	12	20	1,003	9	0,063	43	-0,190
8	13,90	24	50	1,004	9	0,067	33	0,082
9	14,40	25	46	1,003	9	0,066	34	-0,033
10	13,84	7	11	1,003	9	0,058	49	-0,081
11	13,06	14	28	1,003	9	0,064	42	-0,030
12	13,43	15	28	1,004	9	0,067	40	-0,032
13	13,66	18	30	1,003	9	0,065	40	-0,088
14	13,36	18	41	1,004	9	0,067	36	0,014
15	13,32	19	39	1,004	9	0,067	38	-0,034
16	12,39	13	24	1,003	8	0,066	45	-0,116
17	13,50	20	44	1,004	9	0,067	35	0,049
18	13,50	20	32	1,004	9	0,067	39	-0,065
19	13,57	19	33	1,003	9	0,066	40	-0,004
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	13,44	17,00	32,47	1,003	8,89	0,07	39,47	-0,04
MAX	14,40	25,00	50,00	1,004	9,00	0,07	49,00	0,08
MIN	12,39	7,00	11,00	1,003	8,00	0,06	33,00	-0,19
s	0,43	4,96	11,16	0,001	0,32	0,00	4,56	0,07
l	0,21	2,40	5,40	0,000	0,15	0,00	2,21	0,04

FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
 10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA
 PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [-]	La [mm]	Da [-]	tp [%]	Sk [-]
1	10,31	1134	1485	1,375	7	0,824	3	-0,474
2	10,40	1112	1463	1,358	7	0,798	3	-0,447
3	10,44	1123	1480	1,366	7	0,810	3	-0,434
4	10,14	1141	1493	1,363	7	0,807	4	-0,509
5	10,20	1126	1483	1,345	7	0,780	4	-0,553
6	10,46	1110	1462	1,368	7	0,814	4	-0,497
7	10,18	1133	1470	1,355	7	0,796	4	-0,469
8	10,53	1109	1460	1,375	7	0,823	3	-0,459
9	10,61	1099	1445	1,366	7	0,809	3	-0,478
10	10,22	1116	1496	1,337	7	0,769	4	-0,598
11	10,02	1145	1489	1,358	7	0,799	4	-0,485
12	10,39	1121	1460	1,372	7	0,820	3	-0,469
13	10,10	1141	1489	1,359	7	0,801	3	-0,453
14	10,16	1146	1489	1,363	7	0,808	3	-0,426
15	10,57	1092	1437	1,329	7	0,757	4	-0,499
16	10,45	1110	1442	1,351	7	0,791	4	-0,419
17	10,73	1090	1440	1,365	7	0,810	3	-0,436
18	10,27	1117	1461	1,366	7	0,812	4	-0,471
19	10,33	1129	1483	1,371	7	0,819	4	-0,472
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	10,34	1121	1470	1,36	7,000	0,802	3,53	-0,476
MAX	10,73	1146	1496	1,38	7,000	0,824	4,00	-0,419
MIN	10,02	1090	1437	1,33	7,000	0,757	3,00	-0,598
s	0,19	17	19	0,01	0,000	0,018	0,51	0,043
l	0,09	8	9	0,01	0,000	0,009	0,25	0,021

AÇO ABNT 1045 LAPIDADO E NITRETADO
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA E NITRETADA
PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
3	0,114	0,926	0,453	0,579	1,091	1,152	1,423	0,500	0,573
9	0,116	0,952	0,465	0,606	1,202	1,226	1,344	0,253	0,620
10	0,101	0,843	0,416	0,539	1,005	1,043	1,067	0,138	0,504
12	0,119	0,980	0,485	0,596	1,172	1,220	1,379	0,274	0,624
13	0,108	0,873	0,434	0,554	1,008	1,073	1,187	0,406	0,519
14	0,111	0,911	0,456	0,537	1,051	1,091	1,147	0,209	0,554
16	0,111	0,961	0,492	0,657	1,121	1,204	1,242	0,270	0,547
17	0,124	1,000	0,525	0,710	1,244	1,276	1,524	0,440	0,566
19	0,111	0,860	0,416	0,524	0,999	1,051	1,120	0,210	0,527
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,113	0,923	0,460	0,589	1,099	1,148	1,270	0,300	0,559
MAX	0,124	1,000	0,525	0,710	1,244	1,276	1,524	0,500	0,624
MIN	0,101	0,843	0,416	0,524	0,999	1,043	1,067	0,138	0,504
s	0,007	0,055	0,036	0,062	0,091	0,087	0,155	0,121	0,042
l	0,005	0,043	0,028	0,047	0,070	0,067	0,119	0,093	0,032

9 peças GL = 8 t95% = 2,31

AÇO ABNT 1045 LAPIDADO E NITRETADO
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA E NITRETADA
PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
3	0,851	7,212	2,735	3,059	9,093	9,327	9,416	0,833	6,268
9	0,865	7,033	2,838	3,270	7,942	8,272	8,460	0,751	5,002
10	0,785	6,618	2,372	2,643	7,673	7,914	7,979	0,663	5,271
12	0,909	8,031	2,999	3,396	9,342	9,548	9,367	0,710	6,152
13	0,812	6,817	2,514	2,747	8,079	8,259	8,532	0,722	5,512
14	0,886	7,568	2,861	3,262	8,625	9,032	9,166	0,747	5,770
16	0,826	7,105	2,564	2,864	8,479	8,668	8,796	0,672	5,804
17	0,881	7,455	2,841	3,071	8,491	8,666	8,987	1,085	5,595
19	0,873	7,235	2,808	3,226	8,215	8,637	8,578	0,703	5,411
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,854	7,230	2,726	3,060	8,438	8,703	8,809	0,765	5,643
MAX	0,909	8,031	2,999	3,396	9,342	9,548	9,416	1,085	6,268
MIN	0,785	6,618	2,372	2,643	7,673	7,914	7,979	0,663	5,002
s	0,040	0,419	0,201	0,259	0,536	0,527	0,472	0,130	0,405
l	0,031	0,323	0,154	0,199	0,412	0,406	0,363	0,100	0,312

**AÇO ABNT 1045 LAPIDADO E NITRETADO
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA E NITRETADA
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA**

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
3	18,32	33	72	1,003	10	0,067	30	-0,097
9	17,97	40	101	1,004	10	0,071	25	0,062
10	17,45	26	59	1,003	10	0,065	31	-0,030
12	17,67	41	94	1,004	10	0,073	25	-0,063
13	18,73	35	97	1,004	11	0,069	24	0,037
14	15,45	43	100	1,005	9	0,077	25	0,070
16	17,36	37	98	1,004	10	0,072	26	0,236
17	18,88	43	114	1,004	11	0,071	22	-0,069
19	18,20	32	65	1,003	11	0,065	31	-0,135
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	17,78	36,67	88,89	1,004	10,22	0,07	26,56	0,00
MAX	18,88	43,00	114,00	1,005	11,00	0,08	31,00	0,24
MIN	15,45	26,00	59,00	1,003	9,00	0,07	22,00	-0,14
s	1,02	5,72	18,79	0,001	0,67	0,00	3,28	0,11
l	0,79	4,41	14,47	0,001	0,51	0,00	2,53	0,09

**AÇO ABNT 1045 LAPIDADO E NITRETADO
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA E NITRETADA
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA**

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
3	10,32	1098	1467	1,323	7	0,750	4	-0,548
9	10,41	1092	1451	1,327	7	0,756	4	-0,514
10	10,35	1060	1445	1,281	7	0,687	4	-0,636
12	10,40	1113	1483	1,335	7	0,795	3	-0,523
13	10,81	1035	1413	1,285	7	0,693	4	-0,557
14	10,84	1060	1412	1,321	7	0,748	4	-0,573
16	10,51	1060	1437	1,301	7	0,717	4	-0,548
17	11,93	980	1342	1,301	8	0,716	4	-0,575
19	11,56	991	1339	1,297	8	0,709	4	-0,517
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	10,79	1054	1421	1,31	7,222	0,730	3,89	-0,555
MAX	11,93	1113	1483	1,34	8,000	0,795	4,00	-0,514
MIN	10,32	980	1339	1,28	7,000	0,687	3,00	-0,636
s	0,58	46	51	0,02	0,441	0,035	0,33	0,038
l	0,45	35	39	0,01	0,340	0,027	0,26	0,029

ABNT 1045 POLIDO
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE POLIDA
PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,011	0,065	0,029	0,054	0,104	0,112	0,236	0,159	0,058
2	0,009	0,051	0,022	0,035	0,083	0,087	0,157	0,092	0,052
3	0,010	0,060	0,026	0,045	0,107	0,113	0,198	0,113	0,068
4	0,010	0,056	0,023	0,035	0,094	0,096	0,190	0,117	0,061
5	0,008	0,047	0,018	0,028	0,081	0,085	0,134	0,068	0,057
6	0,008	0,054	0,024	0,049	0,095	0,106	0,190	0,116	0,057
7	0,007	0,043	0,018	0,025	0,066	0,070	0,115	0,061	0,045
8	0,009	0,052	0,021	0,037	0,087	0,094	0,181	0,109	0,057
9	0,008	0,045	0,019	0,032	0,075	0,084	0,203	0,148	0,052
10	0,007	0,042	0,016	0,032	0,086	0,094	0,183	0,112	0,062
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,008	0,052	0,022	0,037	0,088	0,094	0,179	0,110	0,057
MAX	0,010	0,065	0,029	0,054	0,107	0,113	0,236	0,159	0,068
MIN	0,007	0,042	0,016	0,025	0,066	0,070	0,115	0,061	0,045
s	0,001	0,008	0,004	0,009	0,013	0,013	0,035	0,031	0,006
l	0,001	0,005	0,003	0,007	0,009	0,010	0,025	0,022	0,005

10 peças GL = 9 t95% = 2,26

ABNT 1045 POLIDO
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE POLIDA
PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,031	0,303	0,134	0,213	0,535	0,564	0,611	0,170	0,351
2	0,038	0,366	0,171	0,282	0,652	0,689	0,729	0,137	0,407
3	0,049	0,407	0,176	0,273	0,648	0,691	0,762	0,167	0,418
4	0,032	0,352	0,140	0,253	0,710	0,752	0,806	0,155	0,499
5	0,031	0,327	0,126	0,218	0,602	0,651	0,695	0,118	0,433
6	0,046	0,531	0,189	0,341	1,039	1,099	1,173	0,196	0,758
7	0,042	0,401	0,163	0,247	0,706	0,745	0,757	0,118	0,498
8	0,041	0,355	0,156	0,247	0,578	0,606	0,654	0,137	0,359
9	0,036	0,364	0,152	0,293	0,763	0,800	0,871	0,187	0,507
10	0,033	0,348	0,146	0,257	0,681	0,726	0,793	0,161	0,469
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,038	0,375	0,155	0,262	0,691	0,732	0,785	0,155	0,470
MAX	0,049	0,531	0,189	0,341	1,039	1,099	1,173	0,196	0,758
MIN	0,031	0,303	0,126	0,213	0,535	0,564	0,611	0,118	0,351
s	0,006	0,063	0,020	0,037	0,140	0,147	0,156	0,027	0,116
l	0,005	0,045	0,014	0,027	0,100	0,105	0,111	0,019	0,083

ABNT 1045 POLIDO
RHT.6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE POLIDA
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	****	125	148	1,00	19,00	0,01	8,00	-0,90
2	****	134	174	****	****	****	****	****
3	****	138	174	****	****	****	****	****
4	****	80	113	****	****	****	****	****
5	****	96	120	****	****	****	****	****
6	****	104	136	****	****	****	****	****
7	****	125	160	****	****	****	****	****
8	****	125	153	****	****	****	****	****
9	****	100	128	****	****	****	****	****
10	****	116	151	****	****	****	****	****
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	****	114,30	145,70	****	****	****	****	****
MAX	****	138,00	174,00	****	****	****	****	****
MIN	****	80,00	113,00	****	****	****	****	****
s	#DIV/0!	18,61	21,16	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
I	#DIV/0!	13,30	15,12	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

ABNT 1045 POLIDO
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE POLIDA
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	****	1881	2269	1,003	4	0,055	4	-3,199
2	****	2013	2266	1,003	4	0,064	4	-0,756
3	****	1843	2050	1,003	4	0,062	4	-0,817
4	****	1756	2119	1,002	4	0,049	4	-1,733
5	****	1690	2064	1,002	4	0,047	4	-1,656
6	****	1916	2224	1,003	4	0,060	4	-1,366
7	****	1844	2129	1,003	4	0,062	4	-1,114
8	****	1718	1983	1,003	4	0,054	5	-0,939
9	****	1728	2044	1,003	4	0,054	5	-0,327
10	****	1720	2135	1,002	4	0,046	6	-1,351
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	****	1811	2128	1,003	4,00	0,055	4,40	-1,326
MAX	****	2013	2269	1,003	4,00	0,064	6,00	-0,327
MIN	****	1690	1983	1,002	4,00	0,046	4,00	-3,199
s	#DIV/0!	106	98	0,000	0,00	0,007	0,70	0,786
I	#DIV/0!	75	70	0,000	0,00	0,005	0,50	0,562

INOX FACEADO (f = 0,2mm/volta, raio ponta 0,4 mm)
 RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
 8 MEDIÇÕES A 45 GRAUS EM CADA FACE
 PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	1,09	6,19	2,93	3,23	6,69	6,79	8,38	2,30	3,56
2	1,11	6,22	3,08	3,47	6,82	6,87	8,82	2,40	3,40
3	0,81	4,45	2,68	2,93	4,91	5,08	5,83	1,13	2,15
4	1,27	7,16	3,66	4,80	8,61	8,81	10,55	2,80	4,01
5	1,05	5,91	3,09	5,18	8,49	8,67	12,72	5,63	3,49
6	1,09	5,56	2,67	2,92	5,87	6,06	7,84	2,27	3,13
7	1,11	5,34	2,60	2,86	5,78	5,93	7,32	2,07	3,07
8	1,10	5,96	2,87	3,22	6,62	6,76	8,46	2,90	3,54
9	1,05	5,41	2,35	2,63	5,83	6,00	7,70	2,72	3,37
10	1,20	6,07	3,15	3,59	6,69	6,85	8,92	2,88	3,26
11	0,81	5,14	2,86	3,56	5,99	6,15	6,99	1,63	2,59
12	1,16	5,71	2,80	3,31	6,35	6,54	9,05	3,49	3,22
13	0,99	6,06	3,85	4,28	6,86	7,11	9,00	2,70	2,83
14	1,13	6,76	4,30	4,77	7,58	7,81	9,90	3,05	3,05
15	0,68	4,65	2,83	3,24	5,41	5,46	7,69	3,10	2,23
16	0,97	5,83	3,53	4,03	6,73	6,91	8,77	2,69	2,88
17	0,95	5,93	3,81	4,26	6,83	6,90	8,92	2,85	2,63
18	1,09	6,36	4,03	4,54	7,14	7,33	8,73	2,26	2,79
19	0,58	3,73	1,89	2,60	4,41	4,94	9,82	5,88	2,35
20	0,70	4,64	2,67	3,50	5,62	5,84	8,14	3,40	2,34
21	1,75	9,90	4,62	5,03	10,41	10,69	13,11	3,47	5,66
22	1,89	10,50	5,43	7,32	13,43	13,94	21,83	11,58	6,62
23	1,77	9,65	5,01	5,57	10,44	10,65	13,27	3,81	5,08
24	1,10	6,68	3,99	4,73	7,83	8,31	10,25	2,93	3,58
25	0,64	4,23	2,48	2,88	4,92	5,09	6,61	2,40	2,21
26	0,68	4,40	2,41	2,75	5,22	5,28	7,50	3,51	2,53
27	1,75	10,17	4,88	5,92	11,66	11,89	14,92	4,82	5,97
28	0,69	4,13	2,31	3,08	5,17	5,38	8,01	3,39	2,30
29	1,88	10,70	5,03	5,63	11,84	12,02	14,93	3,85	6,39
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	1,11	6,33	3,37	3,99	7,25	7,45	9,79	3,38	3,46
MAX	1,89	10,70	5,43	7,32	13,43	13,94	21,83	11,58	6,62
MIN	0,58	3,73	1,89	2,60	4,41	4,94	5,83	1,13	2,15
s	0,38	1,98	0,95	1,18	2,29	2,33	3,29	1,88	1,27
l	0,14	0,76	0,36	0,45	0,88	0,89	1,26	0,72	0,49

29 peças

GL = 28

t95% = 2,06

INOX FACEADO (f = 0,2mm/volta, raio ponta 0,4 mm)
 FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
 8 MEDIÇÕES A 45 GRAUS EM CADA FACE
 PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Vt [μm]	Rv [μm]
1	1,49	10,16	4,42	4,83	11,02	11,26	12,01	1,87	6,43
2	1,42	9,84	4,41	4,88	10,73	11,08	11,95	2,05	6,20
3	0,99	6,74	3,58	3,87	7,46	7,83	8,14	1,00	3,96
4	1,47	10,63	4,65	5,93	12,54	12,90	13,62	1,69	6,97
5	1,22	8,12	3,86	5,42	10,34	10,71	11,64	1,90	5,29
6	1,30	8,67	3,75	4,19	9,64	10,10	10,62	1,60	5,91
7	1,36	7,91	3,62	3,96	8,65	8,91	9,91	1,64	4,95
8	1,24	8,40	3,69	4,20	10,62	10,97	11,76	1,47	6,77
9	1,29	8,55	3,40	3,95	9,28	9,79	10,84	1,85	5,84
10	1,40	8,93	4,17	4,60	9,75	10,10	10,72	1,79	5,50
11	1,15	8,50	4,00	4,42	9,38	9,72	10,58	1,58	5,30
12	1,40	8,39	3,83	4,11	9,67	9,94	11,27	2,89	5,83
13	1,19	8,78	4,63	5,23	9,75	10,25	11,40	2,52	5,02
14	1,24	9,27	5,02	5,67	10,55	10,86	11,66	2,44	5,19
15	0,99	8,74	4,24	4,63	10,30	10,72	11,56	2,18	6,09
16	1,21	8,61	4,63	5,23	9,63	9,87	11,32	2,27	4,64
17	1,18	8,93	4,71	5,40	9,79	10,19	11,08	2,13	4,79
18	1,22	9,47	5,02	5,42	10,58	10,86	11,71	1,92	5,44
19	0,83	7,00	3,03	4,23	9,44	9,76	11,10	3,76	5,53
20	0,89	7,48	3,56	4,85	9,16	9,38	10,75	2,79	4,53
21	1,91	13,54	6,14	6,91	15,07	15,44	15,76	2,61	8,53
22	1,87	13,45	6,13	7,60	14,93	15,67	16,80	4,27	8,07
23	1,81	13,70	6,33	6,85	14,85	15,28	16,09	2,19	8,43
24	1,33	9,29	5,02	5,28	9,89	10,05	10,55	1,40	4,77
25	0,89	7,38	3,66	4,19	8,31	8,52	9,27	1,94	4,33
26	0,87	7,51	3,20	3,75	8,90	9,23	10,10	1,90	5,48
27	1,76	13,49	6,07	6,57	14,76	15,09	16,80	3,10	8,52
28	0,89	7,20	3,00	3,42	8,52	8,76	9,49	1,92	5,34
29	2,09	14,19	6,27	6,74	15,11	15,51	17,17	3,08	8,77
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Vt	Rv
X	1,31	9,4093	4,42	5,05	10,64	10,99	11,92	2,20	5,95
MAX	2,09	14,19	6,33	7,60	15,11	15,67	17,17	4,27	8,77
MIN	0,83	6,74	3,00	3,42	7,46	7,83	8,14	1,00	3,96
s	0,33	2,18	1,00	1,08	2,21	2,26	2,37	0,71	1,36
l	0,13	0,83	0,38	0,41	0,84	0,86	0,91	0,27	0,52

