

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA  
TESE DEFENDIDA POR CLAUDIO DA SILVA  
ANDRETTA E APROVADA PELA  
COMISSÃO JULGADORA EM 10/04/2001

O. Novaski  
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DEPTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

**BRUNIMENTO PARA RECUPERAÇÃO DAS  
CAMISAS DE PISTÃO DOS MOTORES DE  
COMBUSTÃO INTERNA.**

Autor: **Claudio da Silva Andretta**

Orientador: **Prof. Dr. Olívio Novaski**

20/01

**UNICAMP**  
**BIBLIOTECA CENTRAL**  
**SEÇÃO CIRCULANTE**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DEPTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

**BRUNIMENTO PARA RECUPERAÇÃO DAS  
CAMISAS DE PISTÃO DOS MOTORES DE  
COMBUSTÃO INTERNA.**

**Autor: Claudio da Silva Andretta**

**Orientador: Prof. Dr. Olívio Novaski**

**Curso: Engenharia Mecânica**

**Área de concentração: Materiais e Processos de Fabricação**

Dissertação de Mestrado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

**Campinas, 04/2001**

**S.P. - Brasil**

**UNICAMP**  
**BIBLIOTECA CENTRAL**  
**SEÇÃO CIRCULANTE**

2001.2.4091

|                            |                                       |
|----------------------------|---------------------------------------|
| UNIDADE                    | 80                                    |
| N.º CHAMADA:               | T/UNICAMP                             |
|                            | An 25b                                |
| V. _____                   | Ex. _____                             |
| TOMBO BC/                  | 46703                                 |
| PROC.                      | 16.392/01                             |
| C <input type="checkbox"/> | D <input checked="" type="checkbox"/> |
| PREC.º                     | R\$ 41,00                             |
| DATA                       | 25/10/01                              |
| N.º CPD                    |                                       |

CM00160473-0

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

|       |   |
|-------|---|
| An25b | <p>Andretta, Claudio da Silva</p> <p>Brunimento para recuperação das camisas de pistão dos motores de combustão interna / Claudio da Silva Andretta . -- Campinas, SP: [s.n.], 2001.</p> <p>Orientador: Olívio Novaski.<br/>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.</p> <p>1. Usinagem. 2. Brunidura. 3. Motores de combustão interna - Cilindros. 4. Aspereza de superfície. I. Novaski, Olívio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.</p> |
|-------|---|

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DEPTO. DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**  
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**BRUNIMENTO PARA RECUPERAÇÃO DAS CAMISAS DE  
PISTÃO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.**

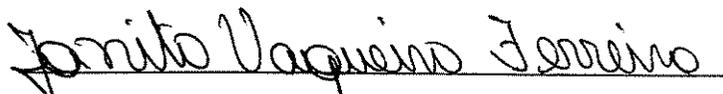
Autor: Claudio da Silva Andretta

Orientador: Prof. Dr. Olívio Novaski

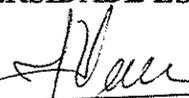


---

**Prof. Dr. Olívio Novaski, Presidente**  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS



**Prof. Dr. Janito Vaqueiro Ferreira**  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS



---

**Prof. Dr. João Roberto Ferreira**  
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBA

Campinas, 10 de abril de 2001

**Dedicatória:**

A minha mãe, e a minha esposa.

**UNICAMP**  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

## **Agradecimentos:**

Este trabalho somente pôde ser concluído com a colaboração de diversas pessoas, às quais registro aqui meus sinceros agradecimentos e homenagem:

A minha mãe, Emilia responsável por meu caminho até aqui.

A minha esposa, Ana Rita, pela colaboração, paciência e compreensão.

Ao meu orientador, Olívio, pelo apoio técnico, mas sobretudo, pela forma compreensiva e amiga com que orientou este trabalho.

A todos os professores, alunos e funcionários do DEF/UNICAMP, que de forma direta ou indireta me apoiaram na conclusão deste trabalho.

A todos os funcionários do Laboratório de Metrologia Dimensional (LAMEDI) da UNICAMP que auxiliaram nas medições, Eng. Msc. Sérgio Zarpelon e o técnico Vilson.

A todos os funcionários do Laboratório de Metrologia FATEC/SP que auxiliaram nas medições, Tecnólogo Jarbas Pasoto Golfinet.

A APAREM – Associação Paulista de Retíficas de Motores e todas as empresas associadas que participaram na realização deste trabalho.

“Honra a teu pai e mãe”, que é o primeiro mandado com promessa:

“Para que te vá bens e perdure por muito tempo na terra.”

( Efésios 6 : 2,3 )

## Sumário

|                   |      |
|-------------------|------|
| Sumário           | i    |
| Resumo            | iii  |
| Abstract          | iv   |
| Lista de Figuras  | v    |
| Lista de Tabelas  | vii  |
| Lista de Quadros  | viii |
| Lista de Formulas | ix   |
| Nomenclatura      | x    |
| Abreviaturas      | xii  |

### **CAPITULO 1: INTRODUÇÃO** 1

### **CAPITULO 2: MÉTODO, PROCESSO E CONTROLE NO BRUNIMENTO.** 3

|   |    |
|---|----|
| 2.1 - Generalidades.  | 3  |
| 2.2 - Componentes do processo.  | 6  |
| 2.3 - Brunimento platafórmico   | 7  |
| 2.3.1- Justificativas para utilização do brunimento platafórmico              | 8  |
| 2.4 - Brunimento flexível   | 11 |
| 2.4.1- Brunimento flexível tipo esfera  | 11 |
| 2.4.2- Brunimento flexível tipo cerdas ou escovas                             | 12 |
| 2.5 - Novas tecnologias na produção de camisas dos cilindros.                 | 13 |
| 2.5.1- Estruturação a Laser.  | 14 |
| 2.5.2- Brunimento coaxial   | 17 |
| 2.5.3- Brunimento em centros de usinagem                                      | 19 |
| 2.6 - Determinação do curso da ferramenta                                     | 20 |
| 2.7 - Caracterização das superfícies brunidas.                                | 23 |
| 2.7.1- Método DIN EN ISO 13565-2  | 25 |
| 2.7.2- Representação da curva de Abbot em uma escala de probabilidade normal. | 26 |
| 2.7.3- Método para descrição de superfícies brunidas segundo Pawlus.          | 30 |

### **CAPITULO 3: METODOLOGIA EXPERIEMETAL** 32

|   |    |
|---|----|
| 3.1 - A metodologia                         | 32 |
| 3.2 - Planilha de dados                     | 33 |
| 3.3 - Corpo de prova                        | 34 |
| 3.4 - Procedimentos adotados nos ensaios    | 36 |
| 3.5 - Procedimentos adotados nas medições   | 38 |
| 3.5.1- Medida do ângulo de cruzamento       | 38 |
| 3.5.2- Medição dos parâmetros de rugosidade | 39 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPITULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>                      | <b>43</b> |
| 4.1 - Avaliação do processo de brunimento                       | 43        |
| 4.2 - Parâmetros calculados                                     | 48        |
| 4.3 - Avaliação das características geométricas                 | 50        |
| 4.4 - Avaliação das texturas                                    | 54        |
| <b>CAPITULO 5: CONCLUSÕES</b>                                   | <b>59</b> |
| 5.1 - Conclusões  | 59        |
| 5.2 - Sugestões para trabalhos futuros                          | 61        |
| <b>CAPITULO 6: BIBLIOGRAFIA</b>                                 | <b>62</b> |
| 6.1 - Referencias Bibliográficas                                | 62        |
| <b>ANEXOS</b>   |           |
| Anexo 1- Dados do processo de brunimento                        | 67        |
| Anexo 2- Dados dimensionais e geométricos das camisas de pistão | 71        |
| Anexo 3- Dados da superfície brunida e valores de referência    | 74        |

## Resumo

Andretta, Claudio da Silva, Brunimento para recuperação das camisas de pistão dos motores de combustão interna, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. 2001. 76 p. Tese (mestrado)

Este trabalho objetivou avaliar o processo de brunimento utilizado na recuperação das camisas de pistão dos motores de combustão interna executado pelas Retificas de Motores, quanto ao método de trabalho, características geométricas e microgeométricas. Participaram deste trabalho nove Retificas de Motores, indicados pela “APAREM”, Associação Paulista dos Retificadores de Motores. Todas as empresas participantes receberam 3 ou 4 corpos de prova pré usinados, e, executaram somente a operação de brunimento, de acordo com suas normas internas. Todos os corpos de prova foram mandrilados e após avaliados quanto as suas características dimensionais e geométricas. Após a operação de brunimento os corpos de prova foram avaliados quanto a características geométricas e microgeométricas. O processo de brunimento utilizado pelas empresas foi avaliado em relação aos seguintes aspectos: maquinas e equipamentos, ferramentas abrasivas, instrumentos de medida, fluidos de corte e sistemas de filtragem, parâmetros de regulagem da máquina e parâmetros de controle do processo. Os resultados obtidos quando comparados as especificações das camisas de pistão, mostraram que a maioria das empresas atende as especificações geométricas, exceto pelo ângulo de brunimento e atende parcialmente as características microgeométricas.

Palavras-chave: usinagem, brunimento platafórmico, rugosidade, retíficas de motores, camisas de pistão.

**Abstract**

Andretta, Claudio da Silva, Honing for rebuilding of cylinders liners of combustion engines, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. 2001. 76 p. Tesis.

This work has the purpose to evaluates the honing process used in the reconditioning of cylinder liners of combustion engines. This process was executed by nine Engine Rebuilders, which took into consideration working method, geometric and surface roughness characteristics. The Rebuilders which participated on this project were all indicated by “APAREM”, Associação Paulista dos Retificadores de Motores. They all received 3 or 4 pre-machined cylinder liners, and, they only executed honing operation according to their internal patterns. All the cylinder liners were bored and afterwards they were evaluated as to their dimensional and geometric characteristics. After the honing operation the cylinder liners were evaluated regarding their geometric characteristics and surface roughness. The honing process used by the companies was evaluated considering these aspects: honing machine and equipment, abrasive tools, measure instruments, fluid of cut and filtration systems, machine set-up and the parameters used to control the process. When compared to the cylinder liners specifications, the results showthat: most companies attend the geometric specifications, except for the crosshatch angle; they attend partially to the surface roughness characteristic.

Key-words: machining, plateau honing, surface roughness, engine rebuilding, cylinders liners.

## Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 - Cabeçote brunidor e movimentos característicos do processo   | 3  |
| Figura 2.2 - Seção de um furo mandrilado  | 4  |
| Figura 2.3 - Seção de um furo brunido   | 4  |
| Figura 2.4 - Desvios corrigíveis pelo processo de brunimento  | 4  |
| Figura 2.5 - Processo de formação do cavaco no brunimento   | 5  |
| Figura 2.6 - Grandezas do processo de brunimento  | 6  |
| Figura 2.7 - Influência do brunimento de plateau na performance de um motor de combustão interna  | 9  |
| Figura 2.8 - Brunidor flexível tipo esfera  | 12 |
| Figura 2.9 - Camisa de pistão “estruturada” a laser e cabeçote para a execução do processo  | 14 |
| Figura 2.10- Texturas possíveis de se obter com a estruturação a laser  | 15 |
| Figura 2.11- Textura de uma camisa de pistão obtida pela seqüência: brunimento de desbaste; estruturação a laser e brunimento de acabamento   | 15 |
| Figura 2.12- Desgaste das camisas e anéis, em que as camisas foram obtidas por métodos diferentes   | 16 |
| Figura 2.13- Brunimento coaxial   | 18 |
| Figura 2.14- Grandezas relacionadas ao curso da ferramenta  | 21 |
| Figura 2.15- Superfície platafórmica gerada por operações de brunimento   | 24 |
| Figura 2.16- Superfície platafórmica gerada por operações de brunimento   | 24 |
| Figura 2.17- Representação gráfica dos parâmetros da DIN EN ISO 13565-2   | 26 |
| Figura 2.18- Curva de Abbot: A- eixo da abscissa plotado com a fração de contato; B- eixo da abscissa plotado com o desvio padrão da altura das asperezas do perfil   | 26 |
| Figura 2.19- Modelamento de uma superfície produzida por brunimento platafórmico. a- superfície produzida por brunimento básico; b- superfície produzida por brunimento platafórmico desconsiderando o brunimento básico; c- superfície produzida por brunimento básico e por brunimento platafórmico   | 27 |
| Figura 2.20- Diferentes texturas geradas por brunimento platafórmico, que foram avaliadas utilizando-se a curva de Abbot, onde o eixo da abscissa foi plotado em uma escala de probabilidade normal, “A1” e “A2” para perfil “A” e “B1” e “B2” para perfil “B” definem a amplitude média do brunimento básico e platafórmico respectivamente, “A3” e “B3” definem a região dos vales e “plateau”. | 28 |
| Figura 2.21- Diferentes formas de plotar a curva de Abbot; A- eixo da abscissa plotado em escala de probabilidade normal e pontos característicos; B- eixo da abscissa plotado em porcentagem da fração de contato e pontos característicos.  | 29 |
| Figura 2.22- Interpretação gráfica dos parâmetros do perfil segundo Pawlus  | 31 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 3.1 - Distribuição das empresas em função dos tipos de motores e das texturas aplicadas  | 33 |
| Figura 3.2 - Geometria, dimensões e pontos de controle das dimensões dos corpos de prova  | 35 |
| Figura 3.3 - Parâmetros de ajuste da brunidora para os casos "A" e "B". A- cabeçote brunidor com alimentador e duas juntas universais; B- cabeçote brunidor com alimentador e uma junta universal                                     | 37 |
| Figura 3.4 - Corpo de prova, onde estão mostradas as regiões de medição da rugosidade e a região replicada para medir o ângulo de cruzamento  | 38 |
| Figura 3.5 - Corpo de prova, onde: $v_c$ = velocidade de corte; $v_f$ = velocidade de avanço; $v_e$ = velocidade efetiva; $2\beta$ = ângulo de cruzamento; $\eta$ = ângulo da direção efetiva, $\beta$ = ângulo complementar a $\eta$ | 39 |
| Figura 3.6 - Montagem da camisa de pistão no sistema medidor de rugosidade  | 40 |
| Figura 3.7 - Perfis P e W sobrepostos e parâmetros característicos de superfícies brunidas – Tela 1   | 41 |
| Figura 3.8 - Curva da fração de contato, determinada para várias profundidades de perfil – Tela 2   | 41 |
| Figura 3.9 - Curva da fração de contato, determinação das profundidades de perfil, a partir da mesma – Tela 3   | 42 |
| Figura 3.10- Perfil da rugosidade R e parâmetros de rugosidade – Tela 4   | 42 |
| Figura 4.1 - Desvios dimensionais obtidos pelo processo anterior ao brunimento.   | 44 |
| Figura 4.2 - Distribuição das empresas segundo o controle utilizado para caracterizar os desvios microgeométricos   | 44 |
| Figura 4.3 - Fluidos de brunimento utilizados nas empresas estudadas  | 45 |
| Figura 4.4 - Sistemas de filtragem utilizados   | 45 |
| Figura 4.5 - Quantidade de brunidoras por empresa   | 46 |
| Figura 4.6 - Idade das brunidoras, existentes nas empresas analisadas   | 47 |
| Figura 4.7 - Abrasivos utilizados na geração de texturas ciclo Otto   | 47 |
| Figura 4.8 - Abrasivos utilizados na geração de texturas ciclo Diesel   | 48 |
| Figura 4.9 - Erros das camisas dos cilindros após o brunimento  | 50 |
| Figura 4.10- Comparação entre os erros de circularidade antes e após o brunimento   | 50 |
| Figura 4.11- Comparação entre os erros de conicidade antes e após o brunimento  | 51 |
| Figura 4.12- Relação de curso por empresa   | 52 |
| Figura 4.13- Relação de sobrecurso superior e inferior por empresa  | 52 |
| Figura 4.14- Gabarito para controlar o ângulo de cruzamento   | 54 |

## **Lista de Tabelas**

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Tabela 4.1- | Parâmetros medidos e calculados para as texturas ciclo Otto e Diesel                                  | 49 |
| Tabela 4.2- | Valores de R, K1, K2, K3 e K4 para as empresas estudadas  | 51 |
| Tabela 4.3- | Valores obtidos dos ângulos de cruzamento contrapostos com valores especificados                      | 53 |
| Tabela 4.4- | Valores obtidos para os parâmetros de rugosidade, contrapostos aos valores especificados ciclo Diesel | 55 |
| Tabela 4.5- | Valores obtidos para os parâmetros de rugosidade, contrapostos aos valores especificados ciclo Otto   | 56 |
| Tabela 4.6- | Matriz dos coeficientes de correlação dos parâmetros de rugosidade                                    | 57 |
| Tabela 7.1- | Valores dos parâmetros de rugosidade para ciclo Otto  | 74 |
| Tabela 7.2- | Valores dos parâmetros de rugosidade para ciclo Diesel  | 75 |

**Lista de Quadros**

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Quadro I    | Dados do processo anterior ao brunimento                       | 67 |
| Quadro II   | Instrumentos, equipamentos, parâmetros de controle do processo | 67 |
| Quadro III  | Fluidos de brunimento e sistemas de filtragem                  | 68 |
| Quadro IV   | Sistemas de limpeza das camisas brunidas                       | 68 |
| Quadro V    | Características das ferramentas abrasivas                      | 69 |
| Quadro VI   | Brunidoras e sua utilização                                    | 69 |
| Quadro VII  | Características das brunidoras                                 | 70 |
| Quadro VIII | Características dos cabeçotes brunidores                       | 70 |
| Quadro IX   | Dimensões das camisas pré e pós brunimento                     | 72 |
| Quadro X    | Comparação dos erros geométricos antes e pós brunimento        | 73 |
| Quadro XI   | Características geométricas das camisas após brunimento        | 73 |
| Quadro XII  | Parâmetros do processo e controle segundo Albarus              | 76 |