INOX FACEADO (f = 0,2mm/volta, raio ponta 0,4 mm)
 RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
 8 MEDIÇÕES A 45 GRAUS EM CADA FACE
 PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

Peça	Sm [μm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [μm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	147,7	48	102	1,021	48	0,154	28	0,082
2	154,6	45	72	1,020	51	0,145	26	0,163
3	102,7	2	43	1,009	52	0,105	39	0,456
4	155,7	42	70	1,019	56	0,141	20	0,349
5	154,5	17	43	1,011	59	0,113	36	0,633
6	146,5	37	52	1,012	60	0,118	45	-0,125
7	116,4	29	44	1,011	64	0,110	52	-0,322
8	137,7	41	53	1,013	56	0,122	46	-0,090
9	133,3	22	30	1,010	62	0,106	55	-0,290
10	166,4	45	78	1,015	57	0,130	38	0,004
11	129,2	18	67	1,014	42	0,122	27	0,515
12	113,4	30	61	1,012	61	0,118	47	-0,263
13	185,9	11	68	1,012	53	0,117	20	0,939
14	198,9	20	83	1,014	58	0,125	17	1,018
15	130,2	4	46	1,010	41	0,112	26	0,846
16	188,6	12	66	1,011	52	0,117	20	0,864
17	183,6	9	68	1,011	52	0,116	20	0,973
18	195,2	18	78	1,012	57	0,121	17	1,023
19	106,6	3	10	1,008	40	0,096	65	0,226
20	144,5	4	28	1,010	40	0,108	51	0,517
21	196,4	50	79	1,021	70	0,158	18	0,121
22	176,1	49	82	1,023	64	0,168	17	0,385
23	195,5	50	91	1,022	66	0,166	16	0,349
24	184,1	22	57	1,010	56	0,114	15	0,924
25	105,9	1	33	1,010	34	0,113	46	0,736
26	121,4	3	24	1,010	39	0,106	50	0,438
27	181,5	50	82	1,021	67	0,160	17	0,178
28	124,6	2	12	1,009	39	0,103	65	0,227
29	196,5	50	78	1,022	74	0,159	16	0,135
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	154,3	25	59	1,014	54	0,126	33	0,380
MAX	198,9	50	102	1,023	74	0,168	65	1,023
MIN	102,7	1	10	1,008	34	0,096	15	-0,322
s	32,0	18	24	0,005	10	0,021	16	0,414

INOX FACEADO (f = 0,2mm/volta, raio ponta 0,4 mm)
 FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
 8 MEDIÇÕES A 45 GRAUS EM CADA FACE
 PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

Peça	Sm [μm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [μm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	39,08	62	325	1,227	15	0,601	22	-0,174
2	36,44	54	267	1,230	14	0,606	22	-0,339
3	34,68	76	244	1,183	12	0,538	32	0,288
4	47,09	59	276	1,224	15	0,591	18	-0,203
5	35,03	93	329	1,190	14	0,542	38	-0,177
6	53,97	73	290	1,207	15	0,566	24	0,078
7	50,82	75	368	1,174	17	0,517	37	-0,241
8	48,71	57	313	1,173	15	0,512	33	-0,113
9	53,13	63	289	1,187	16	0,526	41	0,182
10	53,29	51	358	1,201	16	0,559	25	-0,007
11	29,57	62	222	1,217	12	0,585	24	-0,143
12	43,89	91	392	1,216	15	0,588	30	-0,020
13	42,89	49	315	1,173	14	0,519	20	0,403
14	39,10	49	230	1,188	14	0,544	13	0,629
15	25,02	53	200	1,196	11	0,552	22	0,253
16	35,76	52	293	1,203	13	0,568	18	0,403
17	32,89	52	300	1,212	13	0,581	18	0,359
18	35,12	52	235	1,213	13	0,582	12	0,623
19	17,51	34	108	1,193	9	0,554	51	-0,317
20	22,90	44	177	1,183	10	0,536	38	-0,044
21	56,70	68	364	1,258	18	0,652	12	-0,022
22	63,56	73	318	1,245	19	0,632	15	-0,056
23	68,28	55	343	1,231	19	0,611	10	0,101
24	34,58	53	119	1,182	16	0,524	12	0,707
25	23,53	54	211	1,187	11	0,539	30	0,167
26	25,95	51	188	1,183	10	0,534	36	-0,080
27	51,70	58	336	1,246	17	0,638	11	0,001
28	19,46	55	171	1,208	10	0,577	42	-0,240
29	63,15	72	355	1,273	19	0,676	12	-0,068
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	40,82	60	274	1,207	14	0,571	25	0,067
MAX	68,28	93	392	1,273	19	0,676	51	0,707
MIN	17,51	34	108	1,173	9	0,512	10	-0,339
s	13,77	13	76	0,026	3	0,043	11	0,288
l	5,27	5	29	0,010	1	0,016	4	0,110

AÇO INOXIDÁVEL LAPIDADO
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA
PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,093	0,749	0,368	0,441	0,860	0,900	1,036	0,280	0,459
2	0,088	0,707	0,317	0,389	0,816	0,877	0,924	0,123	0,488
3	0,095	0,792	0,400	0,483	0,898	0,945	1,032	0,190	0,462
4	0,095	0,776	0,363	0,444	0,978	1,028	1,089	0,257	0,584
5	0,100	0,798	0,396	0,499	0,900	0,976	1,021	0,208	0,477
6	0,098	0,785	0,361	0,442	0,885	0,958	1,501	0,808	0,516
7	0,098	0,812	0,413	0,535	0,959	1,014	1,082	0,217	0,479
8	0,104	0,818	0,426	0,513	0,953	0,984	1,049	0,241	0,471
9	0,105	0,860	0,418	0,491	1,009	1,065	1,530	0,721	0,574
10	0,099	0,820	0,405	0,504	0,988	1,029	1,094	0,180	0,525
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,098	0,792	0,387	0,474	0,925	0,978	1,136	0,323	0,504
MAX	0,105	0,860	0,426	0,535	1,009	1,065	1,530	0,808	0,584
MIN	0,088	0,707	0,317	0,389	0,816	0,877	0,924	0,123	0,459
s	0,005	0,042	0,034	0,044	0,062	0,059	0,206	0,238	0,045
l	0,004	0,030	0,024	0,031	0,044	0,042	0,145	0,168	0,032

10 peças GL = 9 t95% = 2,23

AÇO INOXIDÁVEL LAPIDADO
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA
PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,817	6,931	2,723	2,975	7,768	7,990	8,544	1,375	5,015
2	0,698	6,067	2,338	2,683	7,287	7,579	8,126	1,364	4,896
3	0,795	7,063	2,651	2,921	8,281	8,482	8,774	0,910	5,561
4	0,821	7,054	2,791	3,124	7,751	8,090	8,547	1,481	4,966
5	0,858	7,577	2,834	3,145	8,568	8,901	9,283	1,458	5,756
6	0,826	6,854	2,582	2,868	8,172	8,458	9,592	2,410	5,590
7	0,849	7,221	2,793	3,130	8,228	8,567	8,808	1,611	5,437
8	0,864	7,562	3,004	3,541	8,877	9,054	9,482	1,226	5,513
9	0,896	7,900	3,052	3,594	9,520	9,864	10,110	1,432	6,270
10	0,857	7,273	2,888	3,311	8,335	8,627	8,927	1,309	5,316
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,828	7,150	2,766	3,129	8,279	8,561	9,019	1,458	5,432
MAX	0,896	7,900	3,052	3,594	9,520	9,864	10,110	2,410	6,270
MIN	0,698	6,067	2,338	2,683	7,287	7,579	8,126	0,910	4,896
s	0,054	0,501	0,209	0,289	0,626	0,632	0,593	0,383	0,415
l	0,038	0,353	0,147	0,204	0,441	0,445	0,418	0,270	0,292

AÇO INOXIDÁVEL LAPIDADO
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	14,20	13	20	1,003	9	0,063	44	-0,140
2	14,14	7	11	1,003	9	0,059	51	-0,232
3	13,97	17	33	1,003	9	0,065	41	-0,033
4	13,66	16	32	1,003	9	0,066	38	-0,054
5	13,47	26	51	1,004	9	0,072	34	-0,059
6	15,57	17	26	1,003	10	0,064	40	-0,197
7	13,32	23	45	1,004	9	0,070	34	0,006
8	14,48	24	52	1,004	9	0,069	34	-0,060
9	14,74	27	60	1,004	9	0,068	32	0,013
10	14,96	21	37	1,003	9	0,066	37	-0,092
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	14,25	19,10	36,70	1,003	9	0,066	39	-0,085
MAX	15,57	27,00	60,00	1,004	10	0,072	51	0,013
MIN	13,32	7,00	11,00	1,003	9	0,059	32	-0,232
s	0,70	6,28	15,42	0,001	0,3	0,004	6	0,082
l	0,50	4,43	10,87	0,000	0,2	0,003	4	0,058

AÇO INOXIDÁVEL LAPIDADO
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	10,06	1153	1517	1,382	7	0,834	3	-0,458
2	9,71	1152	1521	1,329	7	0,760	4	-0,459
3	10,13	1148	1507	1,384	7	0,836	3	-0,451
4	10,19	1152	1522	1,383	7	0,837	3	-0,513
5	10,12	1145	1523	1,380	7	0,833	3	-0,416
6	9,40	1221	1577	1,395	7	0,853	4	-0,535
7	9,98	1161	1516	1,382	7	0,836	3	-0,412
8	10,04	1155	1521	1,380	7	0,832	3	-0,393
9	10,45	1133	1482	1,404	7	0,866	3	-0,455
10	10,18	1149	1509	1,384	7	0,837	3	-0,455
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	10,03	1157	1520	1,38	7,0	0,832	3,2	-0,455
MAX	10,45	1221	1577	1,40	7,0	0,866	4,0	-0,393
MIN	9,40	1133	1482	1,33	7,0	0,760	3,0	-0,535
s	0,29	24	24	0,02	0,0	0,028	0,4	0,043
l	0,20	17	17	0,01	0,0	0,019	0,3	0,031

AÇO INOXIDÁVEL RETIFICADO E POLIDO
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA
PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,003	0,022	0,010	0,014	0,029	0,030	0,050	0,027	0,016
2	0,003	0,015	0,007	0,012	0,025	0,027	0,060	0,044	0,015
3	0,002	0,012	0,006	0,009	0,016	0,017	0,043	0,033	0,008
4	0,002	0,013	0,006	0,008	0,020	0,020	0,041	0,026	0,012
5	0,002	0,013	0,007	0,012	0,021	0,022	0,057	0,042	0,010
6	0,002	0,012	0,007	0,012	0,019	0,020	0,050	0,037	0,008
7	0,002	0,013	0,006	0,009	0,017	0,019	0,036	0,023	0,010
8	0,002	0,011	0,005	0,008	0,015	0,017	0,060	0,050	0,009
9	0,003	0,015	0,007	0,011	0,021	0,022	0,050	0,035	0,011
10	0,002	0,011	0,005	0,007	0,014	0,015	0,037	0,028	0,008
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,002	0,014	0,007	0,010	0,020	0,021	0,048	0,035	0,011
MAX	0,003	0,022	0,010	0,014	0,029	0,030	0,060	0,050	0,016
MIN	0,002	0,011	0,005	0,007	0,014	0,015	0,036	0,023	0,008
s	0,000	0,003	0,001	0,002	0,005	0,005	0,009	0,009	0,003
l	0,000	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,006	0,006	0,002

10 peças GI = 9 t95% = 2,23

AÇO INOXIDÁVEL RETIFICADO E POLIDO
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA
PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,014	0,104	0,050	0,066	0,135	0,145	0,153	0,035	0,079
2	0,014	0,099	0,050	0,073	0,128	0,135	0,156	0,045	0,062
3	0,013	0,097	0,049	0,068	0,130	0,133	0,150	0,040	0,065
4	0,014	0,109	0,055	0,080	0,149	0,155	0,162	0,039	0,075
5	0,012	0,095	0,049	0,075	0,137	0,145	0,160	0,042	0,070
6	0,012	0,091	0,045	0,061	0,122	0,130	0,152	0,050	0,069
7	0,014	0,104	0,049	0,064	0,155	0,158	0,170	0,039	0,094
8	0,012	0,088	0,042	0,053	0,116	0,120	0,141	0,051	0,067
9	0,014	0,112	0,056	0,083	0,160	0,167	0,180	0,048	0,084
10	0,013	0,096	0,049	0,069	0,121	0,127	0,145	0,048	0,058
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,013	0,100	0,049	0,069	0,135	0,142	0,157	0,044	0,072
MAX	0,014	0,112	0,056	0,083	0,160	0,167	0,180	0,051	0,094
MIN	0,012	0,088	0,042	0,053	0,116	0,120	0,141	0,035	0,058
s	0,001	0,008	0,004	0,009	0,015	0,015	0,012	0,005	0,011
l	0,001	0,005	0,003	0,006	0,011	0,011	0,008	0,004	0,008

AÇO INOXIDÁVEL RETIFICADO E POLIDO
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	****	74	14	****	****	****	****	****
2	****	76	29	****	****	****	****	****
3	****	56	8	****	****	****	****	****
4	****	74	10	****	****	****	****	****
5	****	89	43	****	****	****	****	****
6	****	54	21	****	****	****	****	****
7	****	74	10	****	****	****	****	****
8	****	58	25	****	****	****	****	****
9	****	94	30	****	****	****	****	****
10	****	79	15	****	****	****	****	****
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	****	72,80	20,50	****	****	****	****	****
MAX	****	94,00	43,00	****	****	****	****	****
MIN	****	54,00	8,00	****	****	****	****	****
s	#DIV/0!	13,41	11,25	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
l	#DIV/0!	9,46	7,93	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

AÇO INOXIDÁVEL RETIFICADO E POLIDO
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
10 MEDIÇÕES NA FACE LAPIDADA
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	****	3171	3006	****	****	****	****	****
2	****	3296	3085	****	****	****	****	****
3	****	3280	3064	****	****	****	****	****
4	****	3160	2950	****	****	****	****	****
5	****	3169	2978	****	****	****	****	****
6	****	3323	3151	****	****	****	****	****
7	****	3136	2945	****	****	****	****	****
8	****	3285	3101	****	****	****	****	****
9	****	3216	3048	****	****	****	****	****
10	****	3169	3008	****	****	****	****	****
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	****	3221	3034	****	****	****	****	****
MAX	****	3323	3151	****	****	****	****	****
MIN	****	3136	2945	****	****	****	****	****
s	#DIV/0!	69	68	#DIV/0!	#DIV/0!	#####	#####	#####
l	#DIV/0!	48	48	#DIV/0!	#DIV/0!	#####	#####	#####

Aço DIN 100Cr6 retificado
 PISTAO INJETORA RETIFICADO - RHT 6-50 - CUTOFF 0,8 mm
 10 MEDIÇÕES POR PEÇA - PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,46	3,36	1,74	2,42	4,25	4,40	5,14	1,68	1,98
2	0,46	3,33	1,61	1,93	3,85	3,99	4,90	1,31	2,06
3	0,50	3,62	1,75	2,11	4,00	4,27	5,01	1,43	2,16
4	0,53	3,74	1,72	2,03	4,28	4,39	4,70	0,94	2,36
5	0,56	3,96	1,88	2,25	4,57	4,74	5,01	0,92	2,50
6	0,61	4,41	2,01	2,34	5,00	5,20	6,11	1,84	2,86
7	0,45	3,32	1,60	2,06	4,03	4,25	4,67	1,01	2,19
8	0,49	3,58	1,72	2,17	4,20	4,40	4,58	0,82	2,23
9	0,54	3,96	1,87	2,29	4,67	4,80	5,15	0,94	2,51
10	0,56	4,06	1,91	2,33	4,82	4,92	5,20	0,82	2,59
11	0,59	4,35	2,00	2,38	5,00	5,30	6,29	1,79	2,92
12	0,45	3,30	1,59	1,99	3,81	4,07	4,41	0,78	2,08
13	0,42	2,94	1,28	1,45	3,41	3,54	3,84	0,55	2,10
14	0,49	3,43	1,50	1,80	3,96	4,16	4,87	1,25	2,36
15	0,50	3,68	1,73	2,12	4,17	4,41	4,71	0,75	2,29
16	0,57	4,13	1,96	2,34	4,74	4,90	5,51	1,22	2,57
17	0,60	4,34	2,06	2,46	4,97	5,19	5,69	1,20	2,73
18	0,62	4,36	2,02	2,36	4,92	5,13	5,58	1,09	2,78
19	0,44	3,19	1,40	1,74	3,70	3,83	4,15	0,65	2,09
20	0,51	3,86	1,86	2,40	4,51	4,81	5,27	0,88	2,41
21	0,56	4,08	1,89	2,23	4,58	4,99	5,32	0,87	2,76
22	0,57	0,42	1,90	2,35	4,87	5,29	5,73	1,02	2,94
23	0,58	4,19	1,90	2,21	4,80	4,98	5,37	0,95	2,78
24	0,65	4,72	2,19	2,61	5,37	5,69	6,03	1,23	3,08
25	0,35	2,45	0,97	1,27	3,01	3,19	3,31	0,43	1,92
26	0,41	2,88	1,10	1,36	3,93	3,99	4,32	0,72	2,64
27	0,42	2,93	1,19	1,50	3,40	3,57	3,71	0,60	2,07
28	0,44	3,22	1,30	1,71	4,16	4,27	4,52	0,71	2,57
29	0,51	3,51	1,47	2,03	4,23	4,57	5,58	1,62	2,54
30	0,48	3,32	1,30	1,59	3,93	4,09	4,27	0,77	2,50
31	0,38	2,65	1,09	1,40	3,12	3,33	3,40	0,54	1,93
32	0,40	3,14	1,51	1,90	3,86	3,97	4,21	0,59	2,07
33	0,45	3,41	1,60	1,98	4,10	4,25	4,49	0,64	2,27
34	0,53	3,91	1,86	3,11	5,85	6,03	6,68	2,44	2,92
35	0,49	3,66	1,67	2,15	4,36	4,62	4,90	0,60	2,46
36	0,52	3,74	1,75	2,01	4,08	4,35	4,98	1,09	2,34
37	0,34	2,80	1,31	1,69	3,47	3,66	3,74	0,55	1,98
38	0,40	3,08	1,43	1,71	3,79	3,85	4,20	0,83	2,14
39	0,42	3,20	1,50	1,82	3,71	3,89	4,36	0,96	2,07
40	0,46	3,51	1,64	2,12	4,13	4,35	4,95	1,21	2,23
41	0,43	3,04	1,19	1,60	3,74	3,90	4,38	0,98	2,29
42	0,49	3,67	1,71	2,24	4,33	4,58	4,96	0,84	2,33
43	0,37	2,83	1,32	1,65	3,28	3,48	3,61	0,55	1,83
44	0,46	3,32	1,55	1,93	3,97	4,03	5,09	1,83	2,10
45	0,43	2,97	1,26	1,86	3,68	3,90	4,41	0,99	2,03
46	0,44	2,90	1,17	1,48	3,27	3,49	3,87	0,71	2,01

47	0,45	3,17	1,30	1,66	3,67	3,92	4,23	0,63	2,26
48	0,50	3,39	1,36	1,63	3,90	4,04	4,53	1,04	2,41
49	0,40	2,71	1,12	1,44	3,06	3,24	3,48	0,54	1,81
50	0,48	3,27	1,48	1,79	3,69	3,88	4,20	0,76	2,09
51	0,53	3,61	1,55	1,93	4,14	4,35	4,87	1,04	2,42
52	0,58	3,84	1,71	2,21	4,39	4,74	5,32	1,16	2,53
53	0,60	4,03	1,77	2,21	4,51	4,82	5,48	1,28	2,61
54	0,68	4,52	2,05	2,55	5,11	5,48	5,91	1,23	2,92
55	0,40	2,78	1,12	1,57	3,37	3,57	3,76	0,54	2,00
56	0,56	4,11	2,01	2,70	5,22	5,41	7,15	2,94	2,71
57	0,55	4,07	1,97	2,35	4,70	4,93	5,36	0,97	2,58
58	0,59	4,24	2,02	2,45	4,96	5,18	5,64	1,11	2,73
59	0,64	4,88	2,43	3,80	6,78	7,00	7,79	2,33	3,20
60	0,64	4,66	2,12	2,51	5,32	5,50	5,97	1,14	2,99
61	0,46	3,32	1,55	1,87	3,97	4,07	4,44	0,81	2,20
62	0,51	3,78	1,78	2,12	4,36	4,59	4,94	0,80	2,47
63	0,55	3,77	1,57	1,95	4,33	4,59	4,85	0,92	2,64
64	0,61	4,37	2,07	2,51	5,00	5,24	5,61	0,99	2,73
65	0,67	4,70	1,97	2,43	5,41	5,73	6,05	1,22	3,30
66	0,74	5,26	2,45	3,15	6,31	6,59	7,16	1,50	3,44
67	0,46	3,21	1,41	1,70	3,61	3,81	4,30	0,83	2,12
68	0,48	3,33	1,31	1,74	3,98	4,10	4,39	0,67	2,35
69	0,55	3,83	1,69	2,07	4,57	4,69	5,00	0,89	2,61
70	0,63	4,67	2,23	2,69	5,32	5,62	6,15	1,07	2,93
71	0,66	4,72	2,23	2,79	5,42	5,68	7,50	2,57	2,89
72	0,67	4,55	2,00	2,31	5,41	5,51	5,96	1,12	3,20
73	0,42	3,07	1,45	1,73	3,51	3,69	4,12	0,93	1,96
74	0,48	3,44	1,62	2,26	4,28	4,55	5,67	2,07	2,29
75	0,47	3,57	1,61	1,99	4,33	4,46	4,73	0,96	2,47
76	0,50	3,73	1,67	1,95	4,26	4,47	4,64	0,74	2,52
77	0,54	4,05	1,84	2,22	4,70	4,91	5,50	1,25	2,69
78	0,60	4,21	1,93	2,78	5,44	5,58	7,87	3,32	2,80
79	0,44	3,34	1,52	1,08	3,98	4,14	4,49	0,76	3,06
80	0,47	3,43	1,52	1,79	3,96	4,19	4,57	0,76	2,40
81	0,58	4,19	2,05	3,35	5,86	6,05	7,69	3,22	2,70
82	0,53	3,90	1,84	2,18	4,43	4,63	5,07	0,87	2,45
83	0,56	3,99	1,80	2,14	4,65	4,70	5,09	0,84	2,56
84	0,55	3,87	1,62	1,88	4,36	4,54	5,35	1,22	2,67
85	0,39	2,82	1,12	1,37	3,34	3,53	4,02	0,88	2,16
86	0,42	2,97	1,22	1,54	3,33	3,62	3,91	0,68	2,08
87	0,47	3,34	1,38	1,87	4,19	4,40	4,81	0,88	2,53
88	0,48	3,24	1,34	1,60	3,77	3,86	4,19	0,81	2,27
89	0,50	3,39	1,38	1,76	4,01	4,18	4,69	0,93	2,43
90	0,53	3,65	1,49	1,78	4,12	4,26	4,65	0,89	2,48
91	0,40	2,89	1,19	1,63	3,45	3,71	3,97	0,79	2,08
92	0,46	3,23	1,38	1,69	3,70	3,87	4,08	0,77	2,18
93	0,51	3,82	1,75	2,14	4,50	4,67	4,96	0,81	2,53
94	0,51	3,54	1,41	1,84	4,19	4,38	4,77	0,89	2,54
95	0,56	4,17	1,92	2,35	4,82	5,11	5,43	1,01	2,76
96	0,56	4,10	1,77	2,08	4,85	4,97	5,35	0,95	2,89
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,51	3,62	1,65	2,06	4,32	4,52	5,01	1,08	2,46
MAX	0,74	5,26	2,45	3,80	6,78	7,00	7,87	3,32	3,44
MIN	0,34	0,42	0,97	1,08	3,01	3,19	3,31	0,43	1,81
s	0,08	0,66	0,32	0,45	0,72	0,74	0,96	0,55	0,35
l	0,02	0,13	0,07	0,09	0,15	0,15	0,19	0,11	0,07

Aço DIN 100Cr6 retificado
 PISTAO INJETORA RETIFICADO - FOCODYN - CUTOFF 0,8 mm
 10 MEDIÇÕES POR PEÇA - PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,74	6,13	2,69	3,07	6,81	7,30	7,32	0,33	4,23
2	0,79	6,68	2,88	3,31	7,41	7,89	8,01	0,37	4,58
3	0,86	7,22	3,06	3,52	8,30	8,60	8,77	0,43	5,08
4	0,85	6,85	2,99	3,38	7,86	8,08	8,19	0,46	4,70
5	0,88	7,29	3,16	3,74	8,68	9,11	9,36	0,68	5,37
6	0,91	7,45	3,22	3,69	8,65	9,01	9,27	0,76	5,32
7	0,76	6,28	2,69	3,06	7,33	7,55	7,64	0,41	4,49
8	0,83	6,72	2,87	3,23	7,67	7,94	8,03	0,50	4,71
9	0,80	6,82	3,17	4,04	8,55	8,76	8,94	0,58	4,72
10	0,82	6,83	3,16	3,57	7,92	8,24	8,34	0,57	4,67
11	0,84	6,87	3,26	3,87	7,63	8,07	8,25	0,66	4,20
12	0,86	6,85	3,28	3,94	7,57	8,13	8,26	0,77	4,19
13	0,68	5,45	2,62	3,10	6,21	6,55	6,59	0,39	3,45
14	0,75	6,00	2,86	3,46	6,93	7,15	7,26	0,40	3,69
15	0,78	6,50	3,13	3,68	7,39	7,72	7,85	0,46	4,04
16	0,83	6,81	3,27	4,01	7,69	8,11	8,21	0,52	4,10
17	0,86	6,75	3,27	3,86	7,43	7,84	7,96	0,58	3,98
18	0,88	7,03	3,30	3,91	7,98	8,31	8,36	0,60	4,40
19	0,71	5,68	2,73	3,26	6,33	6,65	6,66	0,43	3,39
20	0,78	6,33	3,06	3,75	7,24	7,67	7,73	0,47	3,92
21	0,82	6,50	3,12	3,81	7,61	7,86	8,01	0,58	4,05
22	0,85	6,83	3,24	3,88	7,68	8,20	8,29	0,65	4,32
23	0,87	6,87	3,29	3,86	7,78	8,01	8,26	0,64	4,15
24	0,87	6,82	3,24	3,89	7,75	8,09	8,13	0,87	4,20
25	0,63	5,33	2,44	2,78	6,42	6,71	6,77	0,35	3,93
26	0,67	5,38	2,54	3,05	6,33	6,53	6,66	0,45	3,48
27	0,70	5,73	2,69	3,14	7,04	7,25	7,29	0,45	4,11
28	0,72	5,97	2,80	3,41	7,08	7,52	7,67	0,50	4,11
29	0,75	6,01	2,81	3,17	6,78	7,14	7,23	0,47	3,97
30	0,75	6,13	2,89	3,51	6,81	7,23	7,43	0,57	3,72
31	0,65	5,39	2,57	3,09	6,31	6,57	6,74	0,55	3,48
32	0,70	5,72	2,71	3,09	6,86	7,00	7,18	0,51	3,91
33	0,75	6,51	2,89	3,43	7,76	8,04	8,16	0,44	4,61
34	0,75	6,39	3,06	3,89	7,76	8,04	8,16	0,57	4,15
35	0,77	6,51	3,07	3,69	7,47	7,88	8,00	0,57	4,19
36	0,78	6,51	3,01	3,60	7,38	7,71	7,81	0,51	4,11
37	0,64	5,32	2,49	2,89	5,87	6,32	6,37	0,30	3,43
38	0,70	6,12	2,81	3,34	7,47	7,78	7,87	0,39	4,44
39	0,71	6,04	2,79	3,33	7,10	7,47	7,54	0,44	4,14
40	0,73	6,17	2,85	3,44	7,23	7,55	7,77	0,63	4,11
41	0,73	5,97	2,77	3,25	6,75	7,07	7,19	0,53	3,82
42	0,75	6,16	2,91	3,42	6,99	7,23	7,35	0,44	3,81
43	0,66	5,59	2,69	3,27	6,94	7,11	7,18	0,44	3,84
44	0,69	5,73	2,78	3,26	6,76	7,03	7,16	0,46	3,77
45	0,72	5,91	2,75	3,18	6,76	7,14	7,25	0,40	3,96
46	0,74	5,98	2,82	3,34	6,97	7,35	7,50	0,50	4,01

47	0,75	6,04	2,83	3,31	6,83	7,24	7,32	0,43	3,93
48	0,77	6,43	2,92	3,42	7,37	7,65	7,73	0,46	4,23
49	0,67	5,47	2,69	3,19	6,24	6,70	6,79	0,35	3,51
50	0,74	6,06	2,90	3,24	6,79	6,99	7,11	0,45	3,75
51	0,80	6,40	3,13	3,74	7,23	7,56	7,71	0,54	3,82
52	0,83	6,81	3,24	3,69	7,59	7,80	7,85	0,57	4,11
53	0,86	6,77	3,20	3,70	7,57	7,90	8,10	0,59	4,20
54	0,92	7,28	3,58	4,34	8,24	8,81	8,97	0,64	4,47
55	0,69	5,73	2,84	3,44	6,69	7,02	7,11	0,36	3,58
56	0,77	6,14	2,98	3,51	7,04	7,23	7,26	0,46	3,72
57	0,80	6,39	3,05	3,70	7,45	7,83	7,93	0,59	4,13
58	0,84	7,05	3,38	4,40	8,54	9,12	9,25	0,52	4,72
59	0,84	6,74	3,17	3,75	7,86	8,19	8,30	0,64	4,44
60	0,87	7,10	3,35	3,78	7,99	8,26	8,33	0,73	4,48
61	0,71	5,84	2,78	3,41	7,05	7,19	7,23	0,39	3,78
62	0,78	6,39	3,08	3,61	7,18	7,55	7,61	0,51	3,94
63	0,82	6,60	3,10	3,60	7,44	7,83	8,07	0,60	4,23
64	0,86	6,80	3,19	3,75	7,55	8,17	8,16	0,63	4,42
65	0,90	7,27	3,31	3,78	8,17	8,47	8,51	0,67	4,69
66	0,92	7,21	3,36	4,01	8,34	8,65	8,83	0,75	4,64
67	0,73	6,09	2,92	3,69	7,63	7,97	8,10	0,44	4,28
68	0,76	6,18	2,97	3,37	6,90	7,18	7,18	0,42	3,81
69	0,82	6,64	3,12	3,62	7,40	7,78	7,88	0,46	4,16
70	0,86	7,10	3,39	4,16	7,97	8,42	8,68	0,58	4,26
71	0,89	7,37	3,41	4,11	8,59	8,85	9,03	0,61	4,74
72	0,91	7,47	3,43	4,13	8,86	9,43	9,50	0,62	5,30
73	0,67	5,42	2,61	2,97	6,18	6,29	6,40	0,39	3,32
74	0,71	5,72	2,73	3,10	6,37	6,62	6,62	0,41	3,52
75	0,76	6,11	2,91	3,55	6,96	7,45	7,57	0,48	3,90
76	0,78	6,35	2,92	3,39	7,12	7,50	7,67	0,54	4,11
77	0,81	6,75	2,93	3,34	8,36	8,68	8,89	0,70	5,34
78	0,83	6,64	3,11	3,81	7,58	7,97	8,12	0,64	4,16
79	0,71	5,73	2,69	3,23	6,57	6,78	6,93	0,51	3,55
80	0,75	5,97	2,84	3,16	6,52	6,86	6,86	0,48	3,70
81	0,79	6,40	2,93	3,31	7,31	7,61	7,69	0,48	4,30
82	0,81	6,63	3,17	3,65	7,46	7,78	7,83	0,56	4,13
83	0,82	6,68	3,08	3,48	7,46	7,75	7,90	0,57	4,27
84	0,83	6,54	3,06	3,50	7,38	7,59	7,79	0,58	4,09
85	0,70	5,75	2,76	3,59	6,88	7,13	7,25	0,54	3,54
86	0,73	5,99	2,73	3,21	7,33	7,44	7,58	0,49	4,23
87	0,76	6,16	2,86	3,31	6,98	7,27	7,42	0,55	3,96
88	0,80	6,46	3,04	3,73	7,85	7,96	8,04	0,53	4,23
89	0,79	6,36	2,98	3,60	7,17	7,68	7,86	0,61	4,08
90	0,81	6,58	3,13	3,68	7,50	7,78	7,84	0,61	4,10
91	0,71	5,81	2,72	3,16	6,63	6,90	6,98	0,37	3,74
92	0,75	6,19	2,90	3,33	6,95	7,29	7,42	0,50	3,96
93	0,76	6,18	2,77	3,12	7,02	7,29	7,47	0,44	4,17
94	0,78	6,39	3,03	3,63	7,20	7,56	7,63	0,46	3,93
95	0,81	6,34	2,99	3,41	7,29	7,44	7,56	0,49	4,03
96	0,83	6,70	3,08	3,47	7,65	7,91	8,08	0,60	4,44
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,78	6,37	2,98	3,52	7,33	7,65	7,77	0,52	4,14
MAX	0,92	7,47	3,58	4,40	8,86	9,43	9,50	0,87	5,37
MIN	0,63	5,32	2,44	2,78	5,87	6,29	6,37	0,30	3,32
s	0,07	0,53	0,24	0,32	0,62	0,65	0,68	0,11	0,43
l	0,01	0,11	0,05	0,07	0,13	0,13	0,14	0,02	0,09

Aço DIN 100Cr6 retificado
 PISTAO INJETORA RETIFICADO - RHT 6-50 - CUTOFF 0,8 mm
 10 MEDIÇÕES POR PEÇA - PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

Peça	Sm [μm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [μm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	31,85	27	74	1,020	16	0,156	48	-0,103
2	32,51	37	90	1,022	17	0,165	43	-0,036
3	40,06	48	143	1,024	19	0,017	31	-0,081
4	36,25	55	150	1,025	18	0,179	34	-0,054
5	39,03	56	171	1,027	19	0,185	28	-0,097
6	39,40	61	186	1,028	20	0,188	28	-0,191
7	34,16	31	95	1,021	17	0,162	46	-0,174
8	39,02	44	142	1,023	19	0,171	34	-0,062
9	36,42	50	153	1,025	18	0,179	36	-0,173
10	39,54	58	178	1,027	19	0,184	32	-0,162
11	38,54	65	181	1,028	19	0,188	29	-0,198
12	41,05	69	201	1,028	20	0,189	31	-0,245
13	31,53	29	71	1,020	16	0,158	53	-0,267
14	40,49	44	140	1,023	19	0,170	35	-0,231
15	34,64	57	155	1,026	18	0,180	37	-0,182
16	37,77	58	163	1,027	19	0,184	30	-0,188
17	39,70	67	193	1,029	20	0,191	28	-0,147
18	39,19	70	193	1,028	20	0,189	32	-0,275
19	36,15	37	90	1,021	18	0,162	46	-0,224
20	38,18	49	147	1,024	18	0,175	37	-0,223
21	39,86	54	163	1,026	19	0,182	32	-0,276
22	37,74	62	180	1,027	19	0,184	30	-0,212
23	41,21	65	199	1,028	20	0,190	29	-0,283
24	40,82	72	203	1,029	20	0,193	27	-0,223
25	30,51	21	38	1,017	15	0,142	63	-0,283
26	31,92	29	58	1,018	16	0,151	55	-0,198
27	33,52	33	80	1,021	17	0,160	48	-0,227
28	32,50	38	89	1,022	16	0,166	48	-0,252
29	37,33	48	123	1,023	18	0,168	36	-0,241
30	35,00	48	109	1,023	18	0,169	43	-0,306
31	31,34	20	39	1,018	16	0,147	61	-0,295
32	31,08	28	59	1,020	16	0,157	56	-0,336
33	33,23	35	87	1,021	17	0,164	47	-0,375
34	38,55	43	123	1,022	18	0,166	41	-0,238
35	36,38	46	122	1,023	18	0,170	41	-0,286
36	37,63	49	136	1,024	18	0,172	36	-0,235
37	27,83	14	28	1,017	15	0,144	69	-0,239
38	27,38	27	51	1,020	15	0,159	57	-0,158
39	30,29	33	80	1,022	16	0,164	49	-0,199
40	30,22	39	81	1,022	16	0,168	47	-0,161
41	31,39	35	77	1,023	16	0,167	50	-0,249
42	34,23	51	126	1,024	17	0,175	37	-0,206
43	29,85	26	50	1,020	15	0,155	60	-0,333
44	30,99	33	72	1,021	16	0,163	50	-0,220
45	32,17	39	85	1,023	16	0,168	48	-0,269
46	32,46	42	92	1,023	17	0,171	46	-0,268