## Lista de Formulas

|              | <i>Símbolo</i> | Denominação   | pg. |
|--------------|----------------|---|-----|
| Equação 2.1  | $K1$           | Relação sobrecurso superior / comprimento da pedra                                      | 20  |
| Equação 2.2  | $K2$           | Relação sobrecurso inferior / comprimento da pedra                                      | 20  |
| Equação 2.3  | $K3$           | Relação comprimento da pedra / peça   | 20  |
| Equação 2.4  | $K4$           | Relação comprimento de contato máximo / comprimento da pedra                            | 20  |
| Equação 2.5  | $Lx$           | Curso   | 20  |
| Equação 2.6  | $Amax$         | Área máxima de contato entre a pedra e a peça, função do comprimento e largura da pedra | 20  |
| Equação 2.7  | $Amin$         | Área mínima de contato entre a pedra e a peça, função dos sobrecurso e largura da pedra | 20  |
| Equação 2.8  | $Pmax$         | Pressão máxima de contato entre a pedra e a peça  | 20  |
| Equação 2.9  | $Pmin$         | Pressão mínima de contato entre a pedra e a peça  | 20  |
| Equação 2.10 | $Lt$           | Curso teórico, função do comprimento da peça e da pedra                                 | 21  |
| Equação 2.11 | $R$            | Relação de curso  | 21  |
| Equação 2.12 | $Lt$           | Curso teórico, função do comprimento da peça  | 22  |
| Equação 2.13 | $Lt$           | Curso teórico, função do comprimento da pedra e $K1$ , $K2$ e $K4$                      | 22  |
| Equação 2.14 |                | Valor numérico da soma de $K1$ , $K2$ e $K4$  | 22  |
| Equação 2.15 | $Amin$         | Área mínima, função do comprimento e largura da pedra                                   | 22  |
| Equação 2.16 | $Pmax$         | Pressão máxima em função da pressão mínima  | 23  |
| Equação 2.17 | $A1$           | Área dos picos superiores, em contato com uma superfície lisa                           | 25  |
| Equação 2.18 | $A2$           | Área dos vales, em contato com uma superfície lisa                                      | 25  |
| Equação 2.19 | $Rqvales$      | Parâmetro "Rq" para a região dos vales  | 29  |
| Equação 2.20 | $Rqplateau$    | Parâmetro "Rq" para a região dos plateau  | 29  |
| Equação 4.1  | $Lx$           | Curso   | 48  |
| Equação 4.2  | $La$           | Sobrecurso inferior   | 48  |
| Equação 4.3  | $vc$           | Velocidade de corte   | 49  |
| Equação 4.4  | $\eta$         | Ângulo da direção efetiva   | 49  |
| Equação 4.5  | $vf$           | Velocidade de avanço  | 49  |
| Equação 4.6  | $ve$           | Velocidade efetiva  | 49  |

## Nomenclatura

| <i>Símbolo</i>            | Denominação   | Unidades             |
|---------------------------|---|----------------------|
| <i>A<sub>max</sub></i>    | Área máxima de contato entre a pedra e a peça   | [mm <sup>2</sup> ]   |
| <i>A<sub>min</sub></i>    | Área mínima de contato entre a pedra e a peça   | [mm <sup>2</sup> ]   |
| <i>A<sub>1</sub></i>      | Área dos picos superiores, em contato com uma superfície lisa, segundo DIN EN ISO 13565-2 | [μm]                 |
| <i>A<sub>2</sub></i>      | Área dos vales, em contato com uma superfície lisa, segundo DIN EN ISO 13565-2            | [μm]                 |
| <i>ap</i>                 | Profundidade de corte   | [mm]                 |
| <i>F</i>                  | Força de contato entre a pedra e a peça   | [N]                  |
| <i>F<sub>t</sub></i>      | Força tangencial  | [N]                  |
| <i>F<sub>n</sub></i>      | Força normal  | [N]                  |
| <i>HOR</i>                | Escala horizontal do rugosímetro  | [mm]                 |
| <i>K<sub>1</sub></i>      | Relação sobrecurso superior / comprimento da pedra  | [1/1]                |
| <i>K<sub>2</sub></i>      | Relação sobrecurso inferior / comprimento da pedra  | [1/1]                |
| <i>K<sub>3</sub></i>      | Relação comprimento da pedra / peça   | [1/1]                |
| <i>K<sub>4</sub></i>      | Relação comprimento de contato máximo / comprimento da pedra                              | [1/1]                |
| <i>La</i>                 | Sobrecurso superior   | [mm]                 |
| <i>Lb</i>                 | Sobrecurso inferior   | [mm]                 |
| <i>Lm</i>                 | Distância da camisa a régua   | [mm]                 |
| <i>ln</i>                 | Comprimento de avaliação  | [mm]                 |
| <i>lr</i>                 | Comprimento de amostragem   | [mm]                 |
| <i>Ls</i>                 | Comprimento da régua  | [mm]                 |
| <i>Lt</i>                 | Curso teórico   | [mm]                 |
| <i>Lx</i>                 | Curso   | [mm]                 |
| <i>Lw</i>                 | Comprimento da peça   | [mm]                 |
| <i>Mr<sub>1</sub></i>     | Fração de contato 1, segundo DIN EN ISO 13565-2   | [%]                  |
| <i>Mr<sub>2</sub></i>     | Fração de contato 2, segundo DIN EN ISO 13565-2   | [%]                  |
| <i>n</i>                  | Rotação do eixo árvore da brunidora   | [min <sup>-1</sup> ] |
| <i>OR</i>                 | Distância entre os vales profundos  | [μm]                 |
| <i>P<sub>max</sub></i>    | Pressão máxima de contato entre a pedra e a peça  | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| <i>P<sub>min</sub></i>    | Pressão mínima de contato entre a pedra e a peça  | [N/mm <sup>2</sup> ] |
| <i>R</i>                  | Relação de curso  | [1/1]                |
| <i>Ra</i>                 | Desvio médio aritmético, segundo DIN 4768, ISO 4287/1                                     | [μm]                 |
| <i>Rk</i>                 | Profundidade do núcleo de aspereza, segundo DIN EN ISO 13565-2                            | [μm]                 |
| <i>Rk/Rt</i>              | Profundidade central da área de encosto   | [1/1]                |
| <i>R<sub>max</sub></i>    | Rugosidade máxima, segundo DIN 4768   | [μm]                 |
| <i>R<sub>pk</sub></i>     | Altura do pico reduzida, segundo DIN EN ISO 13565-2                                       | [μm]                 |
| <i>R<sub>p/Rt</sub></i>   | Coefficiente de vazio   | [1/1]                |
| <i>R<sub>pm</sub></i>     | Profundidade média dos picos, segundo DIN 4768  | [μm]                 |
| <i>Rq</i>                 | Desvio médio quadrático, segundo DIN 4762/1E  | [μm]                 |
| <i>R<sub>q</sub>vales</i> | Desvio médio quadrático para a região dos vales   | [μm]                 |

|                            |  |                                      |
|----------------------------|--|--------------------------------------|
| <i>Rqplateau</i>           | Desvio médio quadrático para a região dos plateau            | [ $\mu\text{m}$ ]                    |
| <i>Rt</i>                  | Profundidade máxima da rugosidade, segundo DIN 4771/E        | [ $\mu\text{m}$ ]                    |
| <i>Rtm</i>                 | Profundidade média da rugosidade                             | [ $\mu\text{m}$ ]                    |
| <i>Rvk</i>                 | Profundidade reduzida dos sulcos, segundo DIN EN ISO 13565-2 | [ $\mu\text{m}$ ]                    |
| <i>R3z</i>                 | Rugosidade média do terceiro pico e vale                     | [ $\mu\text{m}$ ]                    |
| <i>Rz</i>                  | Rugosidade média, segundo DIN 47068                          | [ $\mu\text{m}$ ]                    |
| <i>r<sub>tip</sub></i>     | Raio de ponta do apalpador                                   | [ $\mu\text{m}$ ]                    |
| <i>Sm</i>                  | Espaço médio das irregularidades do perfil                   | [ $\mu\text{m}$ ]                    |
| <i>SR</i>                  | Largura dos vales  | [ $\mu\text{m}$ ]                    |
| <i>TP</i>                  | Fração de contato  | [%]                                  |
| <i>VB</i>                  | Escala vertical do rugosímetro                               | [ $\mu\text{m}$ ]                    |
| <i>vc</i>                  | Velocidade de corte  | [m/min]                              |
| <i>ve</i>                  | Velocidade efetiva   | [m/min]                              |
| <i>vf</i>                  | Velocidade de avanço   | [m/min]                              |
| <i>Vor</i>                 | Capacidade de retenção de óleo                               | [mm <sup>3</sup> / cm <sup>2</sup> ] |
| <i>WR</i>                  | Altura dos vales   | [ $\mu\text{m}$ ]                    |
| <i>2<math>\beta</math></i> | Ângulo de cruzamento medido                                  | [ $^{\circ}$ ]                       |
| <i><math>\beta</math></i>  | Ângulo complementar ao ângulo da direção efetiva             | [ $^{\circ}$ ]                       |
| <i><math>\sigma</math></i> | Desvio padrão  | [ $\mu\text{m}$ ]                    |
| <i><math>\eta</math></i>   | Ângulo da direção efetiva                                    | [ $^{\circ}$ ]                       |

## Abreviaturas

|                 |   |
|-----------------|---|
| <i>ABNT</i>     | Associação Brasileira de Normas Técnicas                |
| <i>ANSI</i>     | American National Standard Institute                    |
| <i>APAREM</i>   | Associação Paulista de Retífica de Motores              |
| <i>BAC</i>      | Curva de Abbot, ou curva da área de contato             |
| <i>DIN</i>      | Deutsches Institut für Normung                          |
| <i>FEPA</i>     | Federation of the European Producers of Abrasives       |
| <i>HRC</i>      | Dureza Rockwell C                                       |
| <i>ISO</i>      | International Organization for Standardization          |
| <i>ITD</i>      | Intervalo de Trabalho Diesel                            |
| <i>ITO</i>      | Intervalo de Trabalho Otto                              |
| <i>Laser</i>    | Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation |
| <i>M7</i>       | Filtro de perfil  |
| <i>Perfil P</i> | Perfil da peça  |
| <i>Perfil R</i> | Perfil de rugosidade                                    |
| <i>Perfil W</i> | Perfil de ondulação                                     |

## CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO

### **CAPITULO I – INTRODUÇÃO.**

Nos motores de combustão interna, o sistema pistão, anel de pistão e camisa de pistão é um dos mais importantes conjuntos tribológicos, que tem recebido uma atenção especial dos fabricantes e pesquisadores. Novos métodos e processos de brunimento foram desenvolvidos, visando diminuir as tolerâncias, tempo e o custo na fabricação de camisas de pistão.

Um segmento importante da cadeia automotiva é o da remanufatura dos motores, que normalmente é executado pelas “Retíficas de Motores”. Estima-se que no Brasil existam mais de 2000 empresas deste segmento, sendo que o estado de São Paulo concentra cerca de 300 empresas.

Segundo Sherwood e Shu [*Sherwood & Shu, 2000*], o objetivo do setor de remanufatura é o de reutilizar peças e componentes, diminuindo a quantidade de recursos naturais utilizados e diminuindo a quantidade de lixo industrial gerado. Desta forma, o setor de remanufatura contribui para a melhoria do meio ambiente. As preocupações com o meio ambiente, quanto à utilização de recursos naturais e a disposição do lixo industrial, são crescentes em nossa sociedade, portanto, o projeto de novos produtos deve levar em consideração estes fatos.

Quando da remanufatura de camisas de pistão, um item obrigatório é a usinagem ou troca das camisas do cilindro. Neste sentido algumas questões podem ser levantadas, tais como:

- As superfícies ou texturas produzidas pelas “Retíficas de Motores” estão condizentes com as especificações dos fabricantes de motores?
- As máquinas e os equipamentos, utilizados no processo de brunimento, pelas “Retíficas de Motores”, são adequados?
- Quais são os parâmetros de controle em relação à superfície brunida e como os mesmos são executados?
- Os recursos materiais e humanos são adequados?

## **CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO**

Em função das considerações acima, o presente trabalho pretende:

- Avaliar o processo de brunimento, das camisas de pistão dos motores de combustão interna, feito pelas “Retíficas de Motores”.
- Avaliar a superfície brunida, pelas “Retíficas de Motores” e comparar com as especificações originais.

O presente estudo é amostral, não se pretendendo tirar conclusões a respeito do universo das cerca de 2000 empresas. Assim, o estudo foi conduzido em nove “Retíficas de Motores” de porte médio, situadas na região metropolitana de São Paulo.

Para atender aos objetivos propostos, o presente trabalho foi organizado da seguinte maneira:

- Capítulo I : Introdução.
- Capítulo II : Método, Processo e Controle no Brunimento.
- Capítulo III: Metodologia Experimental.
- Capítulo IV : Resultados e Discussões.
- Capítulo V : Conclusões.
- Capítulo VI : Bibliografia.

**CAPITULO II – MÉTODO, PROCESSO E CONTROLE NO BRUNIMENTO.****2.1 – GENERALIDADES.**

O processo de brunimento caracteriza-se pela remoção do material, no qual os grãos abrasivos encontram-se em constante contato com a superfície da peça. Tem-se assim, uma grande área de contato entre o abrasivo e a peça, baixas pressões e velocidade de corte, [Byrnes & Fischer, 1992; Noaker, 1991], quando comparado aos outros processos que se utilizam de abrasivos, como a retificação.

O brunimento é um processo de usinagem em que o movimento de avanço é executado simultaneamente ao movimento de corte, produzindo na peça, uma superfície cruzada. O ângulo da direção efetiva “ $\eta$ ” caracteriza esta superfície.

A expansão radial é responsável pela profundidade de corte “ $ap$ ”. A Figura 2.1 mostra estas grandezas.

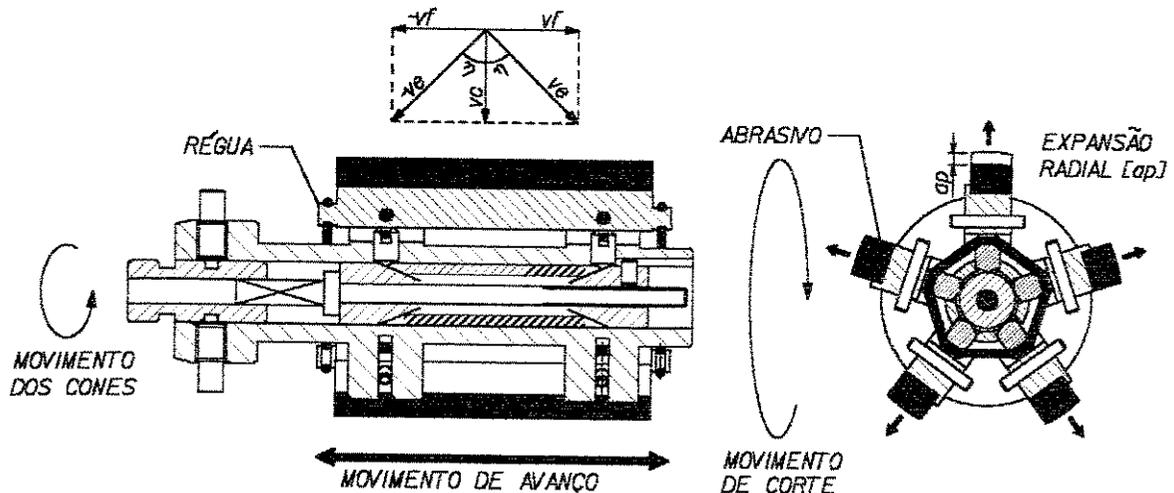


Figura 2.1 – Cabeçote brunidor e movimentos característicos do processo.

Uma importante característica do processo de brunimento refere-se à integridade da superfície após a usinagem. O processo de brunimento é menos agressivo à camada superficial da peça, tal como mostram as Figuras 2.2 e 2.3, em uma comparação com a operação de mandrilamento, na usinagem de um ferro fundido [Byrnes & Fischer, 1993].



Figura 2.2 – Seção de um furo mandrilado.

FONTE: *Byrnes & Fischer, 1993*



Figura 2.3 – Seção de um furo brunido.

FONTE: *Byrnes & Fischer, 1993.*

O processo de brunimento possibilita a obtenção de boas exatidões dimensional e geométrica [Barton & Haasis, 1993; Salje, 1987]. A figura 2.4 ilustra os erros corrigíveis pelo processo. Assim pode-se afirmar que o processo permite [Balasubramanian et all, 1987]:

- Remoção rápida e econômica de partículas, com aquecimento mínimo e distorção mínima;
- Geração de superfícies circunferenciais e de corte retilíneo, corrigindo desvios geométricos anteriores à operação;
- Obtenção do acabamento desejado da superfície, com boa qualidade dimensional.

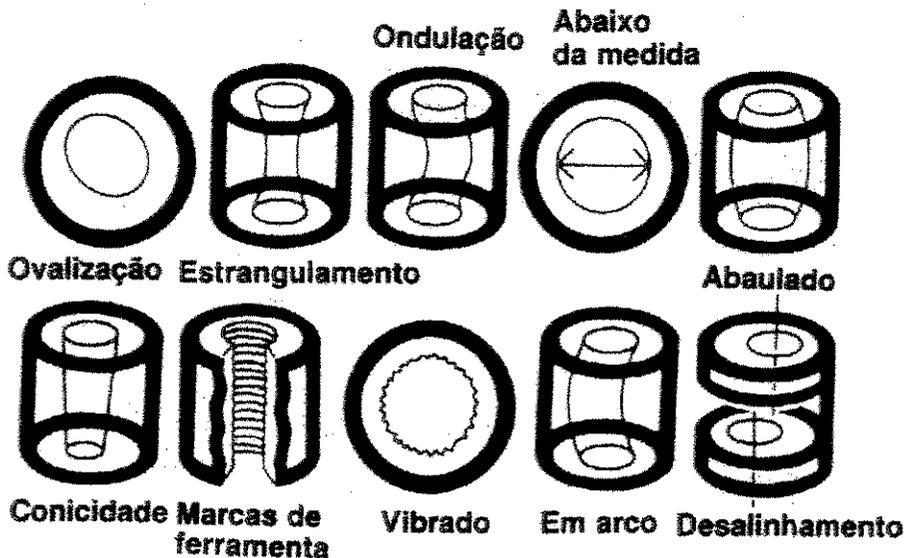


Figura 2.4 – Desvios corrigíveis pelo processo de brunimento.

Fonte: *N.N., Maquinas e Metais, 1995*

Na usinagem, as cristas dos grãos abrasivos penetram na superfície da peça em uma trajetória que ocasiona estados transientes de corte e deformações plásticas na superfície usinada, como demonstrado na Figura 2.5. No início da penetração do grão abrasivo apenas uma pequena porção deste penetra na superfície da peça, não há condições para a formação do cavaco. O material escoava sob e para os lados dos grãos abrasivos, formando rebarbas. A penetração do grão abrasivo na peça continua até que a mesma seja suficiente para ocorrer o cisalhamento do material e a formação do cavaco [König, 1989 e Brülé, 1992]. A profundidade de corte é de 5 a 10 % do diâmetro do abrasivo [Barton & Haasis, 1993]. Esta profundidade de corte é obtida como função da força de expansão radial e das características da ferramenta. A força de usinagem que atua sobre a aresta de corte do grão abrasivo durante a usinagem, pode ser subdividida em duas componentes,  $F_t$ , no sentido do corte e  $F_n$ , normal ao sentido do corte como mostrado na Figura 2.5 [König, 1989 e Brülé, 1992]. As cristas dos grãos abrasivos adjacentes quebram as partículas do material deformado, que são retiradas pelo fluido de corte [Barton & Haasis, 1993].