47	34,41	45	105	1,023	17	0,171	42	-0,245
48	36,01	46	117	1,023	18	0,170	37	-0,163
49	29,98	31	74	1,020	16	0,159	47	-0,127
50	33,94	45	120	1,024	17	0,173	35	0,006
51	36,41	56	149	1,026	18	0,181	31	-0,112
52	38,89	63	165	1,027	19	0,185	24	0,048
53	40,35	70	189	1,028	20	0,190	22	-0,084
54	44,85	73	203	1,029	22	0,193	20	-0,142
55	30,02	28	63	1,020	16	0,159	50	-0,151
56	33,88	51	122	1,024	17	0,175	36	-0,037
57	33,11	62	152	1,027	18	0,185	30	-0,055
58	34,80	68	173	1,028	18	0,190	30	-0,068
59	36,25	70	176	1,028	19	0,190	25	-0,078
60	37,49	78	195	1,030	19	0,196	26	-0,151
61	32,41	38	90	1,022	16	0,164	48	-0,364
62	34,60	51	141	1,026	18	0,180	36	-0,136
63	37,40	63	169	1,028	19	0,188	29	-0,187
64	37,54	71	196	1,030	19	0,193	27	-0,167
65	40,11	79	220	1,031	20	0,200	24	-0,113
66	42,63	85	222	1,031	21	0,200	21	-0,215
67	33,79	40	98	1,022	17	0,166	45	-0,200
68	33,72	49	132	1,025	17	0,177	40	-0,215
69	35,04	63	164	1,028	18	0,187	30	-0,130
70	39,92	66	195	1,029	20	0,191	25	-0,091
71	41,02	70	197	1,030	20	0,195	24	-0,075
72	45,40	74	216	1,031	22	0,197	22	-0,193
73	34,36	30	71	1,019	17	0,152	51	-0,175
74	33,54	37	81	1,021	17	0,162	47	-0,336
75	35,48	46	112	1,023	18	0,169	39	-0,235
76	34,40	47	125	1,024	18	0,174	38	-0,244
77	37,38	50	126	1,024	19	0,173	38	-0,345
78	39,12	53	150	1,025	19	0,176	32	-0,201
79	34,19	32	81	1,020	17	0,157	51	-0,246
80	36,83	39	115	1,022	18	0,165	43	-0,301
81	38,14	43	131	1,024	18	0,174	38	-0,300
82	37,11	49	131	1,024	18	0,175	39	-0,332
83	41,10	57	161	1,025	20	0,179	32	-0,261
84	36,78	52	141	1,025	19	0,176	35	-0,253
85	30,39	24	52	1,019	16	0,155	58	-0,210
86	31,78	35	68	1,022	16	0,163	50	-0,254
87	32,39	43	98	1,023	17	0,169	41	-0,037
88	31,71	44	122	1,025	17	0,177	41	-0,295
89	34,86	54	135	1,025	18	0,177	38	-0,232
90	35,05	56	144	1,025	18	0,179	35	-0,214
91	31,90	31	63	1,020	16	0,157	52	-0,329
92	35,96	42	104	1,022	18	0,164	43	-0,246
93	34,74	48	117	1,023	18	0,170	41	-0,275
94	35,42	50	130	1,024	18	0,173	40	-0,349
95	36,80	52	139	1,025	18	0,177	37	-0,254
96	38,30	60	159	1,026	19	0,181	32	-0,459
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	35,65	48,45	127,76	1,02	17,89	0,17	38,97	-0,21
MAX	45,40	85,00	222,00	1,03	22,00	0,20	69,00	0,05
MIN	27,38	14,00	28,00	1,02	15,00	0,02	20,00	-0,46
s	3,69	15,10	48,07	0,00	1,53	0,02	10,43	0,09
l	0,75	3,06	9,73	0,00	0,31	0,00	2,11	0,02

Aço DIN 100Cr6 retificado
 PISTAO INJETORA RETIFICADO - FOCODYN - CUTOFF 0,8 mm
 10 MEDIÇÕES POR PEÇA - PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [μm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [μm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	12,34	306	731	1,218	8	0,593	20	-0,316
2	12,72	327	742	1,232	8	0,616	17	-0,235
3	13,81	339	787	1,247	8	0,638	16	-0,302
4	14,54	328	784	1,238	9	0,624	15	-0,203
5	14,89	321	774	1,238	9	0,624	15	-0,203
6	14,94	315	767	1,238	9	0,625	14	-0,182
7	12,93	310	720	1,218	8	0,591	18	-0,234
8	13,82	318	764	1,233	8	0,616	16	-0,188
9	14,28	330	771	1,236	9	0,622	16	-0,217
10	15,00	310	770	1,235	9	0,620	15	-0,255
11	15,55	312	766	1,241	9	0,629	14	-0,201
12	15,54	320	791	1,239	9	0,626	14	-0,256
13	12,49	312	712	1,215	8	0,588	19	-0,192
14	13,56	323	762	1,231	8	0,612	17	-0,214
15	13,97	337	774	1,238	8	0,623	15	-0,199
16	15,41	308	756	1,235	9	0,619	14	-0,244
17	15,71	317	793	1,244	9	0,633	14	-0,197
18	16,08	317	793	1,243	9	0,632	14	-0,229
19	13,26	313	737	1,223	8	0,599	18	-0,208
20	13,55	335	777	1,245	8	0,633	16	-0,245
21	14,81	285	731	1,209	9	0,579	16	-0,277
22	15,81	302	736	1,216	9	0,589	15	-0,159
23	16,36	293	748	1,213	9	0,584	15	-0,146
24	17,06	293	761	1,220	10	0,597	14	-0,178
25	11,91	273	622	1,192	8	0,550	23	-0,327
26	12,96	288	694	1,203	8	0,569	20	-0,877
27	12,76	298	703	1,204	8	0,570	19	-0,173
28	13,05	293	693	1,201	8	0,565	19	-0,012
29	14,71	281	708	1,203	9	0,570	17	-0,274
30	14,18	297	721	1,202	9	0,568	17	-0,295
31	12,31	269	647	1,189	8	0,545	21	-0,262
32	13,02	288	689	1,196	8	0,558	19	-0,223
33	13,16	288	675	1,203	8	0,569	18	-0,172
34	13,99	283	727	1,207	8	0,576	18	-0,257
35	14,42	297	742	1,217	9	0,591	17	-0,236
36	14,53	295	748	1,215	9	0,588	16	-0,229
37	11,54	281	626	1,191	7	0,549	22	-0,254
38	12,23	313	703	1,209	8	0,577	20	-0,225
39	12,70	309	703	1,211	8	0,580	19	-0,221
40	12,92	303	721	1,215	8	0,588	18	-0,319
41	13,05	308	717	1,214	8	0,587	18	-0,207
42	13,92	309	728	1,212	8	0,585	17	-0,238
43	12,14	301	660	1,202	8	0,566	21	-0,302
44	13,30	300	703	1,207	8	0,574	18	-0,233
45	13,62	287	698	1,209	8	0,579	18	-0,202
46	13,96	304	717	1,214	8	0,587	17	-0,209

47	14,09	309	753	1,221	8	0,597	16	-0,188
48	14,81	297	754	1,218	9	0,593	16	-0,296
49	12,65	287	656	1,196	8	0,557	19	-0,132
50	14,08	296	711	1,211	9	0,581	17	-0,146
51	15,23	304	726	1,219	9	0,594	15	-0,166
52	15,78	291	745	1,219	9	0,594	14	-0,132
53	16,99	300	748	1,220	10	0,597	13	-0,156
54	19,00	264	743	1,222	10	0,600	12	-0,172
55	12,68	308	662	1,200	8	0,565	19	-0,116
56	14,68	305	725	1,210	9	0,580	15	-0,123
57	14,99	306	727	1,221	9	0,597	14	-0,097
58	15,41	303	773	1,226	9	0,605	14	-0,165
59	16,17	310	755	1,220	9	0,596	15	-0,160
60	17,56	291	755	1,224	10	0,602	13	-0,156
61	12,66	308	702	1,210	8	0,579	19	-0,211
62	14,35	309	734	1,215	9	0,589	16	-0,172
63	15,61	300	750	1,219	9	0,593	15	-0,227
64	16,81	304	752	1,227	9	0,606	13	-0,146
65	17,90	296	776	1,233	10	0,615	13	-0,219
66	19,49	284	752	1,238	10	0,623	12	-0,223
67	13,35	283	700	1,203	8	0,569	18	-0,572
68	14,49	303	723	1,216	9	0,589	16	-0,142
69	15,62	307	763	1,225	9	0,604	14	-0,205
70	16,62	294	756	1,224	9	0,602	14	-0,197
71	17,43	299	758	1,229	10	0,610	13	-0,227
72	18,65	272	730	1,214	10	0,585	13	-0,209
73	12,56	258	615	1,179	8	0,529	20	-0,084
74	13,46	281	672	1,193	8	0,552	18	-0,212
75	13,79	276	688	1,196	8	0,557	17	-0,117
76	14,03	284	705	1,197	9	0,559	17	-0,186
77	15,03	276	720	1,199	9	0,564	16	-0,206
78	15,66	266	680	1,197	9	0,560	15	-0,097
79	13,60	259	659	1,183	8	0,536	20	-0,119
80	14,40	272	695	1,192	9	0,551	17	-0,109
81	14,91	264	679	1,191	9	0,549	17	-0,173
82	15,25	264	709	1,193	9	0,552	16	-0,171
83	15,84	275	735	1,204	9	0,571	16	-0,204
84	15,56	263	719	1,195	9	0,557	17	-0,243
85	12,94	250	630	1,179	8	0,529	21	-0,144
86	13,58	268	679	1,192	8	0,551	19	0,143
87	13,98	285	703	1,198	8	0,560	18	-0,116
88	14,54	277	705	1,200	9	0,565	16	-0,132
89	14,58	273	684	1,199	9	0,563	16	-0,104
90	15,58	284	711	1,199	9	0,562	15	-0,149
91	13,61	269	650	1,185	8	0,539	19	-0,148
92	13,65	289	702	1,197	9	0,559	18	-0,157
93	14,38	284	694	1,197	9	0,560	17	-0,101
94	14,55	281	719	1,199	9	0,564	17	-0,195
95	15,49	275	728	1,201	9	0,567	16	-0,166
96	15,17	289	735	1,207	9	0,574	16	-0,167
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	14,50	295,08	722,26	1,21	8,65	0,58	16,57	-0,20
MAX	19,49	339,00	793,00	1,25	10,00	0,64	23,00	0,14
MIN	11,54	250,00	615,00	1,18	7,00	0,53	12,00	-0,88
s	1,59	19,10	40,43	0,02	0,65	0,03	2,31	0,10
l	0,32	3,87	8,19	0,00	0,13	0,01	0,47	0,02

AÇO FUNDIDO FC25 TEMPERADO E REVENIDO - TORNEAMENTO EXTERNO
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
12 MEDIÇÕES, 3 A CADA 90 GRAUS
PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	1,52	10,29	5,22	5,91	13,76	13,93	15,18	2,58	8,02
2	1,42	10,01	4,24	4,89	14,20	14,55	15,85	2,34	9,66
3	1,63	11,20	5,34	6,05	15,94	16,43	17,91	3,54	10,38
4	1,16	8,15	3,77	4,23	10,85	11,23	11,67	1,94	7,00
5	1,26	9,58	3,98	4,74	14,55	15,03	16,36	2,31	10,29
6	1,40	10,80	5,29	6,00	15,79	16,21	18,46	3,48	10,21
7	1,36	9,74	4,97	5,75	13,50	13,92	15,05	2,77	8,17
8	1,44	10,59	5,18	6,25	15,12	15,60	16,98	2,89	9,35
9	1,50	11,34	5,24	6,54	15,32	16,12	17,64	3,61	9,58
10	1,55	10,94	5,35	6,42	17,08	17,78	19,36	3,75	11,36
11	1,47	9,30	5,07	6,06	12,57	13,08	14,57	3,01	7,02
12	1,51	10,29	5,38	6,35	13,88	14,50	15,92	2,84	8,15
13	1,48	9,89	5,29	6,68	13,96	15,10	16,27	2,82	8,42
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	1,44	10,16	4,95	5,84	14,35	14,88	16,25	2,91	9,05
MAX	1,63	11,34	5,38	6,68	17,08	17,78	19,36	3,75	11,36
MIN	1,16	8,15	3,77	4,23	10,85	11,23	11,67	1,94	7,00
s	0,12	0,87	0,56	0,75	1,59	1,67	1,97	0,55	1,36
l	0,08	0,53	0,34	0,46	0,97	1,01	1,19	0,34	0,82

13 peças GL = 12 t95% = 2,19

AÇO FUNDIDO FC25 TEMPERADO E REVENIDO - TORNEAMENTO EXTERNO
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
12 MEDIÇÕES, 3 A CADA 90 GRAUS
PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	1,89	17,18	6,56	8,16	24,97	25,25	26,47	3,37	17,09
2	1,82	16,39	6,02	7,32	23,30	23,58	24,97	3,36	16,26
3	1,92	17,21	6,48	7,54	23,47	24,31	25,32	3,23	16,77
4	1,69	16,23	5,39	6,24	23,68	24,08	26,01	3,75	17,84
5	1,63	15,43	5,49	6,69	20,69	21,43	22,33	3,10	14,74
6	1,65	15,70	6,22	7,38	20,73	21,39	22,32	2,86	14,01
7	1,75	17,17	6,26	7,76	22,68	23,82	25,24	3,15	16,06
8	1,71	15,69	6,37	8,39	20,01	21,09	22,19	3,03	12,70
9	1,93	18,33	6,56	8,50	24,89	26,02	27,74	3,76	17,52
10	1,72	16,51	6,40	7,86	22,19	22,74	24,44	3,41	14,88
11	1,75	16,97	6,28	7,21	22,05	22,61	23,41	2,80	15,40
12	1,72	15,76	6,34	7,81	20,43	21,41	22,86	2,86	13,60
13	1,74	15,32	6,39	7,97	20,14	20,61	21,18	2,42	12,64
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	1,76	16,45	6,21	7,60	22,25	22,95	24,19	3,16	15,35
MAX	1,93	18,33	6,56	8,50	24,97	26,02	27,74	3,76	17,84
MIN	1,63	15,32	5,39	6,24	20,01	20,61	21,18	2,42	12,64
s	0,10	0,89	0,37	0,64	1,75	1,71	1,97	0,38	1,76
l	0,06	0,54	0,23	0,39	1,06	1,04	1,20	0,23	1,07

AÇO FUNDIDO FC25 TEMPERADO E REVENIDO - TORNEAMENTO EXTERNO
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
12 MEDIÇÕES, 3 A CADA 90 GRAUS
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	193,00	22	58	1,013	87	0,111	14	-0,080
2	191,70	20	54	1,011	85	0,104	19	-0,329
3	199,90	24	56	1,013	92	0,111	15	-0,146
4	185,10	15	52	1,011	70	0,102	21	-0,159
5	189,50	16	52	1,011	74	0,105	19	-0,513
6	195,00	17	55	1,014	76	0,111	11	0,099
7	197,20	19	54	1,013	77	0,111	16	0,086
8	197,70	17	52	1,014	79	0,115	15	-0,817
9	201,30	18	54	1,013	83	0,115	15	-0,263
10	201,70	17	59	1,014	81	0,118	15	-0,235
11	198,40	19	57	1,014	81	0,119	13	0,050
12	204,30	19	56	1,013	84	0,117	14	-0,099
13	192,70	17	58	1,013	80	0,118	14	0,308
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	195,96	18,46	55,15	1,013	80,69	0,11	15,46	-0,161
MAX	204,30	24,00	59,00	1,014	92,00	0,12	21,00	0,308
MIN	185,10	15,00	52,00	1,011	70,00	0,10	11,00	-0,817
s	5,44	2,47	2,41	0,001	5,78	0,01	2,73	0,289
l	3,30	1,50	1,46	0,001	3,51	0,00	1,66	0,176

AÇO FUNDIDO FC25 TEMPERADO E REVENIDO - TORNEAMENTO EXTERNO
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
12 MEDIÇÕES, 3 A CADA 90 GRAUS
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	89,150	54	281	1,227	21	0,589	13	-0,915
2	70,900	53	232	1,220	19	0,577	13	-1,145
3	71,950	53	323	1,258	18	0,642	14	-0,697
4	56,150	51	239	1,209	18	0,563	16	-1,757
5	62,530	48	240	1,212	19	0,566	14	-1,651
6	63,360	51	225	1,209	18	0,560	12	-1,001
7	57,650	50	225	1,211	18	0,565	14	-1,239
8	62,490	52	243	1,212	18	0,568	14	-0,965
9	70,180	51	252	1,226	20	0,589	13	-1,201
10	60,460	52	239	1,226	18	0,592	13	-1,006
11	67,460	52	249	1,228	18	0,594	13	-0,989
12	66,390	52	233	1,222	18	0,586	13	-0,564
13	69,390	50	244	1,226	19	0,591	14	-0,949
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	66,774	51	248	1,22	18,615	0,583	13,54	-1,083
MAX	89,150	54	323	1,26	21,000	0,642	16,00	-0,564
MIN	56,150	48	225	1,21	18,000	0,560	12,00	-1,757
s	8,40	1,56	26,67	0,013	0,96	0,02	0,97	0,332
l	5,10	0,95	16,20	0,008	0,58	0,01	0,59	0,201

AÇO SINTERIZADO-NITRETADO 1 (ENGRENAGEM)
RHT 6-50 - FILTRO SF - CUTOFF 0,8 mm
6 MEDIÇÕES EM CADA FACE
PARÂMETROS VERTICAIS

S = Face superior (numerada)

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,71	0,28	1,49	2,15	11,85	12,53	12,99	1,36	10,38
2	0,93	9,11	2,51	4,63	12,06	14,29	15,61	5,26	9,66
3	1,31	11,28	5,59	8,90	17,65	18,37	20,19	4,36	9,47
4	1,09	11,55	4,29	6,70	16,47	17,89	18,97	4,30	11,19
5	0,90	9,17	2,82	4,90	15,34	16,12	17,03	4,01	11,22
6	0,79	10,04	2,61	4,39	13,65	15,46	16,25	1,84	11,07
7	0,76	9,19	1,82	3,39	13,33	15,05	15,62	1,90	11,66
8	0,81	9,08	1,86	2,58	13,39	13,61	13,99	2,28	11,03
9	1,02	10,93	2,95	4,30	14,37	16,21	17,65	3,03	11,91
10	0,70	8,52	2,44	3,88	11,10	12,49	13,10	1,49	8,61
11	0,81	8,75	2,39	4,60	13,28	14,70	15,12	1,88	10,10
12	0,76	9,29	2,82	4,85	13,46	15,16	15,81	1,60	10,31
1	0,72	6,90	1,60	2,59	9,31	9,50	10,16	1,98	6,91
2	1,08	10,16	3,33	4,56	14,02	14,71	15,50	2,46	10,15
3	1,19	10,50	3,80	5,53	13,74	14,47	14,55	2,07	8,94
4	0,99	10,71	3,91	6,80	14,91	17,30	18,72	3,12	10,50
5	0,71	7,23	1,80	2,55	9,59	10,25	10,55	1,48	7,70
6	0,64	6,68	1,71	2,59	9,41	10,18	10,57	1,63	7,59
7	0,62	6,38	1,59	2,53	10,06	10,53	10,90	1,61	8,00
8	0,84	8,19	1,78	3,03	14,75	15,17	15,54	1,67	12,14
9	0,87	9,42	2,97	4,26	12,44	13,66	14,58	2,82	9,40
10	0,80	9,22	2,25	3,77	14,73	16,03	16,56	1,49	12,26
11	0,72	8,63	1,97	3,34	12,92	14,17	14,43	1,06	10,83
12	0,82	8,20	3,04	5,19	12,51	13,36	13,90	2,68	8,17
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,86	8,73	2,64	4,25	13,10	14,22	14,93	2,39	9,97
MAX	1,31	11,55	5,59	8,90	17,65	18,37	20,19	5,26	12,26
MIN	0,62	0,28	1,49	2,15	9,31	9,50	10,16	1,06	6,91
s	0,18	2,28	1,00	1,61	2,15	2,38	2,67	1,11	1,54
l	0,07	0,96	0,42	0,68	0,90	1,00	1,12	0,47	0,65

AÇO SINTERIZADO-NITRETADO 1 (ENGRENAGEM)
FOCODYN - FILTRO SF - CUTOFF 0,8 mm
6 MEDIÇÕES EM CADA FACE
PARÂMETROS VERTICAIS

S = Face superior (numerada)

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	1,72	17,28	3,98	4,61	24,88	25,42	25,68	1,50	20,81
2	1,57	14,59	3,70	4,22	19,91	20,37	20,79	1,34	16,15
3	1,57	14,36	5,27	8,00	17,81	19,82	20,76	1,44	11,82
4	1,50	15,52	5,07	7,00	22,39	23,24	23,92	1,56	16,24
5	1,54	13,74	3,66	4,90	18,53	19,26	19,72	2,00	14,36
6	1,49	13,72	3,62	4,14	18,17	18,63	19,09	1,66	14,49
7	1,58	13,87	3,99	5,84	19,29	20,04	20,60	1,54	14,20
8	1,50	14,31	3,57	4,09	17,88	18,59	18,63	1,54	14,50
9	1,73	15,51	4,03	4,76	21,51	21,63	22,45	1,73	16,87
10	1,72	16,49	4,01	4,98	24,35	25,07	25,59	1,75	20,09
11	1,63	15,41	4,07	6,28	22,90	23,51	24,37	1,53	17,23
12	1,60	15,64	3,94	5,31	22,66	23,88	24,49	1,11	18,57
1	1,48	13,46	3,52	4,13	17,64	18,07	18,29	1,27	13,94
2	1,42	12,74	4,03	4,95	17,07	18,00	18,75	1,60	13,05
3	1,42	12,47	4,73	7,36	16,13	16,99	17,79	2,24	9,63
4	1,46	13,36	4,12	5,28	19,37	20,35	21,42	2,15	15,07
5	1,42	12,64	3,67	4,48	17,16	17,84	18,32	1,82	13,36
6	1,31	10,69	3,40	3,97	13,09	13,47	13,52	1,90	9,50
7	1,49	14,53	3,44	3,86	20,87	21,16	21,76	1,57	17,30
8	1,58	16,12	4,19	4,87	22,45	23,24	23,88	1,48	18,37
9	1,58	15,00	4,03	5,76	19,83	21,42	22,14	1,66	15,66
10	1,73	15,93	3,95	4,70	21,26	22,09	21,98	1,59	17,39
11	1,58	15,59	3,93	5,06	23,44	24,50	24,97	1,31	19,44
12	1,47	12,95	3,51	4,17	18,67	18,88	18,99	0,86	14,71
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	1,55	14,41	3,98	5,11	19,89	20,64	21,16	1,59	15,53
MAX	1,73	17,28	5,27	8,00	24,88	25,42	25,68	2,24	20,81
MIN	1,31	10,69	3,40	3,86	13,09	13,47	13,52	0,86	9,50
s	0,11	1,52	0,47	1,10	2,86	2,91	2,98	0,31	2,93
l	0,05	0,64	0,20	0,46	1,20	1,22	1,25	0,13	1,23

AÇO SINTERIZADO-NITRETADO 1 (ENGRENAGEM)
RHT 6-50 - FILTRO SF - CUTOFF 0,8 mm
6 MEDIÇÕES EM CADA FACE
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

S = Face superior (numerada)

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	102,10	22	40	1,024	34	0,157	98	-4,213
2	93,19	23	40	1,023	33	0,154	99	-3,344
3	112,96	59	106	1,028	39	0,180	93	-1,319
4	98,32	48	105	1,030	34	0,184	97	-2,065
5	87,76	27	44	1,020	31	0,147	99	-3,395
6	99,18	27	39	1,019	33	0,138	98	-3,097
7	105,50	20	35	1,021	35	0,142	98	-3,926
8	93,48	14	20	1,017	34	0,127	99	-3,632
9	84,97	48	76	1,023	33	0,155	98	-3,156
10	96,94	30	54	1,027	34	0,164	97	-3,152
11	85,26	23	34	1,020	30	0,143	99	-3,143
12	97,62	27	49	1,023	34	0,153	98	-3,245
1	96,85	24	43	1,020	33	0,139	99	-3,158
2	73,13	49	90	1,026	31	0,172	99	-1,856
3	79,93	61	129	1,034	31	0,202	98	-2,138
4	87,62	46	75	1,025	31	0,167	99	-1,483
5	90,52	23	35	1,020	32	0,144	99	-3,053
6	95,86	21	30	1,016	35	0,124	99	-3,411
7	90,20	21	30	1,016	32	0,126	99	-3,361
8	100,20	27	42	1,017	35	0,133	99	-2,908
9	88,04	28	45	1,020	31	0,142	99	-2,827
10	109,50	34	64	1,030	37	0,168	96	-3,310
11	92,07	27	47	1,019	31	0,140	99	-3,349
12	96,31	36	58	1,020	32	0,147	99	-2,190
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	94,06	31,88	55,42	1,02	33,13	0,15	98,21	-2,95
MAX	112,96	61,00	129,00	1,03	39,00	0,20	99,00	-1,32
MIN	73,13	14,00	20,00	1,02	30,00	0,12	93,00	-4,21
s	8,99	12,94	27,81	0,00	2,13	0,02	1,38	0,73
l	3,78	5,44	11,69	0,00	0,90	0,01	0,58	0,31

AÇO SINTERIZADO-NITRETADO 1 (ENGRENAGEM)
FOCODYN - FILTRO SF - CUTOFF 0,8 mm
6 MEDIÇÕES EM CADA FACE
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

S = Face superior (numerada)

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	18,98	454	825	1,430	12	0,898	90	-2,497
2	18,21	495	855	1,453	12	0,931	90	-2,678
3	19,21	433	728	1,425	11	0,890	89	-1,680
4	18,48	430	740	1,409	11	0,872	91	-2,183
5	16,59	463	782	1,433	10	0,905	93	-2,481
6	18,25	456	803	1,420	11	0,884	92	-2,823
7	17,75	453	814	1,414	11	0,878	92	-2,392
8	18,64	436	748	1,397	11	0,855	93	-2,760
9	19,46	426	773	1,418	12	0,884	91	-2,254
10	19,86	435	830	1,422	12	0,889	91	-2,943
11	17,46	463	799	1,436	11	0,907	92	-2,207
12	17,58	470	810	1,433	11	0,903	91	-2,338
1	17,86	463	821	1,422	11	0,889	92	-2,161
2	17,85	444	784	1,423	11	0,891	93	-3,270
3	20,07	393	673	1,374	11	0,822	93	-1,793
4	16,90	436	736	1,418	10	0,884	94	-1,667
5	16,14	470	802	1,435	10	0,906	95	-2,076
6	16,06	448	728	1,411	10	0,873	95	-1,822
7	17,59	436	780	1,407	11	0,867	94	-1,975
8	18,30	403	680	1,401	10	0,862	93	-1,926
9	18,82	454	794	1,440	11	0,913	91	-2,750
10	18,38	425	754	1,408	11	0,870	92	-2,040
11	17,68	465	824	1,441	11	0,915	92	-2,215
12	17,21	458	785	1,431	11	0,901	92	-2,127
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	18,06	446,21	777,83	1,42	10,96	0,89	92,13	-2,29
MAX	20,07	495,00	855,00	1,45	12,00	0,93	95,00	-1,67
MIN	16,06	393,00	673,00	1,37	10,00	0,82	89,00	-3,27
s	1,06	22,41	46,38	0,02	0,62	0,02	1,51	0,42
l	0,45	9,42	19,50	0,01	0,26	0,01	0,64	0,17

AÇO SINTERIZADO (CORPOS DE PROVA DE TRAÇÃO)
 RHT 6-50 - FILTRO SF - CUTOFF 0,8 mm
 8 MEDIÇÕES EM CADA FACE
 PARÂMETROS VERTICAIS

S = Face superior (numerada)

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
F7	1,41	13,18	3,80	7,79	19,59	21,01	25,16	8,51	13,22
F37	1,33	12,86	1,95	3,30	17,55	18,07	21,68	7,96	14,77
F47	1,26	11,65	2,60	5,59	15,17	17,47	21,00	8,30	11,88
F57	1,28	12,13	2,06	3,47	17,17	17,91	20,33	6,03	14,44
F72	1,18	10,46	2,22	4,76	14,34	16,14	21,19	7,83	11,38
F7	1,21	11,80	2,10	4,59	16,28	17,19	19,52	4,25	12,60
F37	1,16	11,29	1,90	3,70	15,37	17,16	18,13	4,44	13,46
F47	1,44	13,57	1,89	3,01	17,71	18,88	21,37	4,53	15,87
F57	1,21	11,60	1,91	4,39	16,57	17,24	18,11	2,86	12,85
F72	1,27	12,14	2,82	5,59	16,16	18,09	24,35	9,74	12,50
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	1,28	12,07	2,33	4,62	16,59	17,92	21,08	6,45	13,30
MAX	1,44	13,57	3,80	7,79	19,59	21,01	25,16	9,74	15,87
MIN	1,16	10,46	1,89	3,01	14,34	16,14	18,11	2,86	11,38
s	0,09	0,93	0,61	1,43	1,50	1,31	2,32	2,32	1,38
l	0,07	0,66	0,43	1,02	1,07	0,94	1,66	1,66	0,99

AÇO SINTERIZADO (CORPOS DE PROVA DE TRAÇÃO)
 FOCODYN - FILTRO SF - CUTOFF 0,8 mm
 8 MEDIÇÕES EM CADA FACE
 PARÂMETROS VERTICAIS

S = Face superior (numerada)

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
F7	2,68	25,43	7,10	10,23	32,62	33,41	33,94	2,07	23,18
F37	2,90	26,77	7,34	11,45	37,07	38,85	39,94	2,24	27,40
F47	2,70	26,72	8,89	13,32	32,62	35,83	35,69	2,45	22,51
F57	2,94	29,24	8,72	14,65	38,46	41,38	42,49	2,55	26,73
F72	2,82	28,19	9,18	13,71	35,56	38,03	39,25	2,55	24,32
F7	2,78	27,05	7,75	12,37	36,79	38,71	39,47	2,67	26,34
F37	2,65	25,13	6,75	10,86	32,26	36,72	37,08	2,64	25,86
F47	2,79	30,04	8,33	13,17	39,40	41,96	41,91	2,46	28,79
F57	2,80	28,66	8,62	11,91	37,08	38,46	38,71	2,33	26,55
F72	2,63	27,66	9,11	15,26	35,50	39,67	40,58	2,25	24,41
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	2,77	27,49	8,18	12,69	35,74	38,30	38,91	2,42	25,61
MAX	2,94	30,04	9,18	15,26	39,40	41,96	42,49	2,67	28,79
MIN	2,63	25,13	6,75	10,23	32,26	33,41	33,94	2,07	22,51
s	0,10	1,58	0,88	1,62	2,52	2,54	2,68	0,19	1,96
l	0,07	1,13	0,63	1,16	1,80	1,81	1,91	0,14	1,40

AÇO SINTERIZADO (CORPOS DE PROVA DE TRAÇÃO)
RHT 6-50 - FILTRO SF - CUTOFF 0,8 mm
8 MEDIÇÕES EM CADA FACE
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

S = Face superior (numerada)

PEÇA	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/cm]	[p/cm]	[—]	[mm]	[—]	[%]	[—]
F7	167,60	14	25	1,045	42	0,209	25	-1,702
F37	153,90	6	12	1,042	41	0,196	54	-2,890
F47	158,80	9	14	1,041	43	0,196	35	-1,689
F57	103,50	9	12	1,048	38	0,220	57	-2,644
F72	96,84	3	7	1,041	33	0,197	65	-2,782
F7	115,90	4	6	1,043	37	0,203	63	-2,955
F37	131,40	6	8	1,045	38	0,205	54	-2,745
F47	126,60	2	2	1,048	43	0,213	67	-2,980
F57	105,70	4	9	1,043	37	0,203	58	-2,789
F72	166,40	13	22	1,044	43	0,204	21	-1,694
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	132,66	7	12	1,044	40	0,205	50	-2,487
MAX	167,60	14	25	1,048	43	0,220	67	-1,689
MIN	96,84	2	2	1,041	33	0,196	21	-2,980
s	27,23	4	7	0,003	3	0,008	17	0,555
l	19,46	3	5	0,002	2	0,006	12	0,397

AÇO SINTERIZADO (CORPOS DE PROVA DE TRAÇÃO)
FOCODYN - FILTRO SF - CUTOFF 0,8 mm
8 MEDIÇÕES EM CADA FACE
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

S = Face superior (numerada)

PEÇA	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/cm]	[p/cm]	[—]	[mm]	[—]	[%]	[—]
F7	38,72	180	296	1,492	20	0,937	11	-2,070
F37	35,31	189	350	1,450	20	0,886	26	-2,504
F47	40,12	158	261	1,484	20	0,925	15	-1,995
F57	35,87	183	302	1,483	19	0,927	11	-2,009
F72	33,20	196	328	1,498	18	0,948	16	-2,389
F7	35,60	189	328	1,486	19	0,933	13	-2,184
F37	33,54	182	295	1,454	18	0,895	17	-2,173
F47	44,06	180	343	1,507	22	0,956	13	-2,390
F57	36,18	203	359	1,516	20	0,971	16	-2,516
F72	33,80	200	310	1,521	18	0,976	9	-2,156
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	36,64	186	317	1,489	19	0,935	15	-2,239
MAX	44,06	203	359	1,521	22	0,976	26	-1,995
MIN	33,20	158	261	1,450	18	0,886	9	-2,516
s	3,41	13	30	0,024	1	0,029	5	0,197
l	2,44	9	21	0,017	1	0,021	3	0,140

AÇO SINTERIZADO-NITRETADO 2 (CORPOS DE PROVA DE TRAÇÃO)
RHT 6-50 - FILTRO SF - CUTOFF 0,8 mm
8 MEDIÇÕES EM CADA FACE
PARÂMETROS VERTICAIS

S = Face superior (numerada)

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
F5	1,21	11,06	3,06	5,20	13,98	15,07	19,89	7,54	9,87
F13	1,06	10,11	2,09	3,24	13,77	14,53	16,62	5,72	11,29
X14	1,14	10,49	2,20	4,04	13,51	15,00	17,17	5,86	10,96
F18	1,28	11,90	3,49	8,12	16,72	19,33	23,48	9,05	11,21
F26	1,30	12,70	3,02	5,68	17,68	19,88	23,11	5,94	14,20
F41	1,34	11,74	2,43	4,20	16,88	18,28	25,97	12,01	14,08
F54	1,18	11,48	1,79	2,90	14,65	15,89	17,81	4,53	12,99
F59	1,12	10,81	2,45	4,67	14,16	15,09	17,66	4,81	10,42
F91	1,98	16,80	6,30	12,04	25,72	27,26	36,26	14,88	15,22
F5	1,12	10,90	1,88	3,69	14,89	15,87	16,37	1,70	12,18
F13	1,29	12,41	2,31	3,97	16,96	18,32	23,61	7,45	14,35
X14	1,10	10,52	2,48	5,21	14,79	16,05	19,23	7,26	10,84
F18	0,99	10,03	2,14	3,37	13,58	14,29	17,72	6,05	10,92
F26	1,13	11,19	2,34	4,19	15,49	16,69	18,24	5,91	12,50
F41	1,30	12,55	1,76	2,74	17,36	17,61	19,77	4,94	14,87
F54	1,08	10,37	1,90	2,96	14,39	15,07	18,12	6,31	12,11
F59	1,12	10,63	2,01	2,92	15,21	15,73	16,87	3,20	12,81
F91	1,20	12,13	1,94	3,39	17,33	18,15	20,55	3,91	14,76
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	1,22	11,55	2,53	4,59	15,95	17,12	20,47	6,50	12,53
MAX	1,98	16,80	6,30	12,04	25,72	27,26	36,26	14,88	15,22
MIN	0,99	10,03	1,76	2,74	13,51	14,29	16,37	1,70	9,87
s	0,21	1,56	1,05	2,28	2,82	3,04	4,83	3,08	1,71
l	0,11	0,77	0,52	1,13	1,40	1,51	2,40	1,53	0,85

AO SINTERIZADO-NITRETADO 2 (CORPOS DE PROVA DE TRAÇÃO)
FOCODYN - FILTRO SF - CUTOFF 0,8 mm
8 MEDIÇÕES EM CADA FACE
PARÂMETROS VERTICAIS

S = Face superior (numerada)

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
F5	2,59	24,79	6,10	10,48	36,59	37,78	38,76	2,70	27,30
F13	2,31	20,79	5,51	7,71	26,04	28,14	28,57	1,96	20,43
X14	2,45	22,75	5,45	8,06	29,54	32,20	32,11	2,09	24,14
F18	2,33	22,65	5,34	7,07	28,69	29,93	30,70	2,00	22,86
F26	2,41	23,17	5,37	8,66	31,67	33,63	33,99	1,69	24,97
F41	2,79	27,68	8,04	13,50	37,10	40,08	40,68	2,21	26,58
F54	2,57	23,10	5,60	8,12	29,62	30,86	31,50	2,30	22,74
F59	2,31	22,61	4,65	5,95	29,59	30,75	30,92	1,89	24,80
F91	3,03	30,79	11,17	21,09	43,51	47,87	50,65	5,23	26,78
F5	2,58	21,77	5,08	7,35	27,41	29,04	29,40	2,08	21,69
F13	2,53	22,75	5,62	7,67	29,32	31,53	31,82	2,37	23,86
X14	2,47	22,25	5,53	8,14	29,77	30,91	31,69	2,22	22,77
F18	2,07	19,62	4,41	5,15	24,88	25,62	25,72	1,92	20,47
F26	2,39	22,00	4,53	5,82	28,64	29,52	30,14	2,03	23,70
F41	2,82	27,33	5,90	9,41	36,53	39,25	39,59	2,31	29,84
F54	2,49	22,82	5,85	8,66	29,02	31,73	32,47	2,04	23,07
F59	2,36	23,14	5,25	7,81	30,88	32,01	32,56	2,19	24,20
F91	2,65	24,93	5,12	7,49	33,12	35,55	36,48	2,51	28,06
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	2,51	23,61	5,81	8,79	31,22	33,13	33,76	2,32	24,35
MAX	3,03	30,79	11,17	21,09	43,51	47,87	50,65	5,23	29,84
MIN	2,07	19,62	4,41	5,15	24,88	25,62	25,72	1,69	20,43
s	0,22	2,67	1,55	3,58	4,60	5,28	5,74	0,76	2,56
I	0,11	1,33	0,77	1,78	2,29	2,63	2,85	0,38	1,27

AÇO SINTERIZADO-NITRETADO 2 (CORPOS DE PROVA DE TRAÇÃO)
RHT 6-50 - FILTRO SF - CUTOFF 0,8 mm
8 MEDIÇÕES EM CADA FACE
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

S = Face superior (numerada)

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
F5	114,90	10	19	1,039	38	0,201	89	-1,851
F13	109,20	5	13	1,037	35	0,193	96	-2,339
X14	115,60	8	18	1,041	40	0,206	93	-2,268
F18	93,01	9	14	1,039	34	0,206	94	-1,634
F26	104,80	9	20	1,046	36	0,224	87	-2,524
F41	145,80	9	17	1,042	41	0,206	90	-2,056
F54	98,13	3	10	1,040	35	0,201	95	-2,689
F59	109,60	5	9	1,039	34	0,195	96	-3,031
F91	247,50	17	28	1,046	56	0,220	56	-0,374
F5	87,14	2	2	1,040	34	0,200	96	-3,231
F13	103,30	7	13	1,039	36	0,197	95	-2,817
X14	134,50	7	18	1,039	35	0,201	95	-2,347
F18	80,59	5	10	1,037	31	0,197	97	-2,706
F26	135,20	8	15	1,040	37	0,200	92	-2,406
F41	88,22	1	1	1,043	35	0,210	95	-3,005
F54	111,70	9	19	1,041	37	0,206	93	-2,605
F59	95,14	7	9	1,042	33	0,212	94	-2,737
F91	94,55	2	3	1,041	35	0,206	95	-2,915
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	114,94	7	13	1,041	37	0,205	92	-2,419
MAX	247,50	17	28	1,046	56	0,224	97	-0,374
MIN	80,59	1	1	1,037	31	0,193	56	-3,231
s	37,47	4	7	0,003	5	0,008	9	0,658
l	18,63	2	3	0,001	3	0,004	5	0,327