Os bastões ou pedras de brunimento são ferramentas abrasivas, de forma que, as características dos grãos abrasivos seguem as mesmas classificações usadas, por exemplo, para um rebolo. Assim, para a escolha de uma pedra, vale a mesma premissa, ou seja, a estrutura deve permitir a liberação do grão abrasivo, após um tempo adequado.

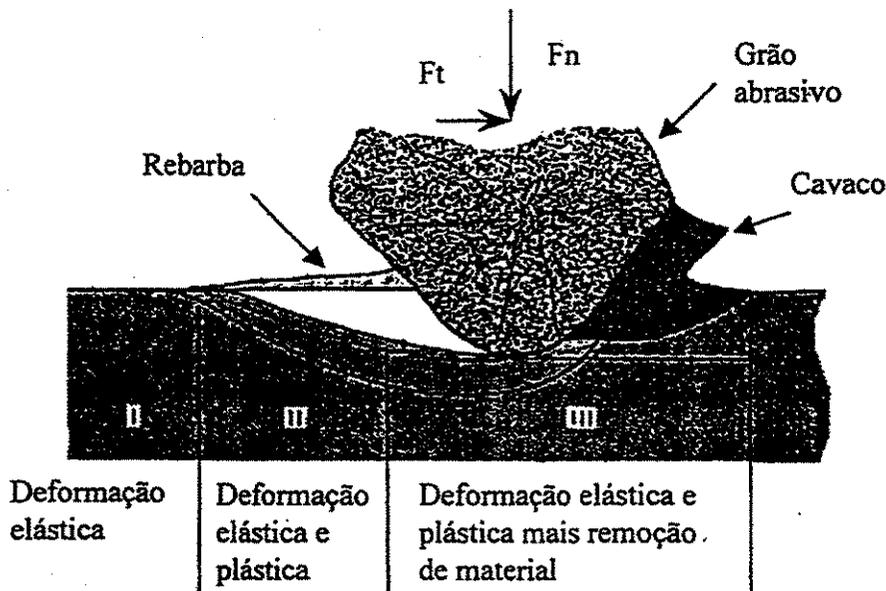


Figura 2.5 – Processo de formação de cavaco no brunimento.

Fonte: König, 1989.

**2.2 – COMPONENTES DO PROCESSO.**

O processo de brunimento é influenciado por dois grupos de grandezas de entrada [König, 1989], quais sejam, o sistema de usinagem, que compreende: as grandezas fixas, ou seja, a máquina, a peça, a ferramenta, o fluido de corte; e os parâmetros de usinagem, que compreendem as grandezas variáveis, ou seja, a cinemática do processo, com os movimentos de corte e avanço, o curso e o tempo de espera. Inclui-se, também, como parâmetros de usinagem a pressão de contato do abrasivo na superfície da peça, a pressão e a vazão do fluido de corte (Figura. 2.6).

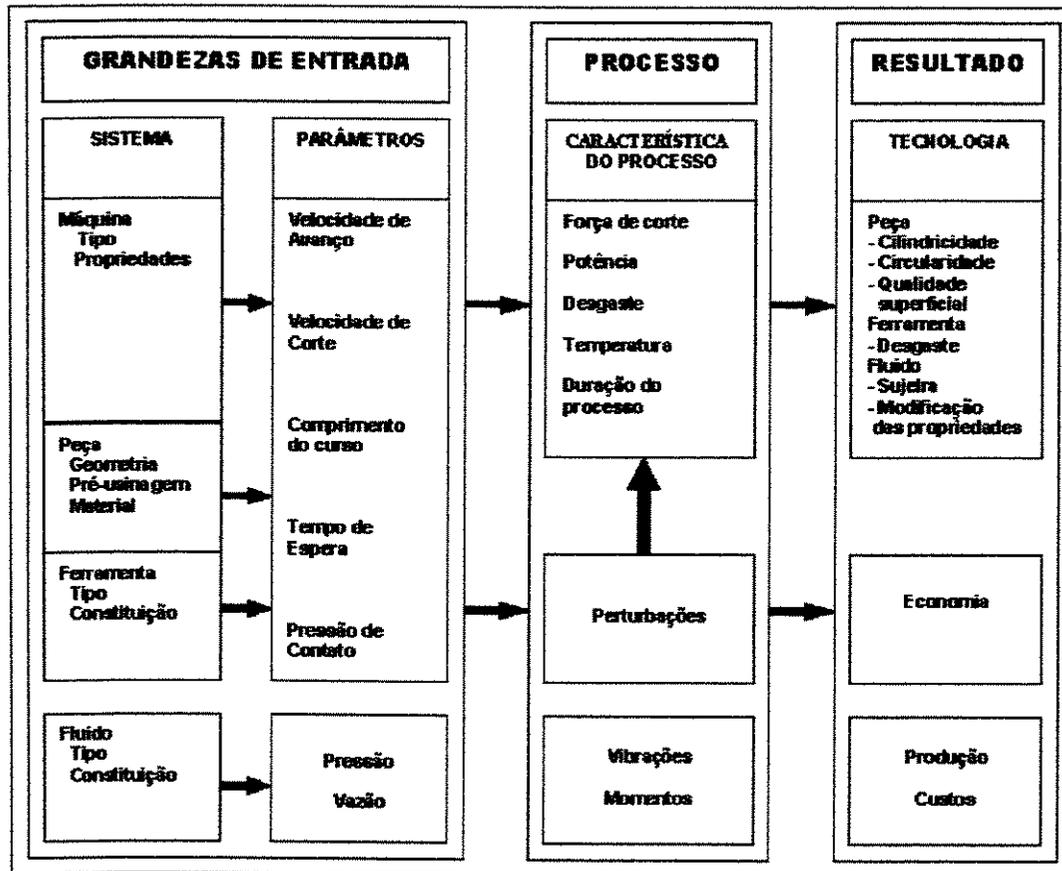


Figura 2.6 Grandezas do processo de brunimento

FONTE: König, 1989.

Neste trabalho não serão descritas as grandezas fixas e as variáveis do processo de brunimento, pois as mesmas já foram estudadas e descritas entre outros por: König [König, 1989]; Brulé [Brulé, 1992], Peres [Peres, 1994], Visque [Visque, 1998], Schmidt [Schmidt, 1999].

**2.3 – BRUNIMENTO PLATAFÓRMICO.**

O brunimento platafórmico, mais conhecido como brunimento “plateau”, é um processo utilizado principalmente em camisas de pistão de motores de combustão interna. Este processo é o resultado de duas operações de brunimento, sendo a primeira operação, chamada de brunimento básico, onde a rugosidade da superfície obtida fica em torno de 8 à 10 micra (Rt). Nesta operação são utilizados abrasivos cerâmicos, de carboneto de silício, com tamanho de grão da ordem de 60 mesh pelo critério ABNT ou ANSI, ou diamantes com tamanho de grão 250 µm pelo critério FEPA. A segunda operação de brunimento, utiliza abrasivos cerâmicos, de carboneto de silício, com tamanho de grão da ordem de 400 mesh pelo critério ABNT ou ANSI, ou diamantes com tamanho de grão 50 µm pelo critério FEPA, por um período de tempo em torno de 10 segundos [N.N., Nagel, sem data]. Em alguns casos não é especificado o tempo, mas sim, o número de cursos do cabeçote brunidor [Santochi & Vignale, 1982]. O brunimento de “plateau” confere às superfícies, produzidas por ele, características dos dois processos de brunimento. [Malburg & Raja, 1993; Spedding & Stout, 1982; Campbell, 1972].

No brunimento de “plateau” a remoção de material, na última operação, é muito pequena, praticamente não alterando a dimensão da peça; portanto, os atributos quanto às tolerâncias de forma, posição e dimensionais devem ter sido conferidos à peça nas operações anteriores. O objetivo é o de remover os picos do perfil, produzidos pela operação de brunimento básico, gerando os “plateau”, que são obtidos pelas variáveis:

- Tipo e granulometria do abrasivo;
- Tempo de operação ou quantidade de passadas.

Segundo Pawlus [Pawlus, 1994], a microgeometria da superfície de uma camisa de pistão é o fator principal, que afeta as propriedades do motor durante o período de amaciamento. Desta forma, a aspereza da superfície inicial afeta o desgaste linear da camisa de pistão durante o amaciamento. Assim, existe uma forte ligação, entre o coeficiente de aspereza de superfície da camisa de pistão ( $R_p/R_t$ ), e a resistência ao desgaste da mesma, no período inicial de vida do motor.

Segundo Pawlus e Santochi & Vignale, [Pawlus, 1994; Santochi & Vignale, 1982], as superfícies que apresentam maior capacidade de retenção real de óleo, garantem maior potência do motor e menor consumo de combustível.

Pawlus [Pawlus, 1994], ensaiou 18 motores dividindo-os em dois grupos, em função do volume de óleo que a superfície podia reter:

- Grupo I - 12 motores- Volume de óleo entre 0,0042 a 0,0112  $mm^3 / cm^2$ .
- Grupo II – 6 motores- Volume de óleo entre 0,0121 a 0,0185  $mm^3 / cm^2$ .

Pawlus constatou que, há uma forte correlação, entre o volume de óleo que uma textura de camisa de pistão pode reter e os parâmetros de operação do motor, potência efetiva, torque efetivo, consumo específico de combustível, para rotações de operação maiores que 4000 rpm. Nesta situação, texturas com maior capacidade de reter óleo apresentaram melhores características de operação.

### **2.3.1 – JUSTIFICATIVAS PARA A UTILIZAÇÃO DO BRUNIMENTO PLATAFÓRMICO.**

O processo de brunimento platafórmico foi desenvolvido para gerar superfícies que se assemelham às superfícies amaciadas, nas camisas de pistão dos motores de combustão interna. De acordo com a literatura, encontram-se as seguintes premissas:

- Os motores de combustão interna possuem um período crítico, que pode ser descrito como o tempo limite, no funcionamento inicial do motor. Neste período crítico ocorrem condições de plena carga, em que a profundidade da superfície é reduzida de maneira a proporcionar uma superfície composta de 20 à 40% de “plateau”[Campbell, 1972].
- Os motores de combustão interna, no início de seu funcionamento, devido ao movimento relativo entre os anéis e a superfície da camisa de pistão, tem sua superfície alterada progressivamente conforme ocorre o desgaste. Estas alterações ocorrem rapidamente no início do período de amaciamento, até que a superfície da área de encosto, chegue a 60% do valor de seu plano. A não ser que alguma anormalidade ocorra, não haverá novos desgastes consideráveis por um tempo considerável[Wills, 1986].

- Durante o período de amaciamento o desgaste causa uma alteração no perfil da superfície. Esta alteração do perfil, em muitos casos, apresenta-se como um nivelamento geral dos picos do perfil. A vantagem de se utilizar o processo de brunimento platafórmico, é que a superfície gerada fica como se fosse “pré-desgastada” antes do funcionamento do motor. Este pré-desgaste tem por efeito reduzir o desgaste de amaciamento. Com a diminuição do desgaste de amaciamento se reduz substancialmente a formação de limalhas metálicas que iriam se misturar ao óleo do motor, e, conseqüentemente se reduz o desgaste dos anéis do pistão. Assim, a vida do motor pode ser aumentada, a eficiência do funcionamento melhorada, e as possibilidades de falhas precoces reduzidas, [Davis & Stout, 1984; Spedding & Stout, 1982].
- O brunimento de “plateau” permite a obtenção de maior potência e menor consumo específico de combustível (Figura 2.7). Conseguem-se também, a diminuição do tempo de amaciamento, tendo os motores alcançados condições estáveis de funcionamento, após um período de 100 horas de funcionamento. [Santochi & Vignale, 1982].

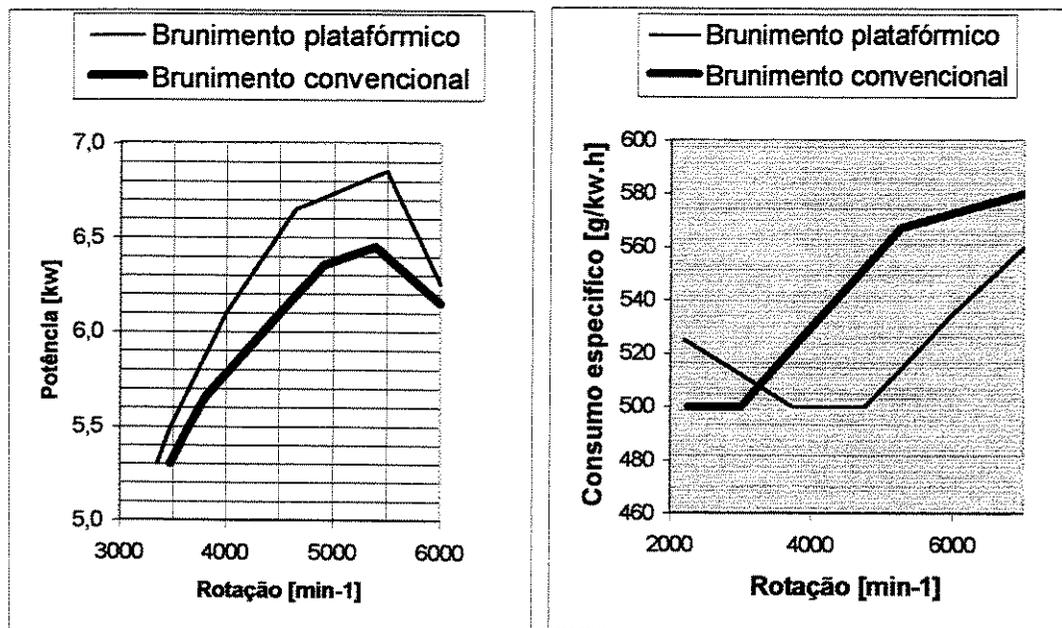


Figura 2.7 – Influência do brunimento de plateau na performance de um motor de combustão interna

FONTE: Santochi & Vignale, 1982

- O processo de brunimento platafórmico está sendo utilizado na usinagem das camisas de pistão dos motores de combustão interna, pois mostrou-se capaz de reduzir significativamente o custoso período de amaciamento, devido ao fato de que pouquíssimas alterações são necessárias na textura, a partir do momento em que a superfície é colocada em uso [Malburg & Raja, 1993].
- Os fabricantes de motores desejam conseguir a mais baixa temperatura possível entre as faces do anel e a parede da camisa de pistão, baixa passagem de gases e uma superfície que possa reter o lubrificante. A redução da temperatura, entre as faces do anel e a parede da camisa de pistão, pode ser alcançada pela redução do atrito ou da quantidade de metal que os anéis precisam remover durante seu processo de acomodação. O acabamento de “plateau” ajuda a diminuir a remoção, e proporciona uma superfície de deslizamento maior, o que por si só, pode reduzir a temperatura, na medida em que reduz a carga sobre o anel. A característica cruzada da superfície ajuda a espalhar o lubrificante para os lados, no curso do pistão, evitando forçar este óleo em direção à câmara de combustão, [Brush, 1978].
- O acabamento adequado, da superfície das camisas de pistão dos motores de combustão interna, pode melhorar expressivamente o tempo de operação, a segurança no funcionamento e a eficiência do motor. Um fabricante de anéis de pistão comparou o amaciamento de quatro motores Chevrolet, utilizando a técnica de medição radiométrica do consumo de óleo, sendo que, em três motores utilizou-se camisas de pistão brunidas que receberam acabamento bruto, médio e fino e o quarto motor, recebeu camisas de pistão gerados pelo processo de brunimento platafórmico. Constatou-se que, o motor com camisas de pistão gerado pelo processo de brunimento platafórmico, consumiu apenas um décimo de óleo e teve 80% menos desgaste nas paredes das camisas de pistão, quando comparado aos demais. [Byrnes & Fischer, 1992; Noaker, 1991].

## **2.4 – BRUNIMENTO FLEXÍVEL.**

Brunimento flexível é um método utilizado após o brunimento convencional ou mesmo após o mandrilamento, atuando por intermédio de partículas abrasivas e elásticas de maneira a não alterar as características geométricas, tais como, cilindricidade, concentricidade, coaxialidade e dimensões da peça, [Miller, 1993]. Este método de brunimento está sendo cada vez mais utilizado como operação adicional, com o objetivo de arredondar os picos da superfície. [Barton & Haasis, 1993].

Pode-se classificar o brunimento flexível em brunimento flexível tipo esferas e brunimento flexível tipo escovas.

### **2.4.1 – BRUNIMENTO FLEXÍVEL TIPO ESFERA.**

O brunidor flexível tipo esfera (Figura 2.8) possui glóbulos abrasivos ligados às pontas de filamentos de nylon flexível. Cada glóbulo abrasivo é composto de múltiplas camadas, que se degradam a uma taxa controlada de exposição contínua das arestas cortantes, [Miller, 1993; Chih & Stango, 1997].

Esta ferramenta possui o diâmetro maior do que o furo onde irá atuar, sendo a pressão de contato obtida por esta diferença de diâmetros. Desta forma, as pressões de contato são baixas, o que proporciona uma taxa de remoção de material menor do que o processo de brunimento convencional. Segundo Miller, [Miller, 1993], em testes realizados, mostrou-se que, as mudanças desejadas na superfície são alcançadas em um intervalo de tempo entre 20 a 30 segundos e que períodos mais longos não proporcionam melhores superfícies. Conforme os picos da superfície vão sendo removidos e a superfície é alinhada, na forma de “plateau”, mais área da superfície entra em contato com o abrasivo e a taxa de remoção de metal diminui. Assim, a baixa força de corte exercida pelos glóbulos abrasivos e o aumento da área de contato durante o processo diminuem a remoção de material, até que a mesma se torne desprezível.

O brunidor flexível de esferas utiliza fluido de corte. O fluido atua como lubrificante, além de aumentar a vida da ferramenta, absorvendo o calor gerado localmente, o que previne o endurecimento do substrato. Forma também uma pasta, com partículas abrasivas desgastadas e resíduos metálicos, mantendo-os em suspensão e facilitando a limpeza.



Figura 2.8 – Brunidor flexível tipo esfera.

Fonte: <http://www.brushresearch.com/fh1.htm> (04/01/2001)

#### **2.4.2 – BRUNIMENTO TIPO CERDAS OU ESCOVAS.**

Existem dois tipos de brunidores tipo escova ou cerdas; um deles consiste de uma vareta giratória, muito parecida com escovas de limpar garrafas, que possui cerdas monofilamentosas de nylon impregnadas de abrasivos. O processo de corte consiste no chicoteamento da superfície da peça, pelos monofilamentos de nylon. O diâmetro da escova é maior do que o diâmetro da peça, sendo a cinemática do processo similar ao brunimento flexível tipo esferas. Este tipo de escova não é utilizado na usinagem de camisas de pistão.