AÇO SINTERIZADO-NITRETADO 2 (CORPOS DE PROVA DE TRAÇÃO)
 FOCODYN - FILTRO SF - CUTOFF 0,8 mm
 8 MEDIÇÕES EM CADA FACE
 PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

S = Face superior (numerada)

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
F5	32,05	201	400	1,458	18	0,921	76	-2,556
F13	27,49	201	378	1,468	16	0,935	79	-2,327
X14	29,88	212	402	1,473	17	0,941	75	-2,227
F18	25,79	216	422	1,499	15	0,983	80	-2,544
F26	28,66	188	450	1,478	16	0,959	80	-2,824
F41	31,16	223	436	1,509	18	0,985	71	-2,325
F54	31,34	207	430	1,479	18	0,947	74	-2,327
F59	29,04	189	467	1,457	16	0,932	80	-2,833
F91	37,95	181	375	1,473	19	0,946	46	-1,591
F5	30,26	218	436	1,462	17	0,928	77	-2,337
F13	30,68	204	406	1,475	17	0,945	76	-2,687
X14	27,67	215	397	1,468	16	0,937	78	-2,345
F18	23,32	201	423	1,479	14	0,963	83	-2,507
F26	28,27	206	489	1,460	16	0,936	80	-2,530
F41	32,84	211	433	1,470	19	0,933	74	-2,647
F54	28,68	229	441	1,496	16	0,971	75	-2,326
F59	27,93	205	455	1,497	15	0,980	80	-2,908
F91	31,35	210	469	1,473	17	0,948	76	-2,560
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	29,69	207	428	1,476	17	0,949	76	-2,467
MAX	37,95	229	489	1,509	19	0,985	83	-1,591
MIN	23,32	181	375	1,457	14	0,921	46	-2,908
s	3,12	12	31	0,015	1	0,020	8	0,297
l	1,55	6	16	0,007	1	0,010	4	0,148

ALUMÍNIO TORNEADO - CILÍNDRIO DE FOTOCOPIADORA
 RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
 5 PEÇAS - 12 MEDIÇÕES POR PEÇA - 60 MEDIÇÕES
 PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Vt [μm]	Rv [μm]
X	0,228	1,220	0,465	0,520	1,346	1,377	1,563	0,314	0,817
MAX	0,257	1,814	0,568	0,684	3,553	3,553	3,674	0,665	
MIN	0,213	1,056	0,360	0,420	1,139	1,147	1,225	0,140	
s	0,009	0,125	0,053	0,058	0,321	0,319	0,320	0,119	
l	0,002	0,032	0,014	0,015	0,083	0,083	0,083	0,031	0,000

60 MEDIÇÕES GL = 59 t95% = 2,01

FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
 5 PEÇAS - 12 MEDIÇÕES POR PEÇA - 60 MEDIÇÕES
 PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Vt [μm]	Rv [μm]
X	0,462	3,639	1,221	1,421	4,815	4,987	5,583	1,390	
MAX	0,491	5,700	2,007	3,082	9,337	9,409	9,937	1,945	
MIN	0,388	2,522	0,901	0,975	2,955	2,990	3,535	0,907	
s	0,025	0,791	0,279	0,369	1,673	1,703	1,621	0,251	
l	0,006	0,205	0,072	0,096	0,434	0,442	0,421	0,065	0,000

RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
 5 PEÇAS - 12 MEDIÇÕES POR PEÇA - 60 MEDIÇÕES
 PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
X	86,71	99	123	1,001	53,00	0,027	44	-0,772
MAX	90,91	115	155	1,001	57,00	0,029	55	-0,549
MIN	78,43	63	78	1,001	47,00	0,025	34	-0,958
s	2,90	11	15	0,000	2,000	0,001	4	0,069
l	0,75	2,9	3,9	0,000	0,519	0,000	1,0	0,018

FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,8 mm
 5 PEÇAS - 12 MEDIÇÕES POR PEÇA - 60 MEDIÇÕES
 PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
X	50,01	176	458	1,017	23	0,119	10	-0,853
MAX	70,18	288	755	1,040	32	0,205	18	-0,052
MIN	29,20	123	310	1,007	14	0,078	4	-1,672
s	9,69	38	111	0,008	4	0,031	5	0,434
l	2,51	9,9	28,8	0,002	1,0	0,008	1,3	0,113

ALUMÍNIO POLIDO
 RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
 20 MEDIÇÕES NA FACE POLIDA
 PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,004	0,041	0,020	0,033	0,060	0,065	0,220	0,180	0,032
2	0,004	0,031	0,016	0,028	0,047	0,049	0,059	0,025	0,021
3	0,004	0,034	0,016	0,029	0,052	0,057	0,118	0,086	0,028
4	0,004	0,032	0,015	0,022	0,042	0,047	0,089	0,057	0,025
5	0,005	0,039	0,049	0,032	0,056	0,061	0,275	0,245	0,029
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,004	0,035	0,023	0,029	0,051	0,056	0,152	0,119	0,027
MAX	0,005	0,041	0,049	0,033	0,060	0,065	0,275	0,245	0,032
MIN	0,004	0,031	0,015	0,022	0,042	0,047	0,059	0,025	0,021
s	0,000	0,004	0,015	0,004	0,007	0,008	0,092	0,091	0,004
l	0,001	0,005	0,018	0,005	0,009	0,010	0,114	0,114	0,005

5 peças

GL = 4

t95% = 2,78

ALUMÍNIO POLIDO
 FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
 20 MEDIÇÕES NA FACE POLIDA
 PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,023	0,184	0,096	0,139	0,239	0,258	0,274	0,059	0,119
2	0,021	0,176	0,089	0,126	0,228	0,248	0,288	0,079	0,122
3	0,023	0,184	0,097	0,150	0,246	0,270	0,317	0,089	0,120
4	0,020	0,168	0,084	0,129	0,221	0,247	0,263	0,061	0,118
5	0,026	0,203	0,103	0,148	0,267	0,287	0,333	0,107	0,139
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,023	0,183	0,094	0,138	0,240	0,262	0,295	0,079	0,124
MAX	0,026	0,203	0,103	0,150	0,267	0,287	0,333	0,107	0,139
MIN	0,020	0,168	0,084	0,126	0,221	0,247	0,263	0,059	0,118
s	0,002	0,013	0,007	0,011	0,018	0,017	0,029	0,020	0,009
l	0,003	0,016	0,009	0,013	0,022	0,021	0,036	0,025	0,011

ALUMÍNIO POLIDO
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
20 MEDIÇÕES NA FACE POLIDA
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	*****	113,000	169,000	*****	*****	*****	*****	*****
2	*****	81,000	130,000	*****	*****	*****	*****	*****
3	*****	145,000	229,000	*****	*****	*****	*****	*****
4	*****	164,000	298,000	*****	*****	*****	*****	*****
5	*****	216,000	389,000	*****	*****	*****	*****	*****
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	#DIV/0!	143,80	243,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
MAX	0,00	216,00	389,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MIN	0,00	81,00	130,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
s	#DIV/0!	51,271	103,419	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
l	#DIV/0!	63,743	128,576	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

ALUMÍNIO POLIDO
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
20 MEDIÇÕES NA FACE POLIDA
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm [mm]	Pc [p/cm]	HSC [p/cm]	Lr [—]	La [mm]	Da [—]	tp [%]	Sk [—]
1	*****	2270	2510	1,002	3	0,054	4	-0,113
2	*****	2348	2523	1,002	3	0,051	4	0,085
3	*****	1904	2304	1,001	3	0,046	4	-0,312
4	*****	1838	2189	1,002	3	0,050	4	0,036
5	*****	1799	2136	1,001	4	0,044	4	0,145
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	#DIV/0!	2032	2332	1,002	3	0,049	4	-0,032
MAX	0,000	2348	2523	1,002	4	0,054	4	0,145
MIN	0,000	1799	2136	1,001	3	0,044	4	-0,312
s	#DIV/0!	257,298	178,75	0,001	0,447	0,004	0,000	0,183
l	#DIV/0!	319,887	222,24	0,001	0,556	0,005	0,000	0,228

COBRE ELETROLÍTICO POLIDO
 RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
 20 MEDIÇÕES NA FACE POLIDA
 PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,005	0,025	0,012	0,018	0,034	0,036	0,083	0,059	0,018
2	0,005	0,029	0,014	0,020	0,040	0,043	0,084	0,055	0,023
3	0,005	0,028	0,013	0,017	0,035	0,038	0,079	0,053	0,021
4	0,013	0,074	0,037	0,094	0,159	0,169	0,303	0,176	0,075
5	0,004	0,023	0,011	0,017	0,030	0,033	0,063	0,042	0,016
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,006	0,036	0,017	0,033	0,060	0,064	0,122	0,077	0,031
MAX	0,013	0,074	0,037	0,094	0,159	0,169	0,303	0,176	0,075
MIN	0,004	0,023	0,011	0,017	0,030	0,033	0,063	0,042	0,016
s	0,004	0,021	0,011	0,034	0,056	0,059	0,101	0,056	0,025
l	0,005	0,027	0,014	0,042	0,069	0,073	0,126	0,069	0,031

5 peças GL = 4 t95% = 2,78

COBRE ELETROLÍTICO POLIDO
 FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
 20 MEDIÇÕES NA FACE POLIDA
 PARÂMETROS VERTICAIS

PEÇA	Ra [μm]	Rz [μm]	Rpm [μm]	Rp [μm]	Rmax [μm]	Rt [μm]	Pt [μm]	Wt [μm]	Rv [μm]
1	0,021	0,164	0,084	0,117	0,212	0,224	0,248	0,061	0,107
2	0,023	0,173	0,088	0,118	0,221	0,230	0,249	0,057	0,112
3	0,026	0,210	0,105	0,163	0,300	0,320	0,338	0,068	0,157
4	0,040	0,377	0,158	0,266	0,632	0,677	0,706	0,118	0,411
5	0,025	0,194	0,095	0,138	0,261	0,272	0,289	0,058	0,134
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	0,027	0,224	0,106	0,160	0,325	0,345	0,366	0,072	0,184
MAX	0,040	0,377	0,158	0,266	0,632	0,677	0,706	0,118	0,411
MIN	0,021	0,164	0,084	0,117	0,212	0,224	0,248	0,057	0,107
s	0,008	0,088	0,030	0,062	0,175	0,190	0,194	0,026	0,128
l	0,009	0,109	0,037	0,077	0,218	0,236	0,241	0,032	0,160

COBRE ELETROLÍTICO POLIDO
 RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
 20 MEDIÇÕES NA FACE POLIDA
 PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/cm]	[p/cm]	[—]	[mm]	[—]	[%]	[—]
1	****	58	64	****	****	****	****	****
2	****	90	134	****	****	****	****	****
3	****	94	129	****	****	****	****	****
4	****	120	156	1,00	17,00	0,02	3,00	5,69
5	****	44	64	****	****	****	****	****
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	****	81,20	109,40	1,00	17,00	0,02	3,00	5,69
MAX	****	120,00	156,00	1,00	17,00	0,02	3,00	5,69
MIN	****	44,00	64,00	1,00	17,00	0,02	3,00	5,69
s	#####	30,285	42,671	#####	#####	#####	#####	#####
l	#####	37,652	53,051	#####	#####	#####	#####	#####

COBRE ELETROLÍTICO POLIDO
 FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 0,08 mm
 20 MEDIÇÕES NA FACE POLIDA
 PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

PEÇA	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/cm]	[p/cm]	[—]	[mm]	[—]	[%]	[—]
1	****	2136	2556	1,002	3	0,054	8	0,234
2	****	2109	2439	1,001	3	0,047	7	#####
3	****	1994	2354	1,002	3	0,052	7	#####
4	****	2006	2226	1,003	4	0,066	4	#####
5	****	1888	2259	1,002	3	0,047	6	#####
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	****	2027	2367	1,002	3	0,053	6	#####
MAX	****	2136	2556	1,003	4	0,066	8	0,234
MIN	****	1888	2226	1,001	3	0,047	4	#####
s	#####	99,317	#####	0,001	0,447	0,008	1,517	0,179
l	#####	#####	#####	0,001	0,556	0,010	1,885	0,223

RESINA ACRÍLICA - QUADRO RESUMO
C1 - 10 CP - POLIMENTO CONVENCIONAL
RHT 6-50 - CUTOFF = 0,8mm - 5 MEDIÇÕES POR CP

VERTICAL

Ra [µm]													s	l
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	0,19	0,21	0,16	0,18	0,19	0,2	0,19	0,20	0,16	0,30	0,20	0,04	0,03	
Sn	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,51	0,02	0,11	0,08			

Rz [µm]													s	l
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	1,43	1,19	1,17	1,06	1,22	1,35	1,27	1,51	1,09	2,32	1,36	0,37	0,26	
Sn	0,73	0,19	0,18	0,18	0,13	0,55	0,32	0,64	0,31	1,44	0,47			

Rt [µm]													s	l
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	2,85	1,64	1,84	1,6	1,62	2,52	2,08	3,17	1,92	3,31	2,26	0,66	0,47	
Sn	2,99	0,39	0,8	0,64	0,36	2,39	0,89	2,81	1,13	2,26	1,47			

RESINA ACRÍLICA - QUADRO RESUMO
C1 - 10 CP - A25POLIMENTO CONVENCIONAL
FOCODYN - CUTOFF = 0,8mm - 5 MEDIÇÕES POR CP

VERTICAL

Ra [µm]													s	l
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	0,87	0,7	0,68	0,73	1,16	0,72	0,88	0,92	0,6	1,38	0,86	0,24	0,17	
Sn	0,15	0,2	0,11	0,03	0,13	0,11	0,21	0,27	0,33	0,3	0,18			

Rz [µm]													s	l
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	8,12	7,01	7,10	7,43	11,67	7,31	8,59	8,88	8,53	12,9	8,43	1,82	1,30	
Sn	1,25	1,03	0,77	0,50	0,88	1,43	2,94	2,67	3,14	1,23	1,58			

Rt [µm]													s	l
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	11,3	9,82	11,9	10,8	14,4	10,8	16	13,5	10,2	17,6	12,74	2,65	1,89	
Sn	2,63	1,15	4,91	1,66	3,14	3,02	12,7	5,67	5,48	3,89	4,42			

RESINA ACRÍLICA - QUADRO RESUMO
C1 - 10 CP - POLIMENTO CONVENCIONAL
RHT 6-50 - CUTOFF = 0,8mm - 5 MEDIÇÕES POR CP

HORIZONTAL
FORMA

Lr													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	0,00	0,00
Sn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		

La [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	55	68	51	50	52	55	56	65	61	55	56,80	6,00	4,29
Sn	5	5	2	4	2	5	4	6	4	17	5,40		

Pc													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0,40	1,00	0,71
Sn	1	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0,50		

Sm [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	90,2	105	88,3	79,2	90,3	85,6	89,4	108	91,7	86,5	91,46	8,80	6,29
Sn	3,89	17,3	7,49	8,19	8,67	7,09	3,57	18,3	6,32	14	9,48		

S													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	1	0	0	1	0	1	1	1	0	2	0,70	1,00	0,71
Sn	2	0	0	1	0	1	1	1	0	4	1,00		

RESINA ACRÍLICA - QUADRO RESUMO
C1 - 10 CP - POLIMENTO CONVENCIONAL
FOCODYN - CUTOFF = 0,8mm - 5 MEDIÇÕES POR CP

HORIZONTAL
FORMA

Lr													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	1,11	1,07	1,08	1,1	####	1,1	1,1	1,1	1,7	1,2	1,172	0,19	0,14
Sn	0,02	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02	0,04	0,06	0,1	0,036		

La [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	15	17	16	13	15	14	16	17	14	18	15,50	1,58	1,13
Sn	1	1	1	1	1	2	3	2	2	3	1,70		

Pc													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	82	49	44	65	132	59	54	82	52	141	76,00	####	####
Sn	29	27	29	16	35	19	19	42	62	61	33,90		

Sm [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	34,8	41,4	38	28,8	32	29,6	38,2	38,4	33,9	39,1	35,42	4,27	3,05
Sn	4,27	1,25	7,06	2,44	5,18	4,85	11,2	7,55	6,47	####	5,79		

S													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	184	99	88	134	363	137	118	200	106	390	####	####	####
Sn	83	80	57	50	108	55	44	107	135	196	91,50		

RESINA ACRÍLICA - QUADRO RESUMO
C2 - 10 CP - POLIMENTO QUÍMICO
RHT 6-50 - CUTOFF = 0,8mm - 5 MEDIÇÕES POR CP

VERTICAL

Ra [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	0,54	0,65	0,62	0,58	0,65	0,58	0,61	0,58	0,6	0,58	0,60	0,03	0,02
Sn	0,02	0,07	0,09	0,05	0,14	0,11	0,07	0,08	0,09	0,05	0,08		

Rz [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	2,99	3,63	3,51	3,03	3,93	3,5	3,4	3,65	3,56	3,14	3,43	0,30	0,21
Sn	0,38	0,48	0,8	0,38	0,89	0,57	0,48	0,63	0,7	0,3	0,56		

Rt [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	4,36	4,89	5,01	3,76	5,59	5,05	4,48	5,58	5,87	3,94	4,85	0,71	0,51
Sn	0,91	1,17	1,52	0,64	1,23	0,67	1,09	1,51	3,29	0,35	1,24		

RESINA ACRÍLICA - QUADRO RESUMO
C2 - 10 CP - POLIMENTO QUÍMICO
FOCODYN - CUTOFF = 0,8mm - 5 MEDIÇÕES POR CP

VERTICAL

Ra [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	0,83	1,48	1,02	1,14	1,21	1,41	0,81	2,17	2,54	1,75	1,44	0,57	0,41
Sn	0,15	0,12	0,10	0,08	0,20	0,27	0,07	0,42	1,11	0,37	0,29		

Rz [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	6,68	13,9	7,54	10,2	11,2	14,1	6,77	21,2	22,1	16,5	13,02	5,61	4,01
Sn	1,90	0,76	2,58	1,45	2,53	3,40	1,12	5,26	8,55	3,02	3,06		

Rt [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	10,4	21,9	14,6	16,2	20,5	24,6	11,4	35,5	32	27,3	21,42	8,51	6,08
Sn	4,42	3,69	####	3,53	5,35	7,66	2,84	14,3	10	7,10	6,92		

RESINA ACRÍLICA - QUADRO RESUMO
C2 - 10 CP - POLIMENTO QUÍMICO
RHT 6-50 - CUTOFF = 0,8mm - 5 MEDIÇÕES POR CP

HORIZONTAL
FORMA

Lr												s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	0,00	0,00
Sn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00		

La [µm]												s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	113	110	110	105	123	100	111	115	117	109	#####	6,34	4,53
Sn	7	3	7	6	12	13	14	11	8	7	8,80		

Pc												s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	3	8	7	3	10	7	6	6	7	5	6,20	2,15	1,54
Sn	2	6	5	3	9	3	4	4	3	2	4,10		

Sm [µm]												s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	154	145	140	141	161	134	148	150	162	140	#####	9,30	6,65
Sn	12,5	16,8	8,55	10,3	18,8	8,47	20,7	18,4	14,7	17,1	14,64		