O segundo tipo de brunidor tipo escova consiste em filamentos de nylon impregnados de abrasivos, colocados lado a lado, formando uma seção retangular, com uma altura préestabelecida. Um suporte dá a coesão necessária ao agrupamento de filamentos. O suporte e os filamentos são montados em uma régua porta ferramenta de um cabeçote brunidor, como se fosse uma ferramenta de brunimento convencional.

Segundo Barton & Haasis, [Barton & Haasis, 1993], a operação utilizando escovas produz os seguintes efeitos nas peças:

- A superfície fica livre de partículas soltas de material;
- Os picos da superfície ficam arredondados;
- O diâmetro do cilindro é aumentado em 0.002 a 0.003 mm;
- A rugosidade da superfície decresce 2 a 3  $\mu\text{m}$  em Rz;
- Em peças de ferro fundido a quantidade de flocos de grafite expostos é aumentada;
- Uma operação de brunimento básico e uma escovação subsequente gera uma superfície tipo “plateau”.

**2.5 – NOVAS TECNOLOGIAS NA PRODUÇÃO DE CAMISAS DOS CILINDROS.**

Aproximadamente 15% da energia total produzida em motores de combustão interna é consumida pelo atrito. Destes 15%, cerca de 45% pode ser atribuída ao atrito entre os anéis do pistão e a parede das camisas de pistão. Desta forma, qualquer redução do atrito é desejável, pois se aumenta a eficiência e se queima menos combustível, diminuindo a quantidade de hidrocarbonetos, dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio, lançados para a atmosfera. [Hargreaves & Scott, 1998].

Em função deste fato, o processo de brunimento das camisas de pistão tem sido objeto de pesquisas em todo o mundo, surgindo novos métodos de brunimento tais como: estruturação a laser [Flores & Klink, 1998]; brunimento coaxial [Flores & Klink, 1998; 2000]; brunimento em centros de usinagem [Sess, 1999].

Além das pesquisas específicas, sobre o processo de brunimento das camisas de pistão, esforços tem sido feitos no sentido de melhorar o entendimento do processo, Bardac & Marinescu, [Bardac & Marinescu, 1999], proporam um modelo que caracteriza o processo de micro corte no brunimento com superabrasivos. Flores [Flores, 1998], apresenta um novo processo de solda, por indução, da camada de superabrasivo ao suporte.

Esforços tem sido feitos no sentido de uma melhor compreensão dos mecanismos de desgastes nas camisas de pistão, Jinno et. all [Jinno et. all, 1996] realizaram estudos da influência da rugosidade sobre o modo de atrito e arrasto, sob lubrificação esparsa. Becker & Ludema [Becher & Ludema, 1999] proporam um modelo empírico e qualitativo destes mesmos desgastes.

A utilização do alumínio, na fabricação de motores, ocasiona uma diminuição do peso dos mesmos. Esta diminuição melhora a eficiência do combustível, entretanto, as camisas apresentam pouca resistência ao desgaste.

A baixa resistência ao desgaste do alumínio tem sido contornada utilizando-se de procedimentos tais como: aspersão de plasma; anodização dura e deposição de camadas compostas. Devido as altas tensões térmicas e o severo regime do desgaste, ocorre a separação em forma de laminas das camadas depositadas nas camisas.

Segundo Ghosh et. all [Ghosh et.all, 1999], a formação de uma camada na superfície das camisas de alumínio pela síntese local do MoSi<sub>2</sub>, por intermédio de laser é viável e não apresenta o problema de separação em forma de lâminas das camadas depositadas.

A caracterização da textura das superfícies brunidas foi estudada por Pawlus, [Pawlus, 1998], que comparou a utilização dos filtros convencionais tipo 2RC com os filtros Gaussianos e duplos Gaussianos, dos sistemas que avaliam a rugosidade da superfície. A análise da textura brunida pode ser feita utilizando-se de instrumentos que percorrem a superfície ao longo de uma linha reta, avaliando a sua topografia com um apalpador mecânico ou ótico.

Outro método, mas pouco comum, consiste em inspecionar a superfície por meio de uma câmara, com um sistema de aumento. Estudos foram realizados visando a detecção de defeitos de modo automático, em que as imagens, em nível cinza, são tratadas por algoritmos de processamento de imagem. Estes algoritmos filtram as imagens, separando os sulcos produzidos pelo brunimento da textura de fundo, onde estão “escondidos” os defeitos. A textura de fundo consiste de poros, trincas, escamas, defeitos do material, grafite lamelar, manchas de gordura, metal dobrado, sulcos interrompidos, arestas dos sulcos sujas e corpos estranhos [Beyerer & Jeswiet, 1997].

### **2.5.1 – ESTRUTURAÇÃO A LASER.**

A estruturação a laser (Figura 2.9) é um processo efetuado após o brunimento de desbaste, e, na usinagem de camisas, utilizando a seqüência: brunimento de desbaste, estruturação a laser e brunimento de acabamento [Flores & Klink, 1998]. O objetivo desta metodologia é aumentar a capacidade da superfície em reter óleo, bem como a geração de superfícies platafórmicas. A estruturação a laser pode gerar superfícies diversas conforme mostra a Figura 2.10.

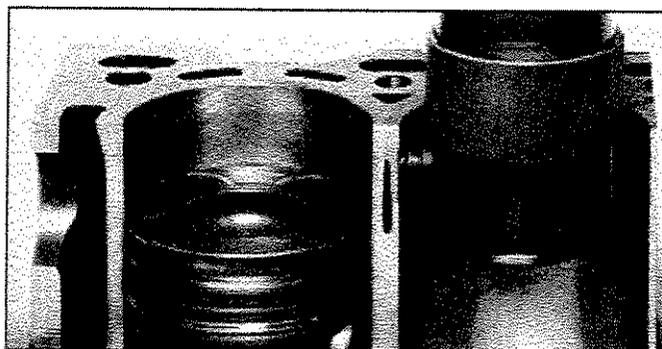


Figura 2.9 – Camisa de pistão “estruturada” a laser e o cabeçote para a execução do processo.

Fonte: N. N., *Diesel Progress*, 1998.

[\(04/01/2001\)](http://www.laurin.com/Content/jun98/tecnslash.html)

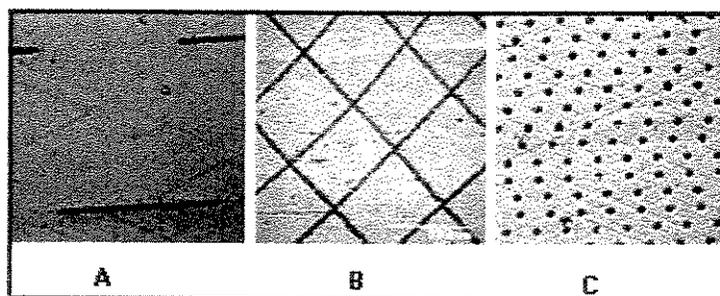


Figura 2.10 – Texturas possíveis de se obter com a estruturação a laser:

A- traços; B- sulcos cruzados; C- pontos.

Fonte: <http://www.gehring.de>(05/09/1999)

A Figura 2.11 mostra uma superfície da camisa, obtida segundo a seqüência mencionada.

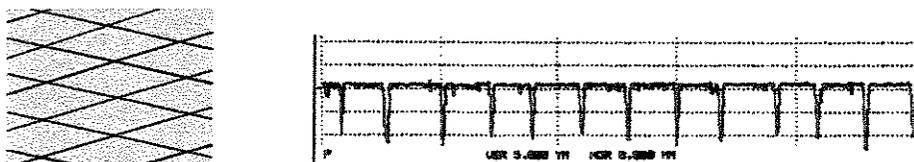


Figura 2.11 – Textura de uma camisa de pistão obtida pela seqüência: brunimento de desbaste; estruturação a laser e brunimento de acabamento.

Fonte: Flores & Klink, 1998.

Segundo Flores & Klink, [Flores & Klink, 1998], a utilização da metodologia nas camisas de pistão dos motores de combustão, ciclo Otto ou ciclo Diesel, apresenta as seguintes vantagens:

- Redução do consumo de óleo;
- Baixo nível de contaminação do catalisador;
- Redução no nível de emissões;
- Redução do desgaste;
- Redução do atrito e do consumo de combustível.

A Figura 2.12 mostra o desgaste nas camisas e nos anéis de pistão, após 330 horas de ensaio. As camisas, em estudo, foram obtidas pelos métodos: convencional; com a estruturação a laser na forma cruzada; com a estruturação a laser na forma de traços. Verificou-se uma sensível redução no desgaste, quando se utilizou a estruturação a laser na forma de traços. Com relação ao consumo de combustível durante o período de amaciamento, não se constatou diferenças significativas entre as superfícies estruturadas. Entretanto, quando comparadas ao processo convencional, as superfícies estruturadas apresentaram uma significativa redução no consumo de combustível, (40g/h para o brunimento convencional contra 15 g/h para a estruturação a laser) [Flores & Klink, 1998].

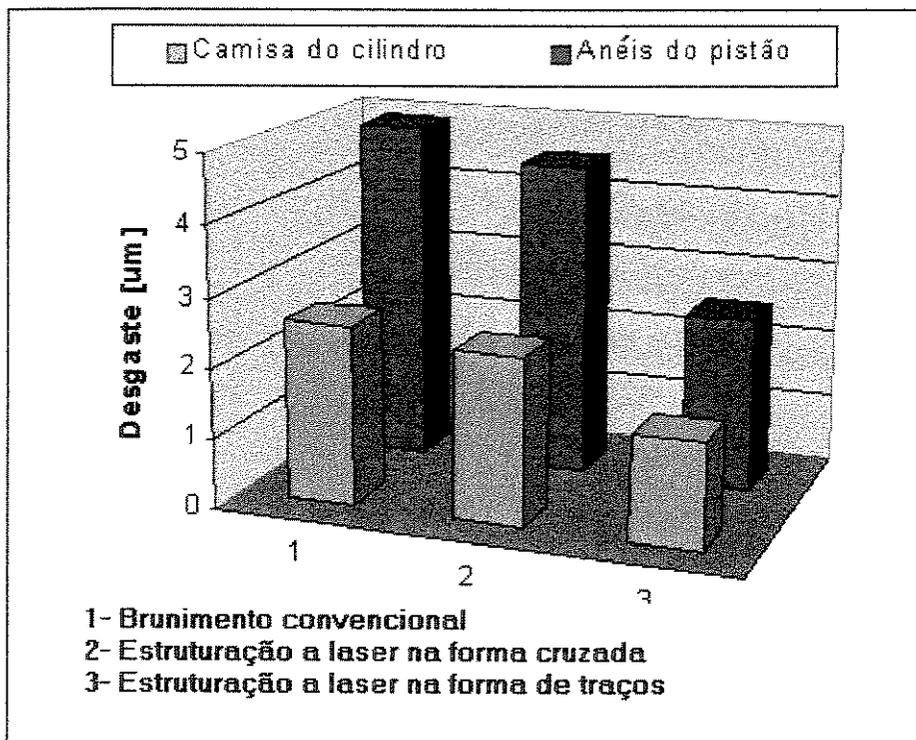


Figura 2.12 – Desgaste das camisas e anéis, em que as camisas foram obtidas por métodos diferentes.

Fonte: Flores & Klink, 1998.

**2.5.2 – BRUNIMENTO COAXIAL**

O brunimento coaxial caracteriza-se pelo fato de efetuar a correção de desvios de coaxilidade, daí advindo a sua designação. O processo de brunimento convencional não permite esta correção, entretanto, utilizando-se de ferramentas e dispositivos especiais é possível realizar estas correções. Flores & Klink, [Flores & Klink, 1998] apresentam um procedimento empregado na usinagem de camisas de pistão de motores de caminhões. Estas camisas são produzidas em ferro fundido, onde a parte superior é temperada, utilizando-se o processo de indução ou laser, obtendo-se durezas da ordem de 45 a 60 HRC, na profundidade de 0.5 mm + 0.5 mm. A têmpera acarreta distorções, ou seja, um desvio de coaxilidade da ordem de 0.2 a 0.3 mm. A seqüência de fabricação proposta é: mandrilamento de acabamento, anterior à operação de têmpera; têmpera por indução ou a laser; brunimento coaxial; brunimento de desbaste; brunimento de acabamento.

O brunimento coaxial (Figura 2.13) utiliza a região não temperada da peça como guia, ou seja, a ferramenta de brunir, é introduzida no interior da camisa e as guias de carboneto são expandidas hidráulicamente e mantidas apoiadas na superfície não temperada com uma pressão adequada. Um sensor pneumático determina o diâmetro do furo na região não temperada e transfere esta informação para o comando da máquina. Iniciando-se o processo de brunimento, o sistema de expansão eletromecânico, que utiliza um motor de passo, movimenta as ferramentas abrasivas coaxialmente, em pequenos passos. Durante o processo, o diâmetro do furo da parte temperada é constantemente monitorado pelo sensor pneumático e o comando compara o valor lido com o valor armazenado, [Flores & Klink, 1998].

Flores & Klink [Flores & Klink, 2000] apresentam uma variante deste processo no brunimento de camisas de cilindros, fabricadas em ferro fundido com grafite vermicular. Este material tem uma resistência maior do que os ferros fundidos normalmente utilizados, além de ser possível substituir o mandrilamento de acabamento por uma operação de brunimento. Neste caso, o brunimento deve corrigir a posição e a perpendicularidade do furo. Para isto, uma bucha de guia localiza a parte superior da ferramenta e um pino de guia, que é coaxial com a bucha, localiza a parte inferior. A ferramenta se encaixa e desliza através do pino e da guia, possibilitando a correção dos desvios geométricos, citados.

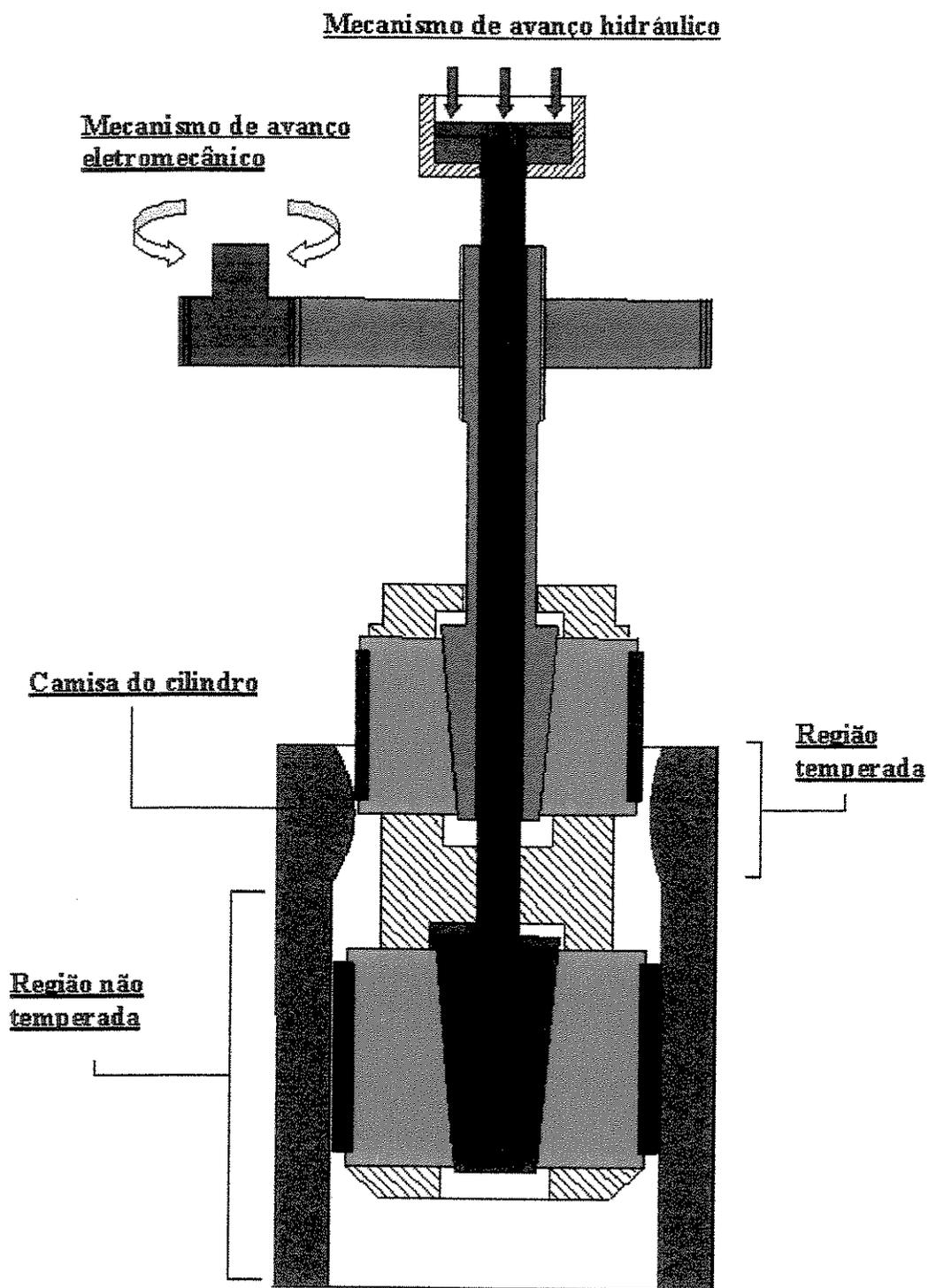


Figura 2.13 – Brunimento Coaxial.

Fonte: Flores & Klink, 1998

**2.5.3 – BRUNIMENTO EM CENTROS DE USINAGEM.**

Concentrar diversas operações de usinagem em um só equipamento traz diversas vantagens. Dentre outras pode-se citar: redução do tempo de passagem ou ciclo; eliminação dos erros de posicionamento e fixação; maior flexibilidade. A junção das operações de torneamento, furação, fresamento e mandrilamento é um procedimento já utilizado nas indústrias. Entretanto, devido ao desenvolvimento de novas ferramentas e processos, é possível, também, a junção das operações de mandrilamento, brunimento e retificação em centros de usinagem [Sess, 1999].

A usinagem das camisas de pistão por este processo é feita em duas operações:

- na primeira, o furo é mandrilado por uma barra de mandrilar, que possui um sistema de medição utilizando raios infravermelhos. O sistema de medição está interligado ao comando da máquina, permitindo controlar a circularidade, a cilíndricidade, a posição e obter furos com tolerâncias de  $\pm 0.005$  mm, e rugosidades da ordem de  $0.2 \mu\text{m}$  ( $R_a$ );
- na segunda, o furo é brunido utilizando-se de um cabeçote de brunir provido de ferramentas com superabrasivos, que têm, por função, produzir a textura cruzada típica do processo de brunimento.

Sess [Sess, 1999], cita como vantagens deste processo: o controle independente de cada furo; o diâmetro e o acabamento da superfície podem ser alterados independentemente um do outro.

**2.6 – DETERMINAÇÃO DO CURSO DA FERRAMENTA.**

Na figura 2.14 estão mostradas as grandezas referentes ao curso da ferramenta brunidora.

A partir desta figura, pode-se relacionar as grandezas como segue:

$$K1 = \frac{La}{Ls} \quad \text{eq. 2.1}$$

$$K2 = \frac{Lb}{Ls} \quad \text{eq. 2.2}$$

$$K3 = \frac{Ls}{Lw} \quad \text{eq. 2.3}$$

$$K4 = \frac{Lw - Ls}{Ls} \quad \text{eq. 2.4}$$

$$Lx = (K1 + K2 + K4)Ls \quad \text{eq. 2.5}$$

$$A_{\max} = Ls.Lk \quad \text{para } Ls \leq Lw \quad \text{eq. 2.6}$$

$$A_{\min} = (Ls - La)Lk \quad \text{para } La = Lb \quad \text{eq. 2.7}$$

$$P_{\min} = \frac{F}{A_{\max}} \quad \text{para } F = \text{constante} \quad \text{eq. 2.8}$$

$$P_{\max} = \frac{F}{A_{\min}} \quad \text{para } F = \text{constante} \quad \text{eq. 2.9}$$

onde:

$A_{\max}$   $\implies$  Área máxima de contato entre a pedra e a peça;

$A_{\min}$   $\implies$  Área mínima de contato entre a pedra e a peça;

$F$   $\implies$  Força de contato entre a pedra e a peça;

$K1$   $\implies$  Relação sobrecurso superior / comprimento da pedra;

$K2$   $\implies$  Relação de sobrecurso inferior / comprimento da pedra;

$K3$   $\implies$  Relação de comprimento da pedra / peça;

$K4$   $\implies$  Relação comprimento de contato máximo / comprimento da pedra;

$La$   $\implies$  Sobrecurso superior;

$Lb$   $\implies$  Sobrecurso inferior;

$Lk$   $\implies$  Largura da pedra;

$Ls$   $\implies$  Comprimento da pedra;

$Lw$   $\implies$  Comprimento da camisa;

$Lx$   $\implies$  Curso;

$P_{max}$   $\Rightarrow$  Pressão máxima de contato entre a pedra e a peça;

$P_{min}$   $\Rightarrow$  Pressão mínima de contato entre a pedra e a peça;

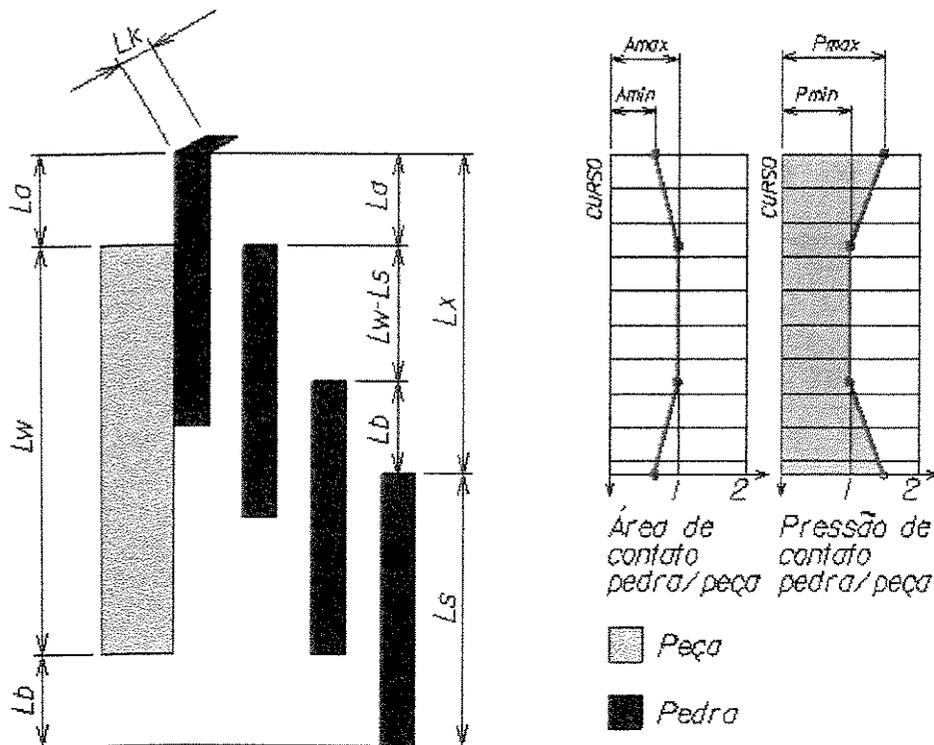


Figura 2.14 – Grandezas relacionadas ao curso da ferramenta.

Na literatura encontram-se recomendações para valores de  $K1$  e  $K2$  em torno de  $1/4$  [Byrnes & Fischer, 1992] a  $1/3$  [Juchen, 1987] e valores de  $K3$  em torno de  $2/3$  para furos passantes [Juchen, 1987].

Adotando-se  $K1 = 1/3$ ,  $K2 = 1/3$  e  $K3 = 2/3$ , pode-se determinar:

$$L_t = L_w - \frac{1}{3}L_s \tag{eq. 2.10}$$

$$R = \frac{L_x}{L_t} \tag{eq. 2.11}$$

onde:

$L_t$   $\Rightarrow$  Curso teórico

$R$   $\Rightarrow$  Relação de Curso

Pode-se ainda relacionar o curso teórico “ $L_t$ ” com o comprimento da peça “ $L_w$ ”, utilizando-se da relação comprimento da pedra/peça,  $K_3 = L_s/L_w = 2/3$ , e substituindo-a na equação 2.10, de onde obtém-se:

$$L_t = \frac{7}{9}L_w \quad \text{eq. 2.12}$$

Utilizando-se da equação 2.5 e substituindo  $L_x$  por  $L_t$  e utilizando-se da relação comprimento da pedra/peça,  $K_3 = L_s/L_w = 2/3$ , e a equação 2.12, pode-se determinar o valor de  $K_4$ , conforme abaixo:

$$L_t = (K_1 + K_2 + K_4)L_s \quad \text{eq. 2.13}$$

$$\frac{L_t}{L_s} = (K_1 + K_2 + K_4) \Rightarrow \frac{\frac{7}{9}L_w}{\frac{2}{3}L_w} = K_1 + K_2 + K_4 \Rightarrow \frac{7}{6} = K_1 + K_2 + K_4 \quad \text{eq. 2.14}$$

Resolvendo a equação 2.14 utilizando-se dos valores recomendados por Juchen [Juchen, 1987], obtém-se  $K_4 = (L_w - L_s)/L_s = 0.5$ .

Pode-se ainda relacionar a área de contato e a pressão de contato entre a pedra e a peça, conforme abaixo:

$$A_{\max} = L_s L_k \quad \text{eq. 2.6}$$

$$A_{\min} = \frac{2}{3} L_s L_k \quad \text{eq. 2.15}$$

$$P_{\min} = \frac{F}{A_{\max}} \quad \text{eq. 2.8}$$

$$P_{\max} = \frac{F}{A_{\min}} \quad \text{eq. 2.9}$$

Substituindo a equação 2.6 em 2.8 e a equação 2.15 em 2.9, para uma força de contato constante obtém-se:

$$P_{\max} = 1,5.P_{\min}$$

eq. 2.16

ou seja, para uma variação de 33,3% da área de contato temos uma variação de 50% no valor da pressão de contato.

Para valores menores de  $L_s$  o valor de  $K_4$  aumenta e a influência do comprimento da pedra, nos erros de conicidade aumenta; para valores de  $K_4$  menores ou iguais a 0,5 o comprimento da pedra não exerce influencia significativa.

Segundo Byrnes & Fischer [Byrnes & Fischer, 1992], sendo o valor de  $L_s$  maior que o diâmetro da peça a ser brunida, o comprimento da pedra não exerce influencia significativa.

Pelo fato dos trechos referentes aos sobrecursos serem de comprimentos menor, comparado com a região do curso, ocorrem, nestas regiões maiores pressões de contato. Este fato leva a uma penetração maior dos grãos abrasivos, na superfície da peça, aumentando-se a taxa de remoção de material. Por outro lado, na região de curso, onde a pressão de contato é menor, a ferramenta fica em constante contato com a peça, o que, da mesma forma que as regiões de sobrecurso, provoca um aumento da taxa de remoção de material. Assim, os efeitos da maior pressão de contato nas bordas se assemelha aos efeitos da maior região de contato, na parte central.

## **2.7 – CARACTERIZAÇÃO DAS SUPERFÍCIES BRUNIDAS.**

Os fabricantes de motores estão colocando no mercado, motores onde a relação peso/potência, cilindrada / potência, consumo/potência estão cada vez menores. Os fabricantes de motores, tem também aumentado o intervalo de garantia. Dada a importância do conjunto tribológico: pistão, anel de pistão e camisa de pistão, em um motor de combustão interna, uma camisa de pistão deve possuir propriedades superficiais tais que evitem danos aos anéis [Santochi & Vignale, 1982]. Para isto o processo mais usual é aquele que conta entre outros, com as operações que geram uma superfície platafôrmica (Figura 2.15 e 2.16).

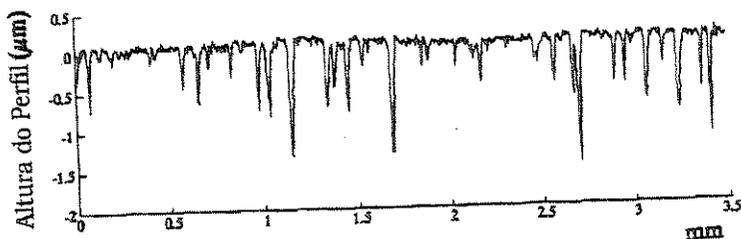


Figura 2.15 – Superfície platafôrmica gerada por operações de brunimento.

FONTE: Malburg & Raja, 1993

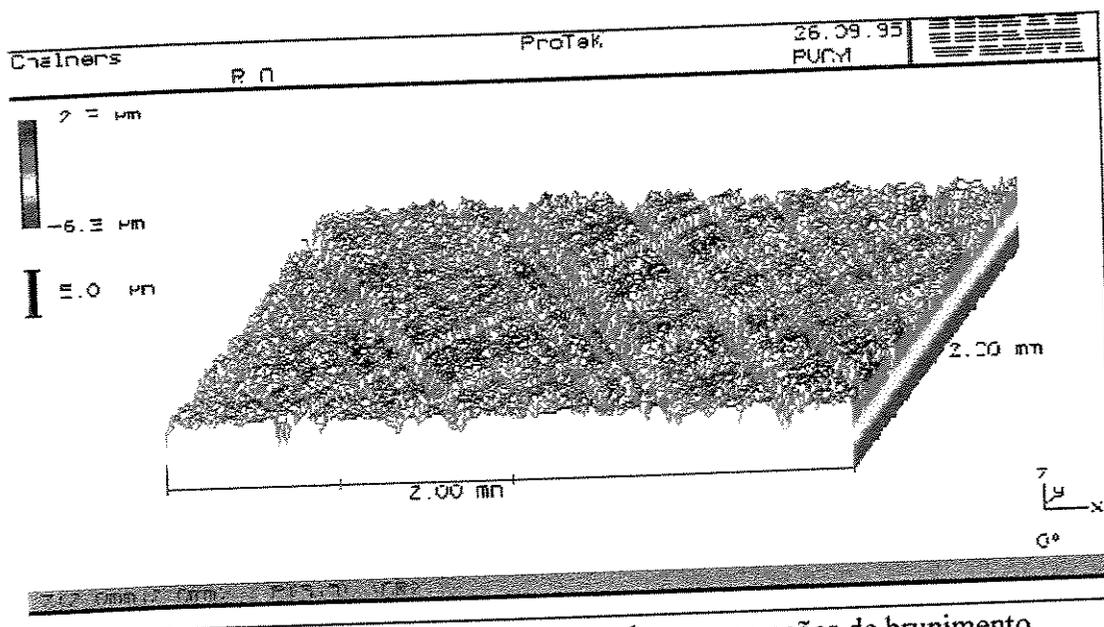


Figura 2.16 – Superfície platafôrmica gerada por operações de brunimento.

Fonte: <http://www.pe.chalmers.se/projects/surf/cvllin.html> (06/01/2001)

Para uma descrição paramétrica completa de uma superfície brunida são necessárias informações referentes à aspereza e configuração do perfil, valores e curvaturas de pico, efeitos de espaçamento, de ondulação e de forma, [Davis & Stout, 1984].

Na literatura pesquisada, há uma tendência em utilizar parâmetros da BAC (Curva de Abbot), para a especificação dos parâmetros de controle da superfície brunida em camisas de pistão dos motores de combustão interna. A utilização dos parâmetros tradicionais baseados somente na altura das asperezas não descreve totalmente a superfície, mesmo sendo a superfície gerada em uma só operação de brunimento.

Para as superfícies geradas por brunimento platafórmico, que são o resultado de dois processos distintos de brunimento, é impossível caracterizar a superfície somente com os parâmetros de altura das aspereza [Santochi & Vignale, 1982]. Entre os diversos métodos propostos, para caracterizar uma superfície produzida por brunimento platafórmico, tem-se o método da norma DIN EN ISO 13565-2 [DIN EN ISO 13565-2, 1998], o método proposto por Malburg & Raja [Malburg & Raja, 1993], e o método proposto por Pawlus [Pawlus, 1994, 1998].

Neste trabalho, na parte experimental, foi utilizado o método proposto pela norma DIN EN ISO 13565-2. Este método, teve grande aceitação, sendo que os rugosímetros fabricados atualmente, possibilitam a determinação direta dos parâmetros, por ela especificados.

### 2.7.1 - METODO DIN EN ISO 13565-2 [DIN EN ISO 13565-2, 1998].

A norma DIN EN ISO 13565-2 caracteriza uma superfície gerada pelo processo de brunimento, aproximando a curva de Abbot para três retas, e, dividindo a textura da superfície em três regiões: a- picos superiores; b- núcleo do perfil; c- vales inferiores (Figura 2.17). A implementação deste modelo é baseada em uma linha de inclinação mínima, obtida para um intervalo de fração de contato igual a 40%. A partir disto, obtém-se os seguintes parâmetros:

$Rk$  - profundidade do núcleo de aspereza;

$Rpk$  - altura do pico reduzida;

$Rvk$  - profundidade reduzida dos sulcos;

$Mr1$  - fração de contato 1; este parâmetro representa o contato dos picos com uma superfície lisa;

$Mr2$  - fração de contato 2; este parâmetro representa o contato dos vales com uma superfície lisa;

$A1$  - área dos picos superiores, em contato com uma superfície lisa;

$A2$  - área dos vales, em contato com uma superfície lisa.

Onde:

$$A1 = \frac{Rpk \cdot Mr1}{2} \quad [\mu m] \quad \text{eq. 2.17}$$

$$A2 = \frac{Rvk \cdot (100 - Mr2)}{2} \quad [\mu m] \quad \text{eq. 2.18}$$

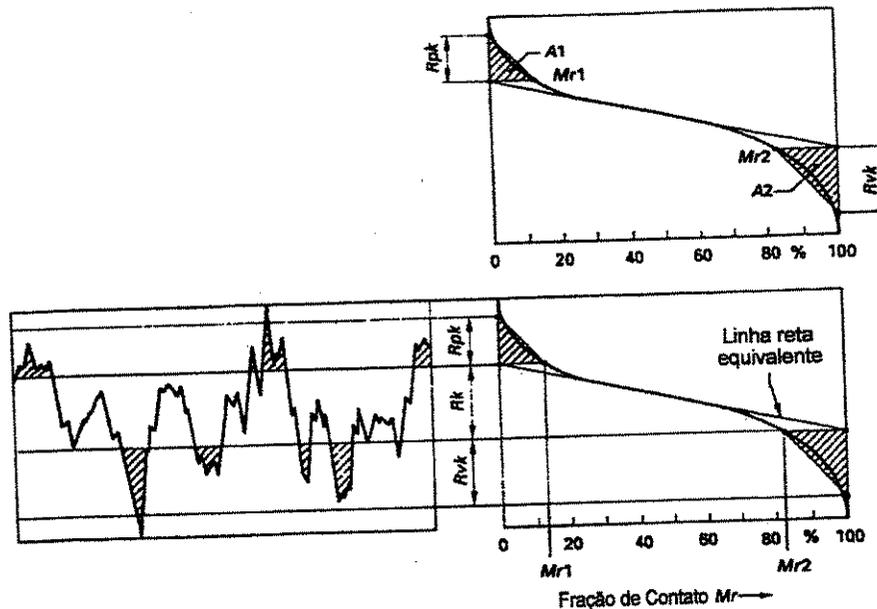


Figura 2.17 – Representação gráfica do parâmetros da DIN EN ISO 13565-2.

FONTE: DIN EN ISO 13565-2, 1998.

**2.7.2.- REPRESENTAÇÃO DA CURVA DE ABBOT EM UMA ESCALA DE PROBABILIDADE NORMAL [Malburg & Raja, 1993].**

Neste método, a curva de Abbot têm no eixo da abscissa, plotado o desvio padrão das alturas das asperezas do perfil em vez da fração de contato (Figura 2.18).

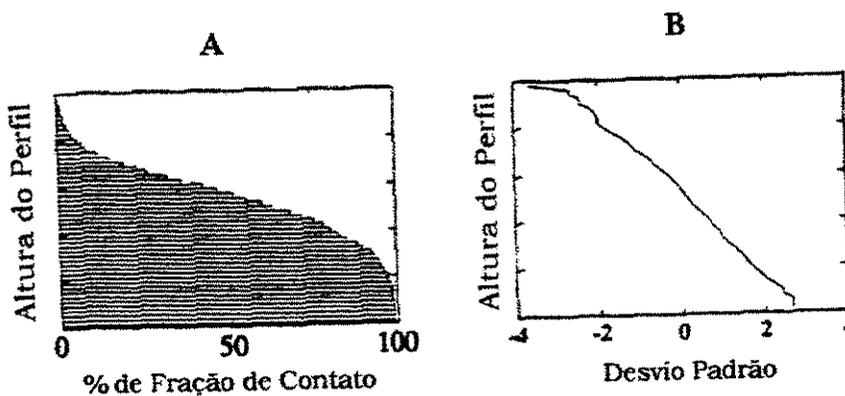


Figura 2.18 – Curva de Abbot: A- eixo da abscissa plotado com a fração de contato; B- eixo da abscissa plotado com o desvio padrão da altura das asperezas do perfil.