S												s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	6	10	8	3	19	11	9	8	10	7	9,10	4,18	2,98
Sn	3	9	6	3	11	4	4	5	3	3	5,10		

RESINA ACRÍLICA - QUADRO RESUMO
C2 - 10 CP - POLIMENTO QUÍMICO
FOCODYN - CUTOFF = 0,8mm - 5 MEDIÇÕES POR CP

HORIZONTAL
FORMA

Lr													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	1,03	1,05	1,02	1,02	####	1,05	1,01	1,05	1,09	1,03	1,04	0,02	0,02
Sn	0,01	0,01	0,01	0,01	####	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01	0,013		

La [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	32	45	49	47	48	46	59	72	56	75	52,90	13	9,29
Sn	3	6	1	1	4	10	5	5	9	4	4,80		

Pc													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	36	62	49	54	44	57	21	59	80	52	51,40	15,8	11,3
Sn	10	12	5	8	4	13	6	7	27	3	9,50		

Sm [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	82,5	101	94,6	98,2	####	####	####	####	####	####	####	16,2	11,5
Sn	####	####	####	####	####	####	####	####	####	####	####		

S													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	l
Mn	78	136	85	99	88	131	36	111	156	91	####	34,2	24,4
Sn	22	20	5	9	13	35	12	15	52	11	19,40		

RESINA ACRÍLICA - QUADRO RESUMO
C3 - 10 CP - EM BRUTO DE CURA
RHT 6-50 - CUTOFF = 0,8mm - 5 MEDIÇÕES POR CP

VERTICAL

Ra [µm]													s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA				
Mn	1,44	0,86	0,79	0,7	0,98	1,17	0,79	1,2	0,69	0,84	0,95	0,25	0,18	
Sn	0,66	0,14	0,13	0,1	0,07	0,31	0,18	0,55	0,13	0,11	0,24			

Rz [µm]													s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA				
Mn	10	6,27	5,46	4,71	7,46	9,36	6,04	9,25	4,86	6,19	6,96	1,95	1,40	
Sn	4,22	1,1	1,16	0,37	0,76	1,79	1,54	3,91	1,1	1,44	1,74			

Rt [µm]													s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA				
Mn	15,8	9,8	8,62	6,74	10,3	16,9	8,84	14,6	7,3	10,7	10,95	3,58	2,56	
Sn	6,74	2,9	3,08	1	1,43	5,96	1,84	6,59	2,63	4,59	3,68			

RESINA ACRÍLICA - QUADRO RESUMO
C3 - 10 CP - EM BRUTO DE CURA
FOCODYN - CUTOFF = 0,8mm - 5 MEDIÇÕES POR CP

VERTICAL

Ra [µm]													s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA				
Mn	1,76	3,59	3,13	2,05	2,71	3,89	2,98	2,64	2,55	2,91	2,82	0,64	0,46	
Sn	0,38	0,48	0,74	0,34	0,31	0,76	0,77	0,93	0,39	0,56	0,57			

Rz [µm]													s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA				
Mn	19	28,8	27,5	24,7	####	32,3	28,1	25	20,8	26,9	25,58	4	2,86	
Sn	4,65	2,90	4,02	4,14	2,30	4,85	5,92	8,84	1,88	7,79	4,23			

Rt [µm]													s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA				
Mn	29,9	38,8	37,1	40,5	29,1	47	41	38,7	30,7	36,7	36,95	5,66	4,05	
Sn	6,58	5,63	7,76	3,65	3,79	5,01	7,62	12,4	2,91	5,22	6,05			

RESINA ACRÍLICA - QUADRO RESUMO
C3 - 10 CP - EM BRUTO DE CURA
RHT 6-50 - CUTOFF = 0,8mm - 5 MEDIÇÕES POR CP

HORIZONTAL
FORMA

Lr													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	I
Mn	1,01	1	1	1	1,01	1,01	1,01	1,01	1	1	1,006	0,00	0,00
Sn	0,01	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0,00		

La [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	I
Mn	110	80	83	83	63	77	75	83	71	78	80,30	12,18	8,70
Sn	17	6	7	5	6	5	8	15	3	2	7,40		

Pc													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	I
Mn	30	29	19	16	39	36	23	33	17	19	26,10	8,37	5,98
Sn	15	10	8	4	3	15	12	15	5	5	9,20		

Sm [µm]													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	I
Mn	194	118	125	137	106	126	116	143	100	115	#####	26,66	####
Sn	39,4	9,88	17,7	7,88	22	14,1	8,14	36,2	4,88	8,19	16,84		

S													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	s	I
Mn	36	47	33	28	66	57	42	48	37	46	44,00	11,43	8,17
Sn	14	13	14	8	9	16	16	12	9	6	11,70		

RESINA ACRÍLICA - QUADRO RESUMO
C3 - 10 CP - EM BRUTO DE CURA
FOCODYN - CUTOFF = 0,8mm - 5 MEDIÇÕES POR CP

HORIZONTAL
FORMA

Lr												s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	1,08	1,38	1,17	1,12	1,3	1,25	1,2	1,17	1,15	1,2	1,200	0,09	0,06
Sn	0,03	0,05	0,04	0,04	0,03	0,06	0,07	0,06	0,03	0,03	0,043		

La [µm]												s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	42	28	44	38	25	43	38	38	40	38	37,40	6,2	4,43
Sn	13	2	3	3	4	6	2	5	2	6	4,60		

Pc												s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	67	213	113	87	201	128	123	118	120	130	#####	45,1	32,3
Sn	23	10	13	14	14	12	28	17	12	16	15,90		

Sm [µm]												s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	####	####	####	####	####	####	####	####	####	####	77,61	17,4	12,5
Sn	44,6	####	####	####	####	####	####	####	####	####	#####		

S												s	l
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA			
Mn	131	394	229	202	411	239	259	212	223	253	#####	85,4	61
Sn	54	25	28	30	71	29	52	44	11	36	38,00		

GESSO PLANO (ODONTOLOGIA)
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 2,5 mm
8 MEDIÇÕES NA FACE (4// A UMA LATERAL E 4 PERPEND.)
PARÂMETROS VERTICAIS

Grupo 3									
PEÇA	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]
1	2,68	18,57	7,35	8,83	24,02	24,47	27,80	5,50	15,64
2	2,19	17,22	7,73	9,46	20,15	21,12	23,78	5,14	11,66
3	2,50	17,76	7,07	8,65	21,98	23,10	27,81	7,95	14,45
4	2,94	20,32	8,33	10,63	24,61	25,45	28,55	6,42	14,82
5	2,90	19,87	7,63	8,69	23,76	24,56	25,76	3,76	15,87
6	2,53	17,76	7,08	7,83	20,02	20,47	21,33	2,64	12,64
7	2,27	16,55	6,48	8,04	19,99	20,96	22,66	3,00	12,92
8	2,08	16,25	7,14	9,88	20,15	21,76	24,54	5,33	11,88
9	2,59	18,17	6,92	8,53	21,65	22,07	22,54	2,73	13,54
10	2,27	17,00	7,22	9,36	20,31	21,83	24,75	4,73	12,47
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	2,50	17,95	7,30	8,99	21,66	22,58	24,95	4,72	13,59
MAX	2,94	20,32	8,33	10,63	24,61	25,45	28,55	7,95	15,87
MIN	2,08	16,25	6,48	7,83	19,99	20,47	21,33	2,64	11,66
s	0,29	1,34	0,51	0,85	1,85	1,72	2,49	1,72	1,52
l	0,21	0,96	0,36	0,61	1,32	1,23	1,78	1,23	1,09

10 peças GL = 9 t95% = 2,26

GESSO PLANO (ODONTOLOGIA)
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 2,5 mm
8 MEDIÇÕES NA FACE (4// A UMA LATERAL E 4 PERPEND.)
PARÂMETROS VERTICAIS

Grupo 3									
PEÇA	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]
1	2,67	25,07	13,17	20,33	32,09	35,10	35,46	5,96	14,77
2	2,66	22,54	11,35	14,87	26,78	28,27	35,67	12,00	13,40
3	2,46	22,44	11,38	15,47	26,98	29,54	45,90	23,18	14,07
4	3,10	27,52	14,49	21,38	36,17	37,21	40,81	6,71	15,83
5	3,18	27,25	14,28	18,19	31,59	33,90	35,67	5,68	15,71
6	2,68	23,02	11,68	14,90	27,08	29,49	30,38	3,83	14,59
7	2,49	21,82	10,97	14,26	26,43	27,54	35,32	14,28	13,28
8	2,36	21,10	10,29	13,11	25,49	27,15	36,20	11,97	14,04
9	2,82	24,23	12,16	14,77	27,95	28,93	29,75	2,59	14,16
10	2,52	25,32	14,30	24,54	34,90	38,11	39,79	3,64	13,57
GRP	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
X	2,69	24,03	12,41	17,18	29,55	31,52	36,50	8,98	14,34
MAX	3,18	27,52	14,49	24,54	36,17	38,11	45,90	23,18	15,83
MIN	2,36	21,10	10,29	13,11	25,49	27,15	29,75	2,59	13,28
s	0,27	2,23	1,54	3,76	3,83	4,14	4,77	6,40	0,89
l	0,19	1,59	1,10	2,69	2,74	2,96	3,41	4,58	0,64

GESSO PLANO (ODONTOLOGIA)
RHT 6-50 - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 2,5 mm
8 MEDIÇÕES NA FACE (4// A UMA LATERAL E 4 PERPEND.)
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

Grupo 3								
PEÇA	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/cm]	[p/cm]	[—]	[mm]	[—]	[%]	[—]
1	74,65	2	2	1,079	48	0,336	60	-0,462
2	69,95	2	3	1,073	45	0,320	65	-0,391
3	74,86	1	3	1,077	47	0,329	61	-0,450
4	85,64	7	11	1,087	54	0,354	45	-0,330
5	77,85	4	6	1,088	50	0,356	54	-0,616
6	75,73	1	2	1,082	48	0,342	58	-0,442
7	71,11	1	1	1,072	45	0,317	66	-0,414
8	63,81	0	1	1,069	41	0,310	76	-0,478
9	71,68	1	1	1,082	47	0,344	63	-0,606
10	67,36	1	1	1,073	43	0,319	69	-0,393
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	73,26	2	3	1,078	47	0,333	62	-0,458
MAX	85,64	7	11	1,088	54	0,356	76	-0,330
MIN	63,81	0	1	1,069	41	0,310	45	-0,616
s	6,03	2,05	3,18	0,007	3,65	0,016	8,46	0,091
l	4,31	1,47	2,27	0,005	2,61	0,012	6,05	0,065

GESSO PLANO (ODONTOLOGIA)
FOCODYN - FILTRO GAUSSIANO - CUTOFF 2,5 mm
8 MEDIÇÕES NA FACE (4// A UMA LATERAL E 4 PERPEND.)
PARÂMETROS HORIZONTAIS E DE FORMA

Grupo 3								
PEÇA	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/cm]	[p/cm]	[—]	[mm]	[—]	[%]	[—]
1	78,44	11	19	1,112	43	0,399	33	-0,025
2	81,82	10	18	1,102	45	0,377	33	-0,051
3	75,10	8	15	1,108	41	0,390	35	0,392
4	84,13	13	27	1,122	46	0,418	25	0,176
5	86,00	15	30	1,122	47	0,418	25	0,062
6	77,71	10	18	1,110	43	0,394	33	0,165
7	74,44	7	13	1,101	40	0,377	44	-0,034
8	70,11	6	12	1,101	40	0,378	36	0,292
9	85,52	12	21	1,107	47	0,387	28	0,147
10	72,78	8	14	1,105	41	0,384	39	0,215
GRP	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
X	78,61	10	19	1,109	43	0,392	33	0,134
MAX	86,00	15	30	1,122	47	0,418	44	0,392
MIN	70,11	6	12	1,101	40	0,377	25	-0,051
s	5,58	2,83	5,93	0,008	2,79	0,015	5,99	0,147
l	3,99	2,02	4,24	0,006	1,99	0,011	4,28	0,105

APÊNDICE 6

TABELAS DE RESULTADOS DE MEDIÇÃO

TABELA A6-1. Aço ABNT 1045 retificado em face plana, parâmetros verticais.

20 CP – 9 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	0,169	1,385	0,508	0,653	1,775	1,855	2,006	0,407	1,203
Sm	0,016	0,083	0,048	0,107	0,257	0,269	0,329	0,177	0,221
im	0,007	0,039	0,023	0,050	0,121	0,126	0,155	0,083	0,104
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
Xo	0,442	4,061	1,379	1,543	4,737	4,888	5,157	0,760	3,345
So	0,012	0,258	0,041	0,049	0,500	0,498	0,487	0,092	0,505
io	0,006	0,121	0,019	0,023	0,235	0,234	0,229	0,043	0,237
R	262	293	271	236	267	264	257	187	278

TABELA A6-2. Aço ABNT 1045, retificado em face plana, parâmetros horizontais e de forma.

20 – CP - 9 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
Xm	46,21	22	65	1,003	18	0,060	71	-0,888
Sm	5,90	6	24	0,000	1	0,002	7	0,632
im	2,77	3	11	0,000	1	0,001	4	0,297
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
Xo	9,43	722	1328	1,117	7	0,412	21	-0,826
So	0,25	26	34	0,006	0	0,014	1	0,219
io	0,12	12	16	0,003	0	0,006	1	0,103
R	20	3291	2041	111	38	690	29	93

TABELA A6-3. Aço ABNT 1045 retificado e nitretado, parâmetros verticais.

10 CP - 9 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
x_m	0,205	1,693	0,723	0,937	2,096	2,228	2,424	0,515	1,291
s_m	0,013	0,109	0,039	0,123	0,247	0,267	0,317	0,157	0,196
i_m	0,009	0,078	0,028	0,088	0,177	0,191	0,227	0,112	0,140
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
x_o	0,715	6,324	2,311	2,651	7,515	7,762	7,954	0,794	5,111
s_o	0,043	0,389	0,165	0,223	0,423	0,434	0,423	0,099	0,353
i_o	0,031	0,278	0,118	0,159	0,302	0,310	0,302	0,070	0,252
R	347	373	319	283	359	348	328	154	396

TABELA A6-4. Aço ABNT 1045 retificado e nitretado, parâmetros horizontais e de forma.

10 CP - 9 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
x_m	39,55	46	149	1,004	17	0,074	52	-0,438
s_m	2,81	4	20	0,001	1	0,003	4	0,314
i_m	2,01	3	14	0,000	1	0,002	3	0,224
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
x_o	10,52	894	1442	1,252	7	0,639	10	-0,754
s_o	0,43	22	39	0,015	0	0,022	1	0,152
i_o	0,31	16	28	0,010	0	0,016	1	0,109
R	27	1927	968	125	40	860	20	172

TABELA A6-5. Aço ABNT 1045 lapidado, parâmetros verticais.

19 CP - 9 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	0,095	0,773	0,388	0,481	0,903	0,945	0,986	0,124	0,464
Sm	0,004	0,042	0,027	0,038	0,063	0,073	0,101	0,064	0,051
im	0,002	0,020	0,013	0,018	0,031	0,035	0,049	0,031	0,025
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
xo	0,916	7,611	2,984	3,365	8,814	9,085	9,314	1,026	5,720
so	0,027	0,184	0,123	0,150	0,304	0,309	0,320	0,130	0,297
io	0,013	0,089	0,060	0,073	0,147	0,150	0,155	0,063	0,144
R	963	985	768	699	976	961	944	830	1233

TABELA A6-6. Aço ABNT 1045 lapidado, parâmetros horizontais e de forma.

19 CP - 9 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
Xm	13,44	17	32	1,003	9	0,065	39	-0,036
Sm	0,43	5	11	0,001	0	0,003	5	0,072
im	0,21	2	5	0,000	0	0,001	2	0,035
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
xo	10,34	1121	1470	1,360	7	0,802	4	-0,476
so	0,19	17	19	0,012	0	0,018	1	0,043
io	0,09	8	9	0,006	0	0,009	0	0,021
R	77	6593	4526	136	79	1226	9	1317

TABELA A6-7. Aço ABNT 1045 lapidado e nitretado, parâmetros verticais.

9 CP - 9 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	0,113	0,923	0,460	0,589	1,099	1,148	1,270	0,300	0,559
Sm	0,007	0,055	0,036	0,062	0,091	0,087	0,155	0,121	0,042
im	0,005	0,043	0,028	0,047	0,070	0,067	0,119	0,093	0,032
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
xo	0,854	7,230	2,726	3,060	8,438	8,703	8,809	0,765	5,643
so	0,040	0,419	0,201	0,259	0,536	0,527	0,472	0,130	0,405
io	0,031	0,323	0,154	0,199	0,412	0,406	0,363	0,100	0,312
R	757	783	592	519	768	758	693	255	1009

TABELA A6-8. Aço ABNT 1045 lapidado e nitretado, parâmetros horizontais e de forma.

9 CP - 9 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
Xm	17,78	37	89	1,004	10	0,070	27	0,009
Sm	1,02	6	19	0,001	1	0,004	3	0,060
im	0,79	4	14	0,001	1	0,003	3	0,050
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
xo	10,79	1054	1421	1,308	7	0,730	4	-0,555
so	0,58	46	51	0,019	0	0,035	0	0,038
io	0,45	35	39	0,015	0	0,027	0	0,029
R	61	2875	1599	130	71	1043	15	-45373

TABELA A6-9. Aço ABNT 1045 polido, parâmetros verticais.

10 CP - 9 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	0,008	0,052	0,022	0,037	0,088	0,094	0,179	0,110	0,057
Sm	0,001	0,008	0,004	0,009	0,013	0,013	0,035	0,031	0,006
im	0,001	0,005	0,003	0,007	0,009	0,010	0,025	0,022	0,005
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
Xo	0,038	0,375	0,155	0,262	0,691	0,732	0,785	0,155	0,470
So	0,006	0,063	0,020	0,037	0,140	0,147	0,156	0,027	0,116
io	0,005	0,045	0,014	0,027	0,100	0,105	0,111	0,019	0,083
R	449	729	719	705	787	778	439	141	826

TABELA A6-10. Aço ABNT 1045 polido, parâmetros horizontais e de forma.

10 CP - 9 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[----]	[mm]	[----]	[%]	[----]
Xm	****	114	146	****	****	****	****	****
Sm	****	80	113	****	****	****	****	****
im	****	19	21	****	****	****	****	****
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
Xo	****	1811	2128	1,003	4	0,055	4	-1,326
So	****	106	98	0,000	0	0,007	1	0,786
io	****	75	70	0,000	0	0,005	0	0,562
R	****	1584	1461	****	****	****	****	****

Observação: células preenchidas com ****, indicam que os respectivos parâmetros não puderam ser calculados pelo processador do equipamento.

TABELA A6-11. Aço inoxidável SAE 316 faceado, parâmetros verticais.

29 CP - 8 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	1,11	6,33	3,37	3,99	7,25	7,45	9,79	3,38	3,46
Sm	0,38	1,98	0,95	1,18	2,29	2,33	3,29	1,88	1,27
im	0,14	0,76	0,36	0,45	0,88	0,89	1,26	0,72	0,49
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
Xo	1,31	9,41	4,42	5,05	10,64	10,99	11,92	2,20	5,95
So	0,33	2,18	1,00	1,08	2,21	2,26	2,37	0,71	1,36
io	0,13	0,83	0,38	0,41	0,84	0,86	0,91	0,27	0,52
R	118	149	131	126	147	148	122	65	172

TABELA A6-12. Aço inoxidável SAE 316 faceado, parâmetros horizontais e de forma.

29 CP - 8 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[----]	[mm]	[----]	[%]	[----]
Xm	154,26	25	59	1,014	54	0,126	33	0,380
Sm	32,00	18	24	0,005	10	0,021	16	0,414
im	12,24	7	9	0,002	4	0,008	6	0,158
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
Xo	40,82	60	274	1,207	14	0,571	25	0,067
So	13,77	13	76	0,026	3	0,043	11	0,288
io	5,27	5	29	0,010	1	0,016	4	0,110
R	26	237	467	119	26	454	75	18

TABELA A6-13. Aço inoxidável SAE 316 lapidado, parâmetros verticais.

10 CP - 10 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	0,098	0,792	0,387	0,474	0,925	0,978	1,136	0,323	0,504
Sm	0,005	0,042	0,034	0,044	0,062	0,059	0,206	0,238	0,045
im	0,004	0,030	0,024	0,031	0,044	0,042	0,145	0,168	0,032
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
Xo	0,828	7,150	2,766	3,129	8,279	8,561	9,019	1,458	5,432
So	0,054	0,501	0,209	0,289	0,626	0,632	0,593	0,383	0,415
io	0,038	0,353	0,147	0,204	0,441	0,445	0,418	0,270	0,292
R	849	903	715	660	895	876	794	452	1079

TABELA A6-14. Aço inoxidável SAE 316 lapidado, parâmetros horizontais e de forma.

10 CP - 10 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
Xm	14,25	19	37	1,003	9	0,066	39	-0,085
Sm	0,70	6	15	0,001	0	0,004	6	0,082
im	0,50	4	11	0,000	0	0,003	4	0,058
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
Xo	10,03	1157	1520	1,380	7	0,832	3	-0,455
So	0,29	24	24	0,020	0	0,028	0	0,043
io	0,20	17	17	0,014	0	0,019	0	0,031
R	70	6057	4140	138	77	1257	8	536

TABELA A6-15. Aço inoxidável SAE 316 polido, parâmetros verticais.

10 CP - 10 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,08mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	0,002	0,014	0,007	0,010	0,020	0,021	0,048	0,035	0,011
Sm	0,000	0,003	0,001	0,002	0,005	0,005	0,009	0,009	0,003
im	0,000	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,006	0,006	0,002
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
xo	0,013	0,100	0,049	0,069	0,135	0,142	0,157	0,044	0,072
so	0,001	0,008	0,004	0,009	0,015	0,015	0,012	0,005	0,011
io	0,001	0,005	0,003	0,006	0,011	0,011	0,008	0,004	0,008
R	574	726	748	678	687	677	324	127	676

TABELA A6-16. Aço inoxidável SAE 316 polido, parâmetros horizontais e de forma.

10 CP - 10 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,08mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
Xm	****	73	21	****	****	****	****	****
Sm	****	13	11	****	****	****	****	****
im	****	9	8	****	****	****	****	****
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
Xo	****	3221	3034	****	****	****	****	****
So	****	69	68	****	****	****	****	****
io	****	48	48	****	****	****	****	****
R	****	4424	14798	****	****	****	****	****

TABELA A6-17. Aço DIN 100Cr6 (pistão de bomba injetora), superfície com retificação cilíndrica externa, parâmetros verticais.

96 CP - 10 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
xm	0,51	3,62	1,65	2,06	4,32	4,52	5,01	1,08	2,46
sm	0,08	0,66	0,32	0,45	0,72	0,74	0,96	0,55	0,35
im	0,02	0,13	0,07	0,09	0,15	0,15	0,19	0,11	0,07
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
xo	0,78	6,37	2,98	3,52	7,33	7,65	7,77	0,52	4,14
so	0,07	0,53	0,24	0,32	0,62	0,65	0,68	0,11	0,43
io	0,01	0,11	0,05	0,07	0,13	0,13	0,14	0,02	0,09
R	154	176	181	171	170	169	155	48	168

TABELA A6-18. Aço DIN 100Cr6 (pistão de bomba injetora), superfície com retificação cilíndrica externa, parâmetros horizontais e de forma.

96 CP - 10 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,08mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
xm	35,65	48	128	1,024	18	0,172	39	-0,205
sm	3,69	15	48	0,003	2	0,021	10	0,092
im	0,75	3	10	0,001	0	0,004	2	0,019
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
xo	14,50	295	722	1,213	9	0,584	17	-0,201
so	1,59	19	40	0,016	1	0,026	2	0,104
io	0,32	4	8	0,003	0	0,005	0	0,021
R	41	609	565	118	48	339	43	98

TABELA A6-19. Aço fundido FC25 torneado cilíndrico externo, parâmetros verticais.

13 CP - 12 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	1,44	10,16	4,95	5,84	14,35	14,88	16,25	2,91	9,05
Sm	0,12	0,87	0,56	0,75	1,59	1,67	1,97	0,55	1,36
im	0,08	0,53	0,34	0,46	0,97	1,01	1,19	0,34	0,82
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
Xo	1,76	16,45	6,21	7,60	22,25	22,95	24,19	3,16	15,35
So	0,10	0,89	0,37	0,64	1,75	1,71	1,97	0,38	1,76
io	0,06	0,54	0,23	0,39	1,06	1,04	1,20	0,23	1,07
R	123	162	126	130	155	154	149	109	170

TABELA A6-20. Aço fundido FC25 torneado cilíndrico externo, parâmetros horizontais e de forma.

13 CP - 12 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
Xm	195,96	18	55	1,013	81	0,112	15	-0,161
Sm	5,44	2	2	0,001	6	0,006	3	0,289
im	3,30	2	1	0,001	4	0,003	2	0,176
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
Xo	66,77	51	248	1,222	19	0,583	14	-1,083
So	8,40	2	27	0,013	1	0,022	1	0,332
io	5,10	1	16	0,008	1	0,013	1	0,201
R	34	279	450	121	23	520	88	671

TABELA A6-21. Aço sinterizado e nitretado tipo 1, parâmetros verticais.

12 CP - 12 medições por CP - Filtro Especial - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	0,86	8,73	2,64	4,25	13,10	14,22	14,93	2,39	9,97
Sm	0,18	2,28	1,00	1,61	2,15	2,38	2,67	1,11	1,54
im	0,07	0,96	0,42	0,68	0,90	1,00	1,12	0,47	0,65
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
Xo	1,55	14,41	3,98	5,11	19,89	20,64	21,16	1,59	15,53
So	0,11	1,52	0,47	1,10	2,86	2,91	2,98	0,31	2,93
io	0,05	0,64	0,20	0,46	1,20	1,22	1,25	0,13	1,23
R	180	165	151	120	152	145	142	66	156

TABELA A6-22. Aço sinterizado e nitretado tipo 1, parâmetros horizontais e de forma.

12 CP - 12 medições por CP - Filtro Especial - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
Xm	94,06	32	55	1,022	33	0,152	98	-2,947
Sm	8,99	13	28	0,005	2	0,019	1	0,733
im	3,78	5	12	0,002	1	0,008	1	0,308
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
Xo	18,06	446	778	1,421	11	0,887	92	-2,294
So	1,06	22	46	0,017	1	0,023	2	0,416
io	0,45	9	20	0,007	0	0,010	1	0,175
R	19	1400	1404	139	33	584	94	78

TABELA A6-23. Aço sinterizado (cotonetes para ensaio de tração), parâmetros verticais.

5 CP - 16 medições por CP - Filtro Especial - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	1,28	12,07	2,33	4,62	16,59	17,92	21,08	6,45	13,30
Sm	0,09	0,93	0,61	1,43	1,50	1,31	2,32	2,32	1,38
im	0,07	0,66	0,43	1,02	1,07	0,94	1,66	1,66	0,99
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
Xo	2,77	27,49	8,18	12,69	35,74	38,30	38,91	2,42	25,61
So	0,10	1,58	0,88	1,62	2,52	2,54	2,68	0,19	1,96
io	0,07	1,13	0,63	1,16	1,80	1,81	1,91	0,14	1,40
R	217	228	352	275	215	214	185	38	193

TABELA A6-24. Aço sinterizado (cotonetes para ensaio de tração), parâmetros horizontais e de forma.

5 CP - 16 medições por CP - Filtro Especial - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
Xm	132,66	7	12	1,044	40	0,205	50	-2,487
Sm	27,23	4	7	0,003	3	0,008	17	0,555
im	19,46	3	5	0,002	2	0,006	12	0,397
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
Xo	36,64	186	317	1,489	19	0,935	15	-2,239
So	3,41	13	30	0,024	1	0,029	5	0,197
io	2,44	9	21	0,017	1	0,021	3	0,140
R	28	2657	2711	143	49	457	29	90

TABELA A6-25. Aço sinterizado e nitretado tipo 2, parâmetros verticais.

9 CP - 16 medições por CP - Filtro Especial - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	1,22	11,55	2,53	4,59	15,95	17,12	20,47	6,50	12,53
Sm	0,21	1,56	1,05	2,28	2,82	3,04	4,83	3,08	1,71
im	0,11	0,77	0,52	1,13	1,40	1,51	2,40	1,53	0,85
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
xo	2,51	23,61	5,81	8,79	31,22	33,13	33,76	2,32	24,35
so	0,22	2,67	1,55	3,58	4,60	5,28	5,74	0,76	2,56
io	0,11	1,33	0,77	1,78	2,29	2,63	2,85	0,38	1,27
R	206	204	229	192	196	194	165	36	194

TABELA A6-26. Aço sinterizado e nitretado tipo 2, parâmetros horizontais e de forma.

9 CP - 16 medições por CP - Filtro Especial - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[----]	[mm]	[----]	[%]	[----]
Xm	114,94	7	13	1,041	37	0,205	92	-2,419
Sm	37,47	4	7	0,003	5	0,008	9	0,658
im	18,63	2	3	0,001	3	0,004	5	0,327
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
xo	29,69	207	428	1,476	17	0,949	76	-2,467
so	3,12	12	31	0,015	1	0,020	8	0,297
io	1,55	6	16	0,007	1	0,010	4	0,148
R	26	3022	3239	142	45	464	83	102

TABELA A6-27. Alumínio torneado (cilindro de fotocopiadora), parâmetros verticais.

5 CP - 12 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
x_m	0,228	1,220	0,465	0,520	1,346	1,377	1,563	0,314	0,817
s_m	0,009	0,125	0,053	0,058	0,321	0,319	0,320	0,119	0,050
i_m	0,002	0,032	0,014	0,015	0,083	0,083	0,083	0,031	0,031
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
x_o	0,462	3,639	1,221	1,421	4,815	4,987	5,583	1,390	2,20
s_o	0,025	0,791	0,279	0,369	1,673	1,703	1,621	0,251	0,718
i_o	0,006	0,205	0,072	0,096	0,434	0,442	0,421	0,065	0,093
R	203	298	263	273	358	362	357	443	269

TABELA A6-28. Alumínio torneado (cilindro de fotocopiadora), parâmetros horizontais e de forma.

5 CP - 12 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
x_m	86,71	99	123	1,001	53	0,027	44	-0,772
s_m	2,90	11	15	0,000	2	0,001	4	0,069
i_m	0,75	2,9	3,9	0,000	0,5	0,000	1,0	0,018
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
x_o	50,01	176	458	1,017	23	0,119	10	-0,853
s_o	9,69	38	111	0,008	4	0,031	5	0,434
i_o	2,51	10	29	0,002	1	0,008	1	0,113
R	58	178	372	102	43	441	23	110

TABELA A6-29. Alumínio polido, parâmetros verticais.

5 CP - 20 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,08mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	0,004	0,035	0,023	0,029	0,051	0,056	0,152	0,119	0,027
Sm	0,000	0,004	0,015	0,004	0,007	0,008	0,092	0,091	0,004
im	0,001	0,005	0,018	0,005	0,009	0,010	0,114	0,114	0,005
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
Xo	0,023	0,183	0,094	0,138	0,240	0,262	0,295	0,079	0,124
So	0,002	0,013	0,007	0,011	0,018	0,017	0,029	0,020	0,009
io	0,003	0,016	0,009	0,013	0,022	0,021	0,036	0,025	0,011
R	538	517	404	481	467	470	194	67	458

TABELA A6-30. Alumínio polido, parâmetros horizontais e de forma.

5 CP - 20 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,08mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
Xm	*****	144	243	*****	*****	*****	*****	*****
Sm	*****	51	103	*****	*****	*****	*****	*****
im	*****	64	129	*****	*****	*****	*****	*****
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
Xo	*****	2032	2332	1,002	3	0,049	4	-0,032
So	*****	257	179	0,001	0	0,004	0	0,183
io	*****	320	222	0,001	1	0,005	0	0,228
R	*****	1413	960	*****	*****	*****	*****	*****

TABELA A6-31. Cobre polido, parâmetros verticais.

5 CP - 20 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,08mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	0,006	0,036	0,017	0,033	0,060	0,064	0,122	0,077	0,031
Sm	0,004	0,021	0,011	0,034	0,056	0,059	0,101	0,056	0,025
im	0,005	0,027	0,014	0,042	0,069	0,073	0,126	0,069	0,031
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
Xo	0,027	0,224	0,106	0,160	0,325	0,345	0,366	0,072	0,184
So	0,008	0,088	0,030	0,062	0,175	0,190	0,194	0,026	0,128
io	0,009	0,109	0,037	0,077	0,218	0,236	0,241	0,032	0,160
R	422	625	609	483	546	540	299	94	602

TABELA A6-32. Cobre polido, parâmetros horizontais e de forma.

5 CP - 20 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,08mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[----]	[mm]	[----]	[%]	[----]
Xm	*****	81	109	1,001	17	0,017	3	5,687
Sm	*****	30	43	*****	*****	*****	*****	*****
im	*****	38	53	*****	*****	*****	*****	*****
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
Xo	*****	2027	2367	1,002	3	0,053	6	-0,055
So	*****	99	135	0,001	0	0,008	2	0,179
io	*****	123	168	0,001	1	0,010	2	0,223
R	*****	2496	2163	100	19	313	213	-1

TABELA A6-33. Resina acrílica lixada , parâmetros verticais.

30 CP - 5 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	0,20	1,36	----	----	----	2,26	----	----	----
Sm	0,04	0,37	----	----	----	0,66	----	----	----
im	0,03	0,26	----	----	----	0,47	----	----	----
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
Xo	0,86	8,43	----	----	----	12,74	----	----	----
So	0,24	1,82	----	----	----	2,65	----	----	----
io	0,17	1,30	----	----	----	1,89	----	----	----
R	430	620	----	----	----	564	----	----	----

TABELA A6-34. Resina acrílica lixada, parâmetros horizontais e de forma.

30 CP - 5 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
Xm	91,46	0,4	0,7	1,000	56,80	----	----	----
Sm	8,80	1,0	1,0	0,000	6,00	----	----	----
im	6,29	0,7	0,7	0,000	4,29	----	----	----
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
Xo	35,42	76,0	181,90	1,172	15,5	----	----	----
So	4,27	34,4	108,70	0,190	1,6	----	----	----
io	3,05	24,6	77,66	0,140	1,1	----	----	----
R	39	19000	25986	117	27	----	----	----

TABELA A6-35. Resina acrílica polida quimicamente, parâmetros verticais.

30 CP - 5 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	0,60	3,43	----	----	----	4,85	----	----	----
Sm	0,03	0,30	----	----	----	0,71	----	----	----
im	0,02	0,21	----	----	----	0,51	----	----	----
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
Xo	1,44	13,02	----	----	----	21,42	----	----	----
So	0,57	5,61	----	----	----	8,51	----	----	----
io	0,41	4,01	----	----	----	6,08	----	----	----
R	240	380	----	----	----	442	----	----	----

TABELA A6-36. Resina acrílica polida quimicamente, parâmetros horizontais e de forma.

30 CP - 5 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[----]	[mm]	[----]	[%]	[----]
Xm	147,48	6,2	9,10	1	111,3	----	----	----
Sm	9,3	2,2	4,18	0	6,34	----	----	----
im	6,65	1,54	2,98	0	4,53	----	----	----
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
Xo	106,29	51,4	101	1,040	52,90	----	----	----
So	16,16	15,8	34	0,022	13,00	----	----	----
io	11,55	11,3	24	0,016	9,29	----	----	----
R	72	829	1111	104	48	----	----	----

TABELA A6-37. Resina acrílica em bruto de cura, parâmetros verticais.

30 CP - 5 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	0,95	6,96	----	----	----	10,95	----	----	----
Sm	0,25	1,95	----	----	----	3,58	----	----	----
im	0,18	1,40	----	----	----	2,56	----	----	----
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
Xo	2,82	25,58	----	----	----	36,95	----	----	----
So	0,64	4,00	----	----	----	5,66	----	----	----
io	0,46	2,86	----	----	----	4,05	----	----	----
R	297	368	----	----	----	337	----	----	----

TABELA A6-38. Resina acrílica em bruto de cura, parâmetros horizontais e de forma.

30 CP - 5 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 0,8mm								
SONDA MECÂNICA RHT 6-50								
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk
	[mm]	[ρ/mm]	[ρ/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]
xm	128,20	26,10	44,00	1,006	80,30	----	----	----
Sm	26,66	8,37	11,43	0,000	12,18	----	----	----
im	19,06	5,98	8,17	0,000	8,70	----	----	----
SONDA ÓPTICA FOCODYN								
Xo	106,29	51,40	101,10	1,040	52,90	----	----	----
So	16,16	15,81	34,21	0,022	13,00	----	----	----
io	11,55	11,30	24,45	0,016	9,29	----	----	----
R	83	197	230	103	66	----	----	----

TABELA A6-39. Gesso, parâmetros verticais.

10 CP - 8 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 2,5mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Ra	Rz	Rpm	Rp	Rmax	Rt	Pt	Wt	Rv
	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
Xm	2,50	17,95	7,30	8,99	21,66	22,58	24,95	4,72	13,59
Sm	0,29	1,34	0,51	0,85	1,85	1,72	2,49	1,72	1,52
im	0,21	0,96	0,36	0,61	1,32	1,23	1,78	1,23	1,09
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
xo	2,69	24,03	12,41	17,18	29,55	31,52	36,50	8,98	14,34
so	0,27	2,23	1,54	3,76	3,83	4,14	4,77	6,40	0,89
io	0,19	1,59	1,10	2,69	2,74	2,96	3,41	4,58	0,64
R	108	134	170	191	136	140	146	190	106

TABELA A6-40. Gesso, parâmetros horizontais e de forma.

10 CP - 8 medições por CP - Filtro Gaussiano - cut-off = 2,5mm									
SONDA MECÂNICA RHT 6-50									
	Sm	Pc	HSC	Lr	La	Da	tp	Sk	
	[mm]	[p/mm]	[p/mm]	[-----]	[mm]	[-----]	[%]	[-----]	
Xm	73,26	2	3	1,078	47	0,333	62	-0,458	
Sm	6,03	2	3	0,007	4	0,016	8	0,091	
im	4,31	1	2	0,005	3	0,012	6	0,065	
SONDA ÓPTICA FOCODYN									
xo	78,61	10	19	1,109	43	0,392	33	0,134	
so	5,58	3	6	0,008	3	0,015	6	0,147	
io	3,99	2	4	0,006	2	0,011	4	0,105	
R	107	500	603	103	93	118	54	-29	