FONTE: Malburg & Raja, 1993

Pode-se representar uma superfície gerada por brunimento platafórmico por intermédio de seus perfis, distribuição de amplitude e gráficos de probabilidade, conforme mostrado na Figura 2.19. As Figuras 2.19.a e 2.19.b representam cada operação de brunimento de forma individual e a Figura 2.19.c, representa uma superfície gerada pela combinação dos brunimentos básico e platafórmico. Nota-se, nesta, que, a função densidade de probabilidade se altera pouco, em relação a Figura 2.19b.

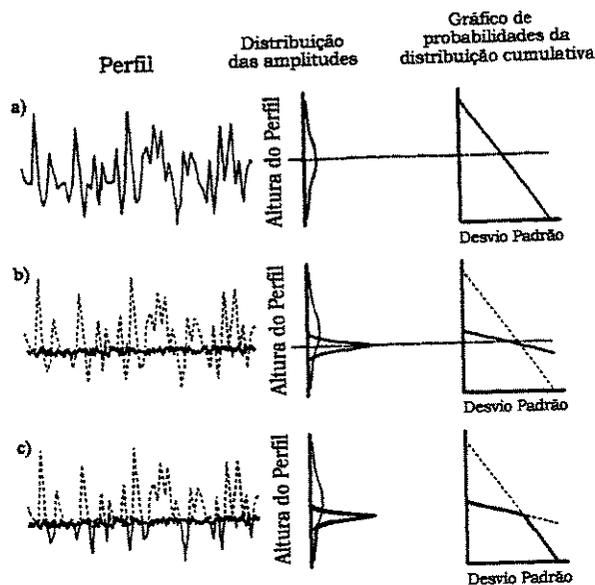


Figura 2.19 – Modelamento de uma superfície produzida por brunimento platafórmico. a- superfície produzida por brunimento básico; b- superfície produzida por brunimento platafórmico desconsiderando o brunimento básico; c- superfície produzida por brunimento básico e por brunimento platafórmico.

*FONTE: Malburg & Raja, 1993*

A distribuição de amplitude e o gráfico de probabilidade mostram evidências de cada operação de brunimento. O gráfico de probabilidade proporciona uma estimativa do valor “ $R_q$ ” para a operação de brunimento básico e platafórmico, pois a declividade de cada linha é o valor do parâmetro “ $R_q$ ”.

De acordo com a Figura 2.20 para o perfil “A”, os pontos “A1” e “A2” são a interseção entre o eixo vertical e as linhas que definem o brunimento básico e platafórmico respectivamente. Os pontos “A1” e “A2” fornecem o valor da amplitude média de cada processo. O ponto “A3” dado pelo cruzamento das linhas que definem o brunimento básico e platafórmico, separa a

região dos vales da região dos “plateau”. Para o perfil “B” valem as mesmas considerações acima.

Os valores de “ $R_q$ ” para cada operação individualmente são importantes no controle do processo. O nível de brunimento platafórmico pode ser avaliado, como sendo a diferença entre as amplitudes médias de cada processo, segmentos de reta  $\overline{A1A2}$  e  $\overline{B1B2}$ , para perfil “A” e “B” respectivamente na Figura 2.20.

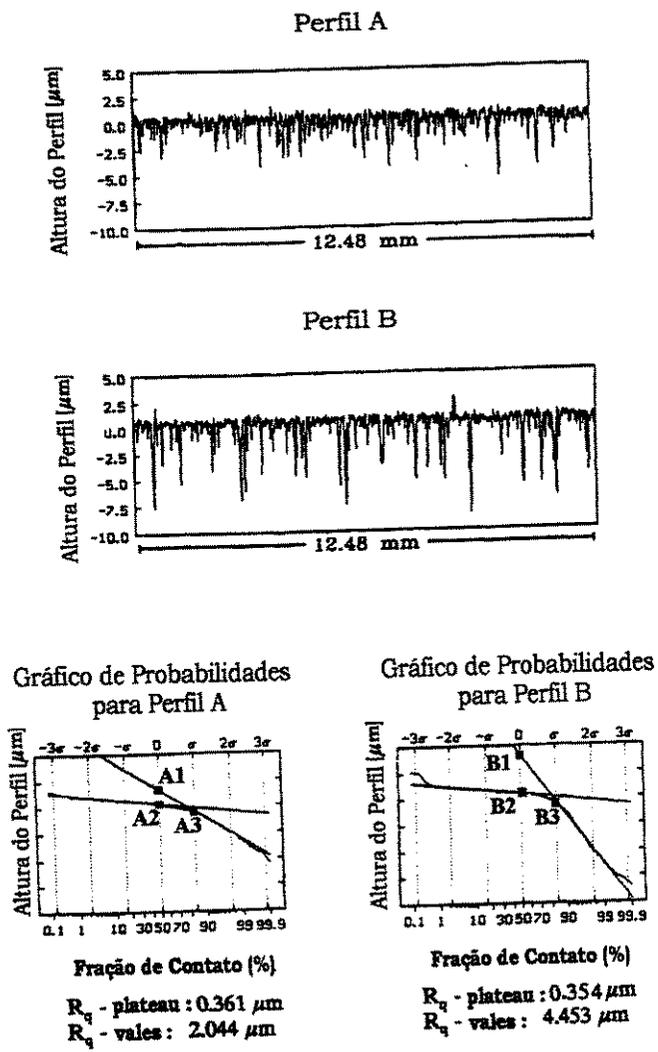


Figura 2.20 – Diferentes texturas geradas por brunimento platafórmico, que foram avaliadas utilizando-se a curva de Abbot, onde o eixo da abscissa foi plotado em uma escala de probabilidade normal, “A1” e “A2” para perfil “A” e “B1” e “B2” para perfil “B” definem a amplitude média do brunimento básico e platafórmico respectivamente, “A3” e “B3” definem a região dos vales e “plateau”.

FONTE: Malburg & Raja, 1993

O ponto formado pela interseção das duas linhas, no gráfico de probabilidades, define a separação entre as texturas geradas por brunimento básico e platafórmico, e fornece um meio de avaliar a capacidade total de conduzir e ou suportar carga da superfície, característica esta que é função primária do “plateau”. O volume de retenção de óleo de uma superfície pode ser medido com base na curva de Abbot, área hachurada na Figura 2.21B, entretanto, o ponto “B1” (Figura 2.21B) é de difícil determinação quando se plota no eixo da abscissa a fração de contato. Mas, onde no eixo da abscissa se plota o desvio padrão das alturas do perfil o ponto “A1” é facilmente determinado conforme mostra a Figura 2.21A.

A partir da Figura 2.21A pode-se determinar o valor do parâmetro “Rq” para a região dos vales e “plateau”, tem-se:

$$Rq_{vales} = \frac{|h2 - h1|}{3\sigma - x\sigma} \tag{eq. 2.19}$$

$$Rq_{plateau} = \frac{|h3 - h2|}{-3\sigma - x\sigma} \tag{eq. 2.20}$$

Para determinar o volume de retenção de óleo para a Figura 2.20A, determina-se o valor de “xσ” e a partir deste o valor de “Mr2” correspondente.

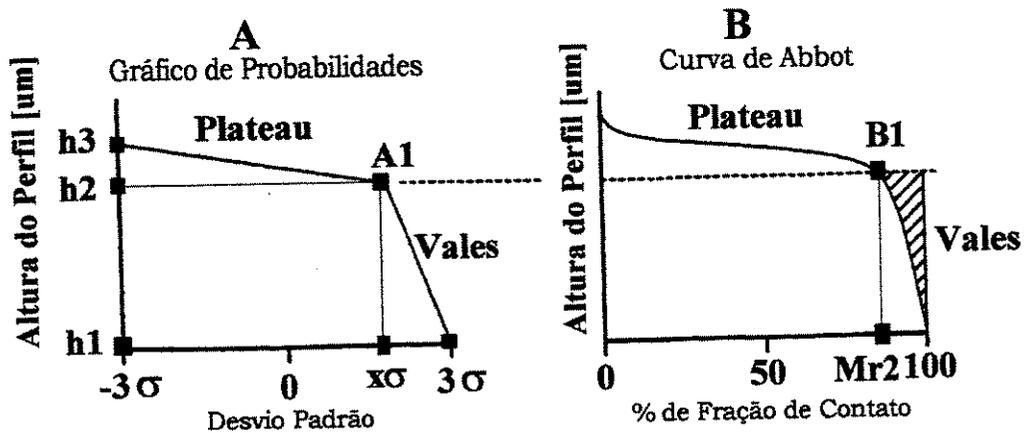


Figura 2.21 – Diferentes formas de plotar a curva de Abbot; A- eixo da abscissa plotado em escala de probabilidade normal e pontos característicos; B- eixo da abscissa plotado em porcentagem da fração de contato e pontos característicos.

FONTE: Malburg & Raja, 1993

### **2.7.3 - MÉTODO PARA A DESCRIÇÃO DE SUPERFÍCIES BRUNIDAS SEGUNDO**

#### **PAWLUS.**

Pawlus [Pawlus, 1994; 1997] após analisar um grande número de cilindros brunidos, com vários tipos de pedras e ferramentas com diferentes desenhos, concluiu que, é possível fazer uma descrição clara e precisa de uma superfície de um cilindro brunido utilizando quatro parâmetros fundamentais: “ $R_p/R_t$ ” chamado de coeficiente de vazio; “ $R_k/R_t$ ” chamado de profundidade central da área de encosto; um parâmetro de amplitude (“ $R_{tm}$ ” ou “ $R_{3y}$ ”); a distância entre os vales profundos, “ $OR$ ”. Para uma descrição mais abrangente incluiu ainda os seguintes parâmetros: capacidade de retenção de óleo “ $Vor$ ”; um parâmetro horizontal da superfície, sendo proposto o parâmetro “ $Sm$ ” (espaço médio das irregularidade do perfil) ou o parâmetro “ $SR$ ” (largura dos vales); altura dos vales “ $WR$ ”. Na Figura 2.22 encontram-se os parâmetros citados acima.

A definição do ponto de passagem entre a região de encosto e a região dos vales profundos é a base para a determinação dos parâmetros “ $Vor$ ”, “ $OR$ ”, “ $SR$ ” e “ $WR$ ”.

**UNICAMP**  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

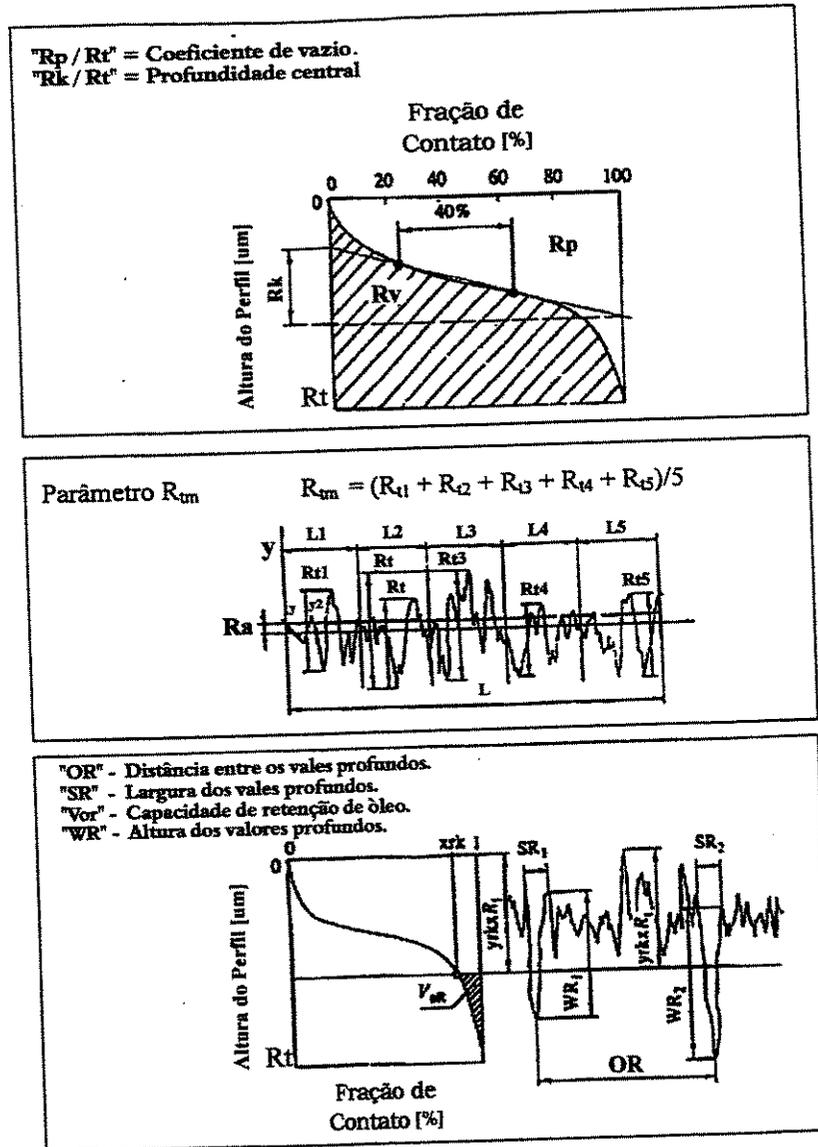


Figura 2.22 – Interpretação gráfica dos parâmetros do perfil segundo Pawlus.

Fonte: Pawlus, 1994.

## CAPITULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 3.1- METODOLOGIA.

Para a consecução dos objetivos propostos, a metodologia empregada na elaboração deste trabalho consistiu nas seguintes fases:

- 1 – Determinação das empresas participantes;
- 2 – Elaboração da planilha de dados;
- 3 – Definição do corpo de prova a ser utilizado;
- 4 – Preparação dos corpos de prova;
- 5 – Execução dos ensaios nas empresas participantes;
- 6 – Execução das medições;
- 7 – Análise dos resultados.

As empresas que participaram deste trabalho foram escolhidas em conjunto com a *APAREM – Associação Paulista de Retífica de Motores*. Os critérios adotados na escolha foram: empresas de porte médio, com no mínimo 40 funcionários, localizadas na região metropolitana de São Paulo e imediações; empresas que em sua planta tivessem todos os equipamentos necessários para a usinagem dos componentes de motores de combustão interna, ou seja, Motor Retificado Completo, conforme especificado na norma “*Execução de Retífica de Motores NBR 13032*”, [NBR 13032, 1993].

Para as finalidades propostas, foram selecionadas nove “Retíficas de Motores”. A Figura 3.1 mostra a distribuição das empresas em função dos tipos de motores remanufaturados e das texturas aplicadas.

### CAPITULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL

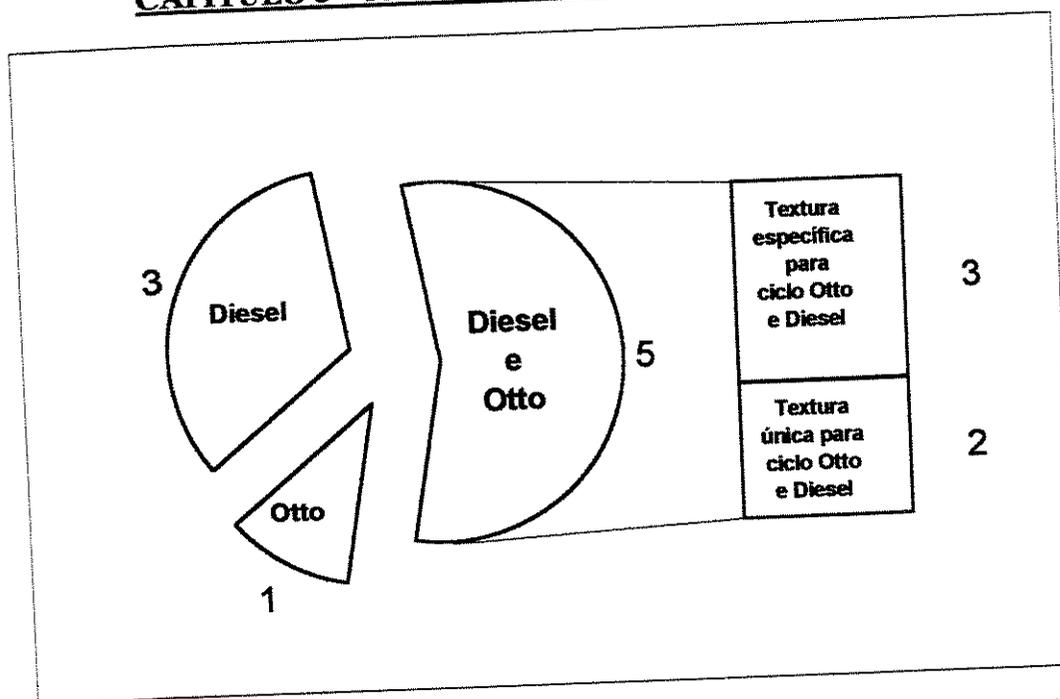


Figura 3.1 – Distribuição das empresas em função dos tipos de motores e das texturas aplicadas.

#### 3.2- PLANILHA DE DADOS.

A planilha de dados foi organizada a fim de possibilitar obter as seguintes informações:

- Dados gerais do processo: operação de usinagem anterior, sobrematerial para a operação de brunimento, desvios na operação de usinagem anterior;
- Tipo de Brunimento: número de operações de brunimento para cada camisa, método e ferramentas para o brunimento de duas fases, desvios na operação de brunimento;
- Ferramentas abrasivas: fabricante, especificação da ferramenta abrasiva, método de seleção das ferramentas abrasivas;
- Fluido de brunimento: tipo, solvente, soluto;
- Sistema de filtragem do fluido de brunimento: tipo de filtragem, elemento filtrante;
- Controle da peça brunida: método e instrumentos para controle dimensional, método e aparelhos para controle da rugosidade, parâmetros de rugosidade utilizados;

### **CAPITULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

- Limpeza da peça brunida: processo de limpeza, processo de secagem, forma de proteção da superfície brunida;
- Brunidora: características construtivas e operacionais;
- Cabeçote Brunidor: características construtivas e operacionais.

#### **3.3- CORPO DE PROVA.**

Os corpos de prova utilizados foram camisas dos cilindros de motores de combustão interna, refrigerados a ar, da marca Volkswagen, cedidos pelas empresas. A escolha do corpo de prova deveu-se às facilidades de obtenção, de manuseio e de transporte dos mesmos.

A Figura 3.2 mostra as características geométricas e dimensionais dos corpos de prova e define os pontos de medição. Eles foram limpos na empresa 1, utilizando-se dos seguintes procedimentos: banho químico; jato com microesferas de vidro; lavagem com óleo diesel; secagem com ar comprimido. Foram numerados, e, tiveram o seu diâmetro interno usinado, em uma mandriladora RCM 340, da marca Mototest, na empresa 1. Após, foi controlado o diâmetro através de seis medições, efetuadas nas partes superior, média e inferior, nas posições 0° e 90° (Figura 3.2). Os corpos de prova que apresentaram diferenças acima de 0,03 mm, entre as dimensões, foram descartados.

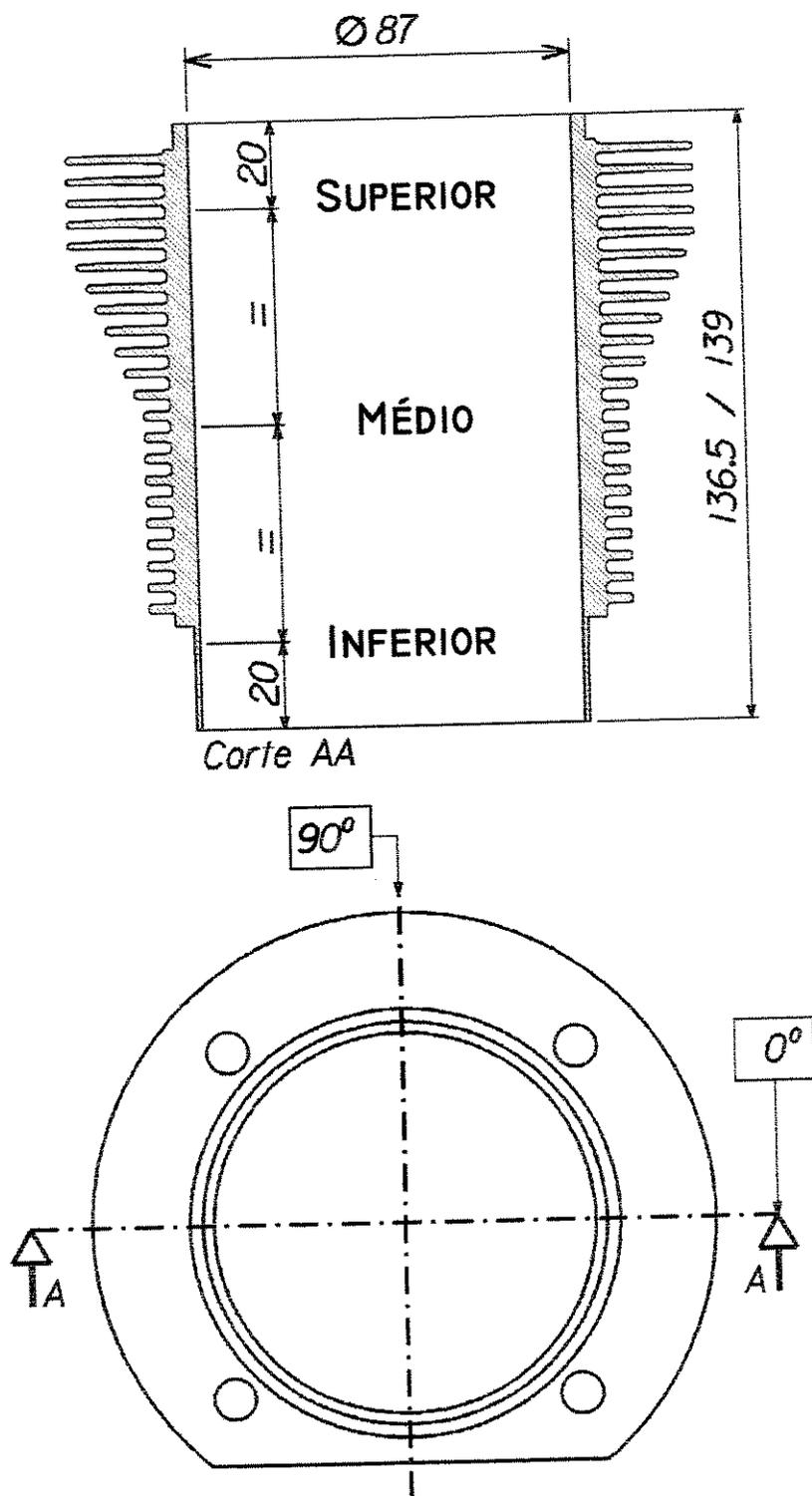
**CAPITULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

Figura 3.2 – Geometria, dimensões e pontos de controle das dimensões dos corpos de prova.

### CAPITULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL

#### **3.4- PROCEDIMENTOS ADOTADOS NOS ENSAIOS.**

Os ensaios utilizaram os seguintes procedimentos: entrevista com o gerente, encarregado e o operador da brunidora, com o objetivo de levantar os dados de usinagem adotados na empresa; levantamento dos dados da brunidora por inspeção e/ou consulta aos manuais; levantamento da especificação das ferramentas abrasivas; levantamento dos instrumentos de controle dimensional; levantamento dos aparelhos utilizados no controle da rugosidade da superfície e os parâmetros utilizados, bem como a fonte de obtenção dos mesmos.

Para as empresas que remanufaturam os motores ciclos Otto e Diesel, e portanto, produzem texturas diferentes, em função do tipo de motor, foram fornecidos dois corpos de prova para cada textura. Para as empresas que produzem uma única textura foram fornecidos três corpos de prova. Foi solicitado que as camisas dos cilindros fossem usinadas de acordo com as especificações internas da empresa, sendo assim, velocidade de corte, velocidade de avanço, sobrecurso inferior e superior, curso do movimento de avanço, cabeçote brunidor, tipo de abrasivo, fluido de brunimento, etc., foram adotados os normalmente utilizados pelas empresas.

A rotação do eixo árvore foi controlada utilizando-se um tacômetro portátil, marca Danaher Controls, modelo HT 100. Os sobrecurso superior e inferior também foram controlados (Figura 3.3).

Durante o processo de usinagem cabia ao operador tomar todas as decisões ou seja, quando efetuar as medições; como efetuar as correções; quando terminar a operação. Após o termino da operação, o relógio comparador interno era aferido para se fazer a medição do diâmetro interno das camisas, nos seis pontos indicados pela Figura 3.2.

### CAPITULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL

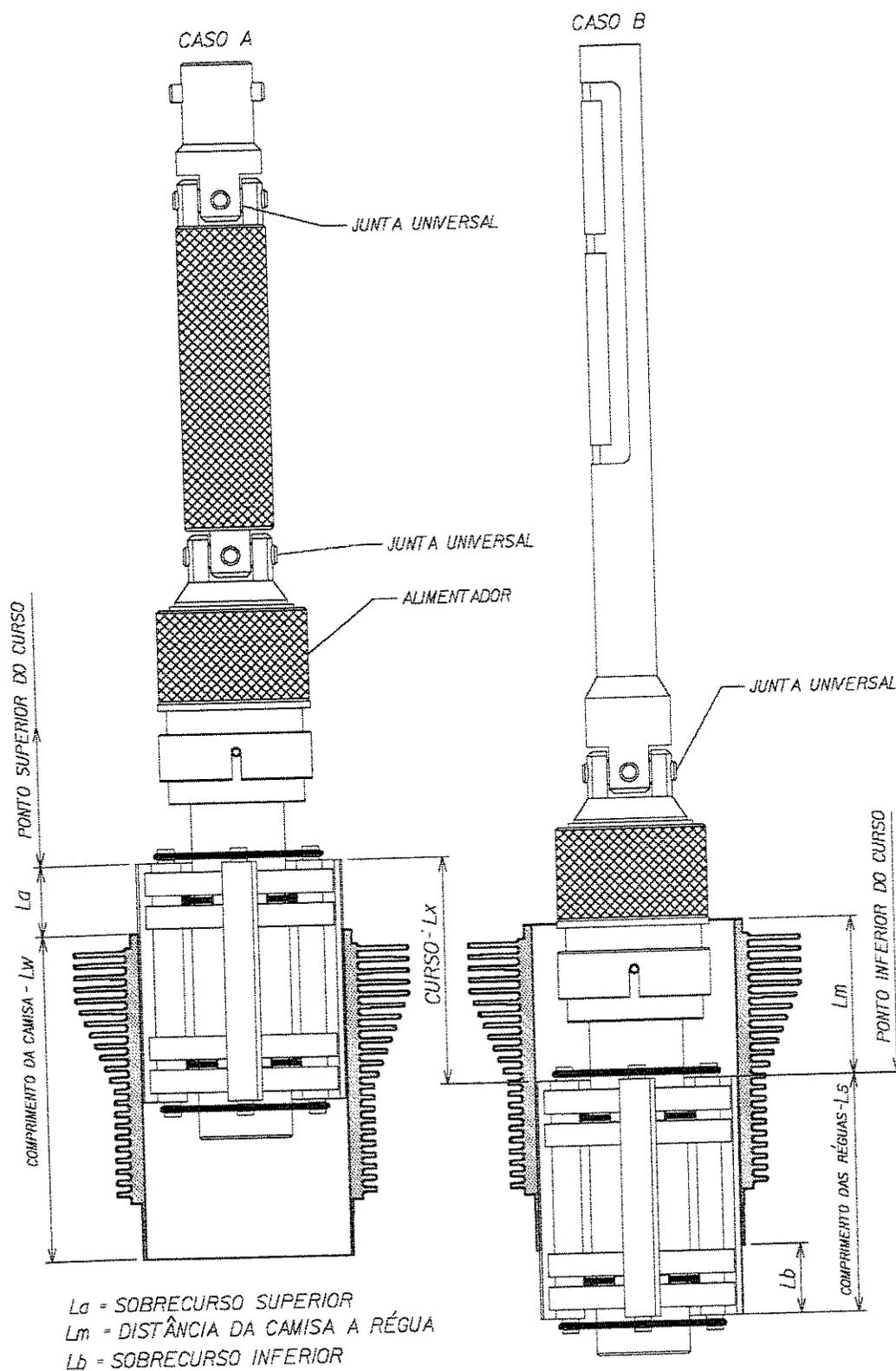


Figura 3.3 – Parâmetros de ajuste da brunidora para os casos “A” e “B”.

A - Cabeçote brunidor com alimentador e duas juntas universais.

B - Cabeçote brunidor com alimentador e uma junta universal

## CAPITULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 3.5- PROCEDIMENTOS ADOTADOS NAS MEDIÇÕES.

#### 3.5.1- MEDIDA DO ÂNGULO DE CRUZAMENTO.

Para se medir o ângulo de cruzamento “ $2\beta$ ” (Figura 3.5), para cada camisa, foi utilizada a técnica da réplica. A réplica da superfície, feita a 20 mm da face superior (Figura 3.4), foi obtida através da utilização de um acetato transparente, com as dimensões 40x30x0,25 mm. O acetato foi atacado com acetona e pressionado durante cerca de 2 minutos contra a superfície brunida. Para a medição do ângulo de cruzamento foi utilizado um microscópio de medição, da marca Carl Zeiss Jena, com capacidade de medição, nos eixos X=100 mm e Y=75 mm. A resolução do equipamento é de 1  $\mu\text{m}$  e 1 segundo de grau.

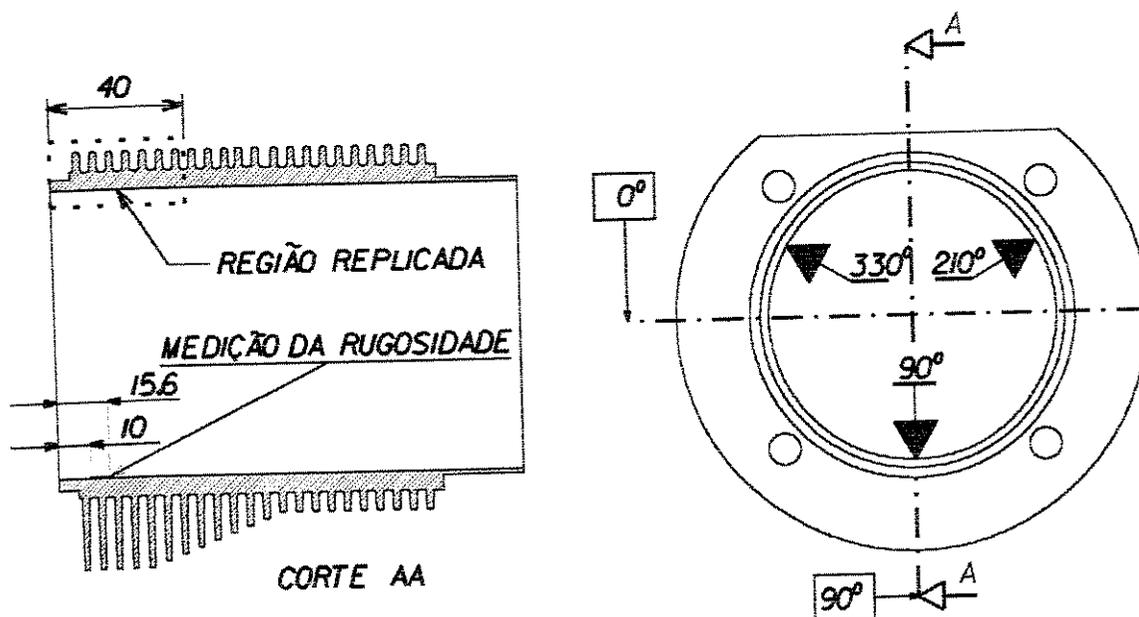


Figura 3.4 –Corpo de prova, onde estão mostradas as regiões de medição da rugosidade e a região replicada para medir o ângulo de cruzamento.

### CAPITULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL

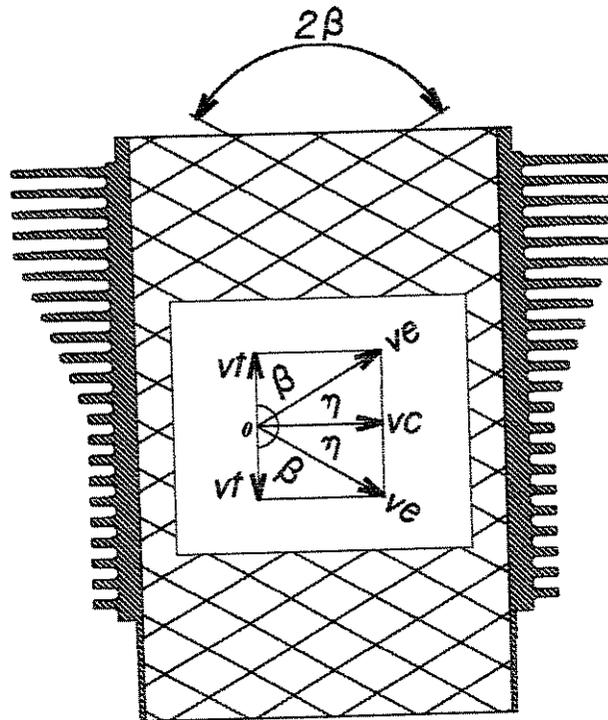


Figura 3.5 - Corpo de prova, onde:  $v_c$  = velocidade de corte;  $v_f$  = velocidade de avanço;  $v_e$  = velocidade efetiva;  $2\beta$  = ângulo de cruzamento medido;  $\eta$  = ângulo da direção efetiva,  $\beta$  = ângulo complementar a  $\eta$ .

#### 3.5.2- MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS DE RUGOSIDADE.

Na determinação dos parâmetros de rugosidade, foi utilizado um rugosímetro de bancada, modelo *PERTHOMETER S8P*, com apalpador modelo *RHT 6-50*, fabricados pela *MAHR*, (Figura 3.6).

Em todas as camisas foram efetuadas três medições ( $90^\circ$ ,  $210^\circ$ ,  $330^\circ$ ) sendo a primeira medição sempre à  $90^\circ$ ; nas medições subsequentes, girou-se a camisa sempre no sentido horário (Figura 3.4).

As variáveis utilizadas para a avaliação da rugosidade foram: comprimento de avaliação,  $l_n$  de 4.0 mm; comprimento de amostragem,  $l_r$  de 0.8 mm; [DIN EN ISO 13565-1 de 1997]; percurso de apalpamento,  $l_t$  de 5.6 mm. Desta forma, o apalpador percorreu a região delimitada pelas cotas de 10.0 a 15.6 mm da face da camisa (Figura 3.4).

O apalpador modelo *RHT 6-50*, utilizado nas medições possui características de acordo com a norma ISO 3274 [ISO 3274, 1996], ou seja, a ponta do apalpador é um cone com ângulo de

### CAPITULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL

60° e raio de ponta,  $r_{tip}$  de 5  $\mu\text{m}$ . Utilizou-se um filtro *M7* que tem como características: gerar uma reta média continuamente calculada, a partir dos dois valores vizinhos do perfil; a característica de transferência é isenta da fase; este filtro transmite em torno de 75% da amplitude [N. N., *Operating Instructions Perthometer S8P, sem data*].

Para todas as medições realizadas foram impressas quatro telas mostradas nas Figuras 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10. Para todas as medições e telas foi utilizado um valor único para a escala vertical,  $VB = 62.5 \mu\text{m}$ ; e um valor único para a escala horizontal,  $HOR = 0.8 \text{ mm}$ .

Na figura 3.7 está mostrada a tela 1, que apresenta o perfil P (perfil da peça), associado com o perfil W (perfil de ondulação). Da mesma forma apresenta os parâmetros de rugosidade característicos para se avaliar uma peça brunida, tais como:  $Rpk$ ,  $Rk$ ,  $Rvk$ ,  $A1$ ,  $A2$ , etc..

Na figura 3.8 está mostrada a tela 2, que apresenta a curva da fração de contato,  $Mr$  (na figura apresentada como TP), traçada para diversas profundidades do perfil (na figura variando de 1,93 à 6,00  $\mu\text{m}$ ).

Na figura 3.9 está mostrada a tela 3, que apresenta a mesma curva anterior, onde para cada porcentagem da fração de contato é calculada a profundidade do perfil.

Finalmente, a Figura 3.10 representa a tela 4, que mostra o perfil R (perfil de rugosidade) com os vários parâmetros determinados ( $R3z$ ,  $Rq$ ,  $Rmax$ , etc.).

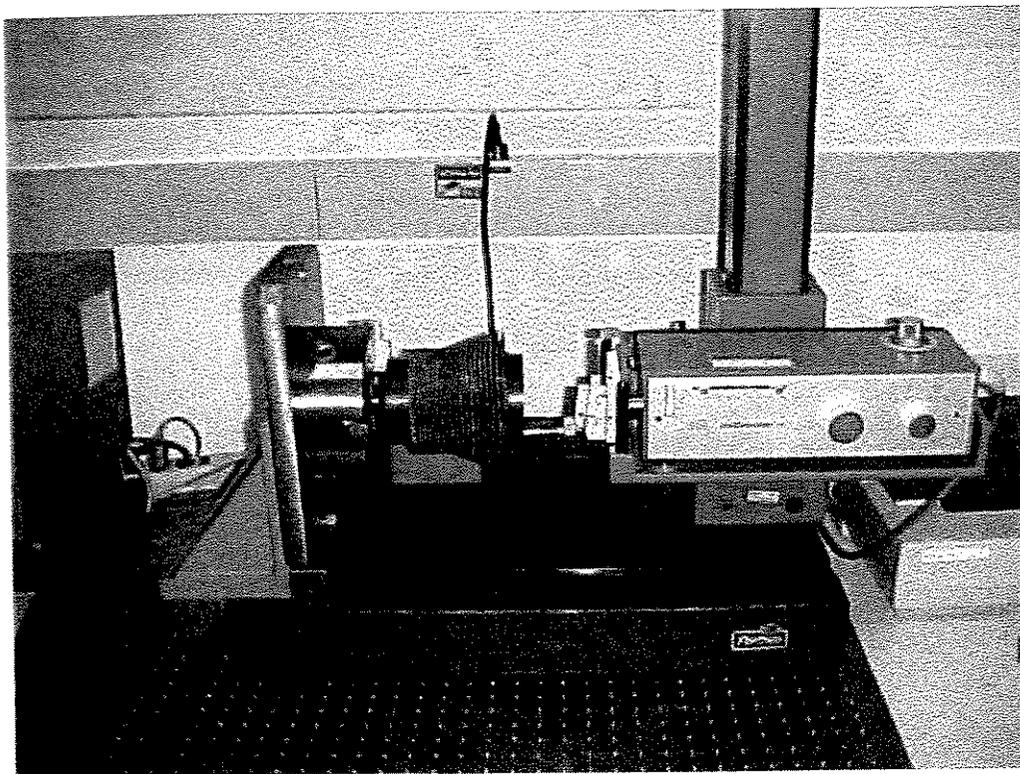


Figura 3.6 – Montagem da camisa de pistão no sistema medidor de rugosidade.

**CAPITULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

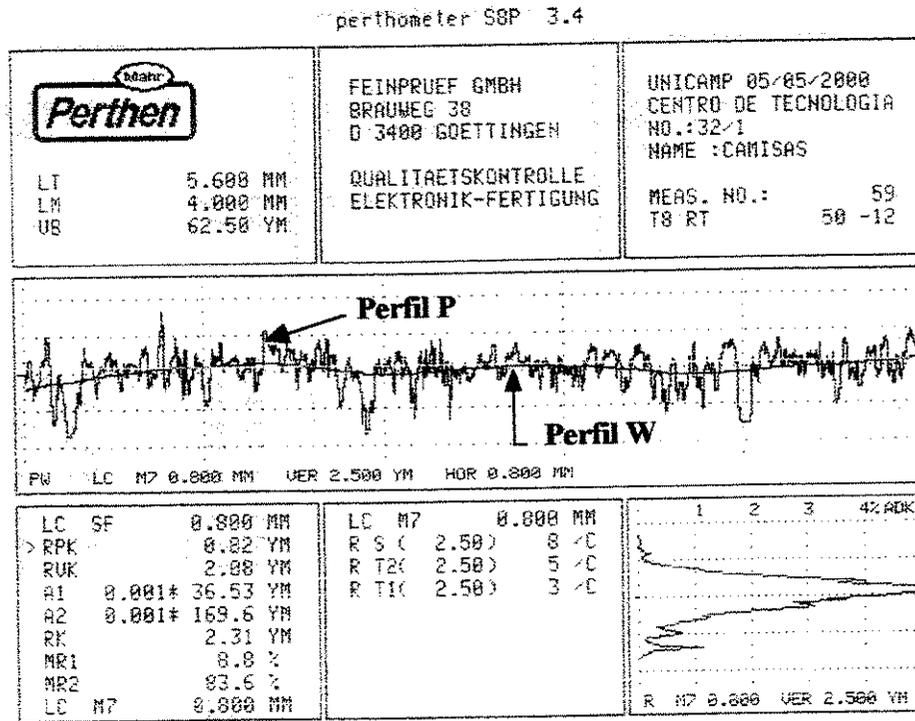


Figura 3.7 Perfis P e W sobrepostos e parâmetros característicos de superfícies brunidas – Tela 1.

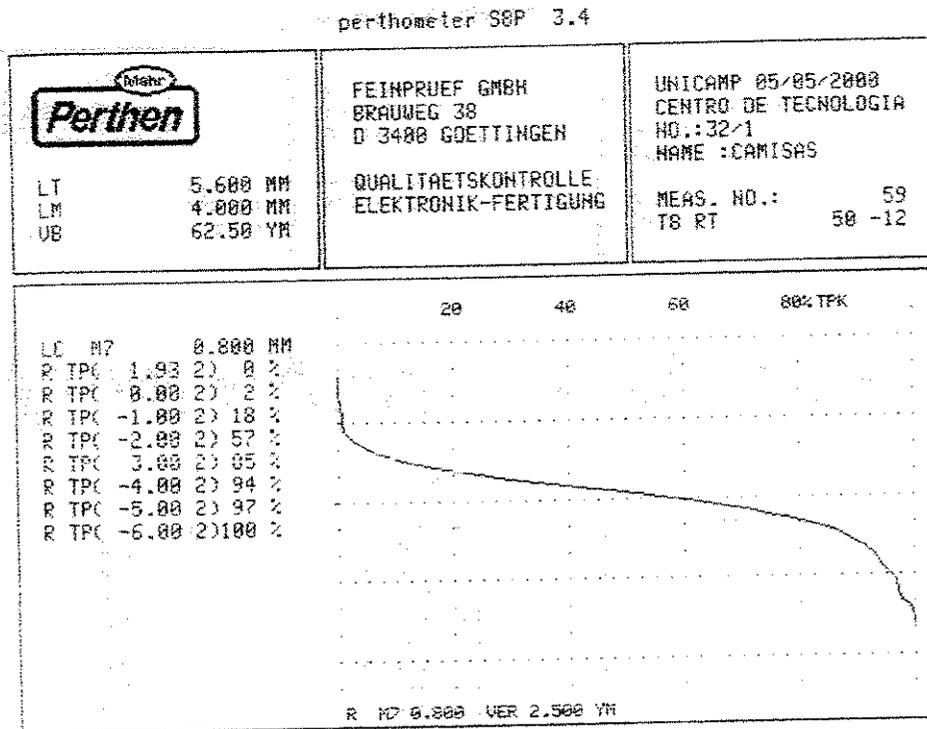


Figura 3.8 Curva da fração de contato, determinada para várias profundidades de perfil – Tela 2.

## CAPITULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL

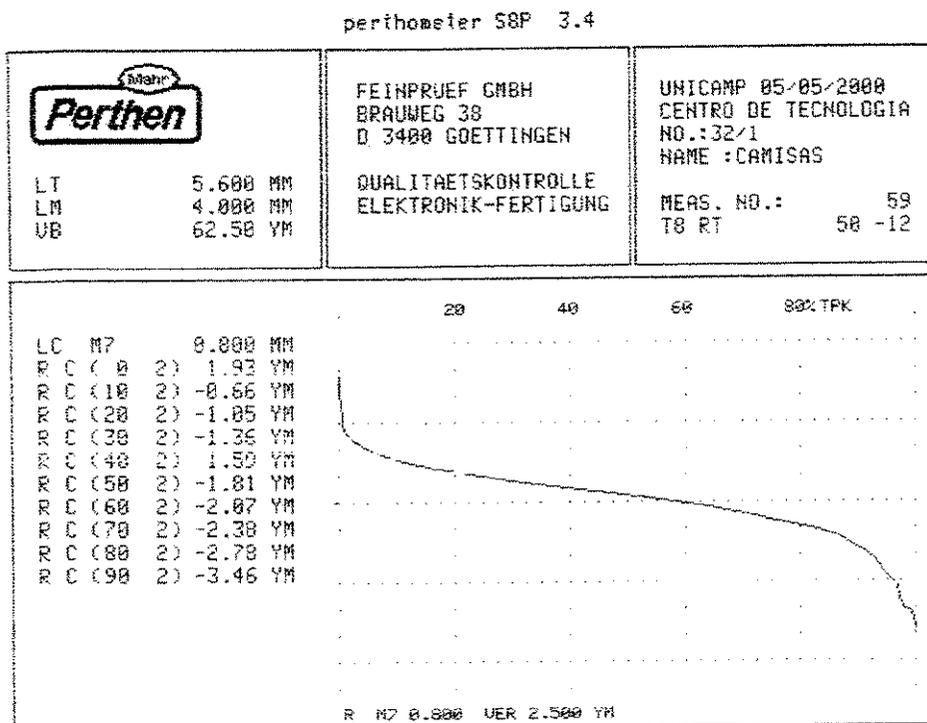


Figura 3.9 Curva da fração de contato e determinação das profundidades de perfil, a partir da mesma – Tela 3.

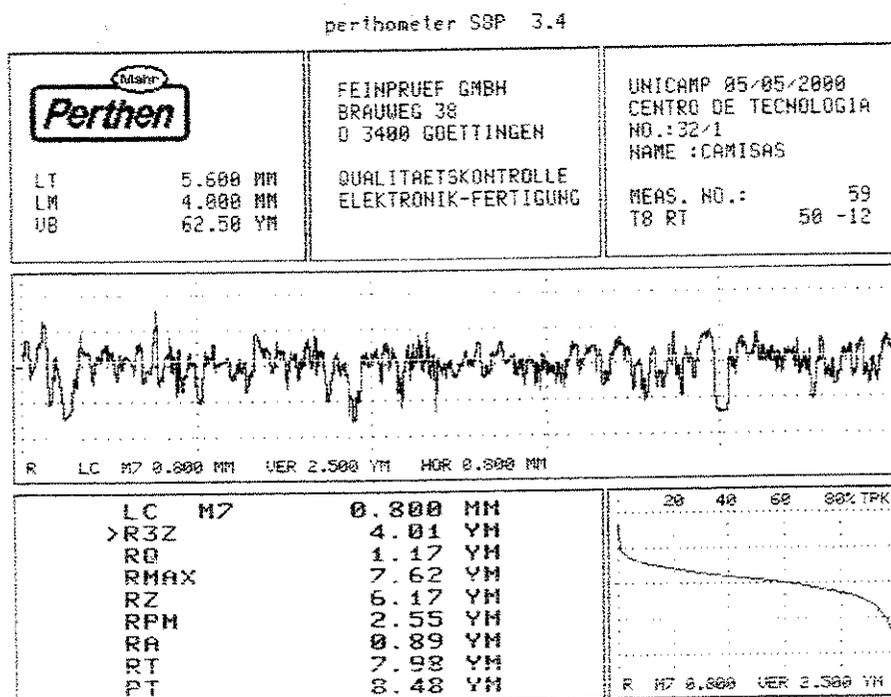


Figura 3.10 Perfil de rugosidade R e parâmetros de rugosidade – Tela 4.

## **CAPITULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.**

Conforme a metodologia empregada na realização deste trabalho e apresentada no capítulo 3, os dados levantados durante os ensaios foram arranjados na forma de quadros e tabelas, que se encontram nos anexos.

### **4.1 – AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE BRUNIMENTO.**

Analisando-se os dados do processo anterior ao brunimento, informados pelas empresas, verifica-se (Figura 4.1):

- Sobrematerial: os sobremateriais deixados pelo processo anterior para serem eliminados no brunimento foram variáveis, havendo coincidência entre as empresas: 2, 3, 5 e 6 com sobrematerial de 0,04 mm; 4, 7 e 9 com sobrematerial de 0,05 mm; 1 e 8 com sobrematerial de 0,03mm (ciclo Otto);
  - Desvios deixados pelo processo anterior: os desvios provocados pelo processo anterior variaram de 0,01 mm (empresas 1, 3, 5, 6, 7, 8) à 0,03 mm (empresa 4);
  - Desvios deixados pelo processo de brunimento: os desvios obtidos variaram de 0,005 mm (empresa 1) à 0,02 mm (empresa 2). A maioria das empresas (empresas 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9) deixaram um desvio da ordem de 0,01 mm.
- Obs.: os desvios citados acima referem-se à circularidade e conicidade.

A Figura 4.2 mostra como as empresas controlam as características microgeométricas. Observa-se que três empresas fazem o controle visualmente de forma totalmente subjetiva. As demais utilizam o rugosímetro, monitorando os diversos parâmetros. Os valores de referência, para aprovação ou reprovação das camisas é dado, em alguns casos, pela Tabela Albarus (Anexo 3).

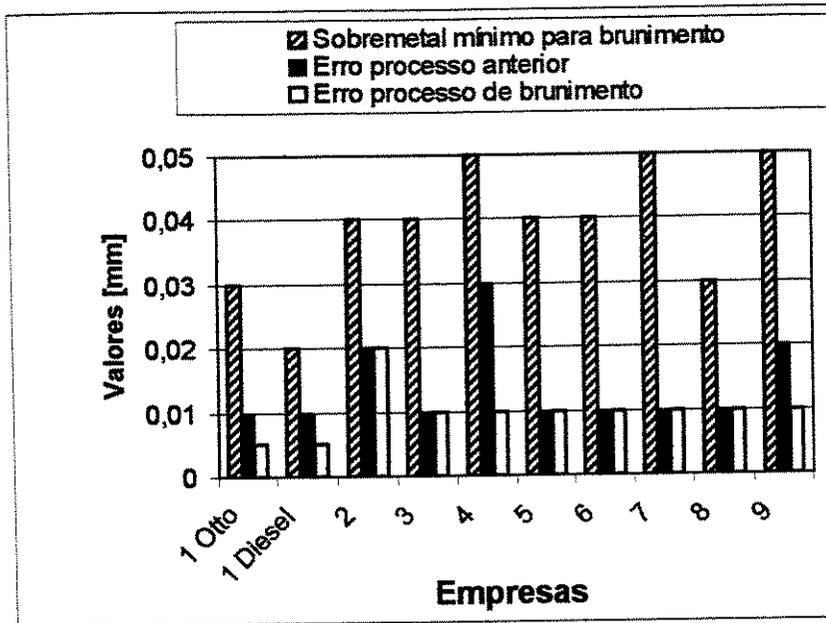


Figura 4.1 – Desvios dimensionais obtidos pelo processo anterior ao brunimento. A empresa 1 possui dois dados pelo fato de adotar valores diferentes para motores ciclo Otto e Diesel.

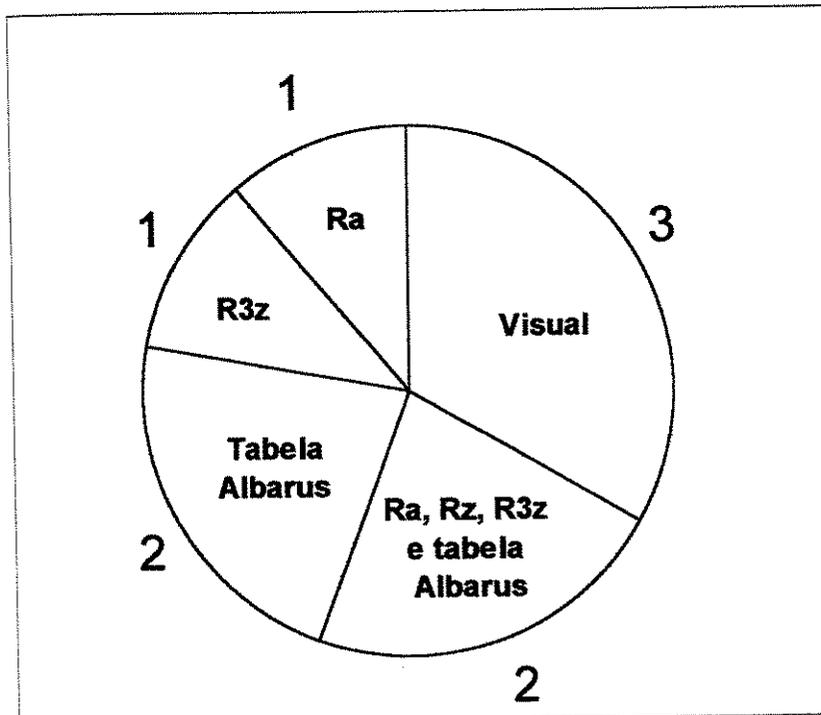


Figura 4.2 – Distribuição das empresas segundo o controle utilizado para caracterizar os desvios microgeométricos.

A Figura 4.3 mostra os fluidos de brunimento empregados pelas empresas estudadas, e a Figura 4.4 mostra os sistemas de filtragem utilizados. Nota-se que a maioria, seis empresas, não utiliza qualquer meio de filtragem. Nas condições ocorre a substituição freqüente do fluido de corte, causando danos ao meio ambiente. Das três empresas que empregam um sistema de filtragem, apenas as máquinas da empresa 8 possuíam um sistema de filtragem original da fábrica. As outras duas, adaptaram o sistema de filtragem.

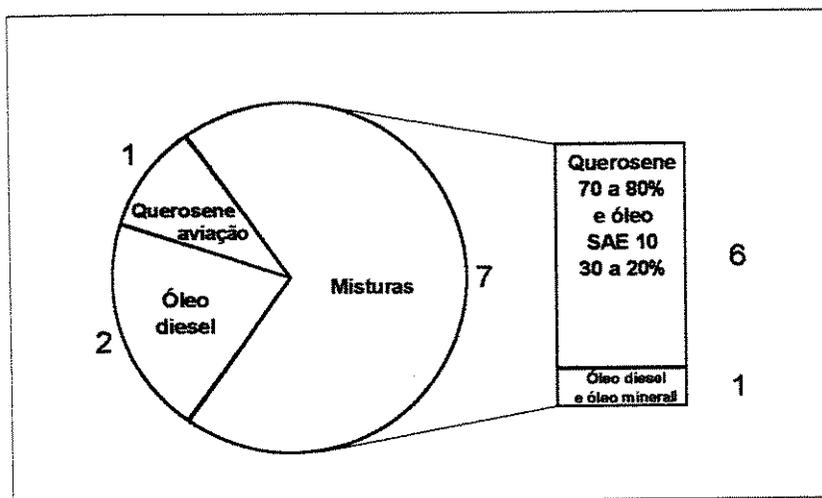


Figura 4.3 – Fluidos de brunimento utilizados nas empresas estudadas.

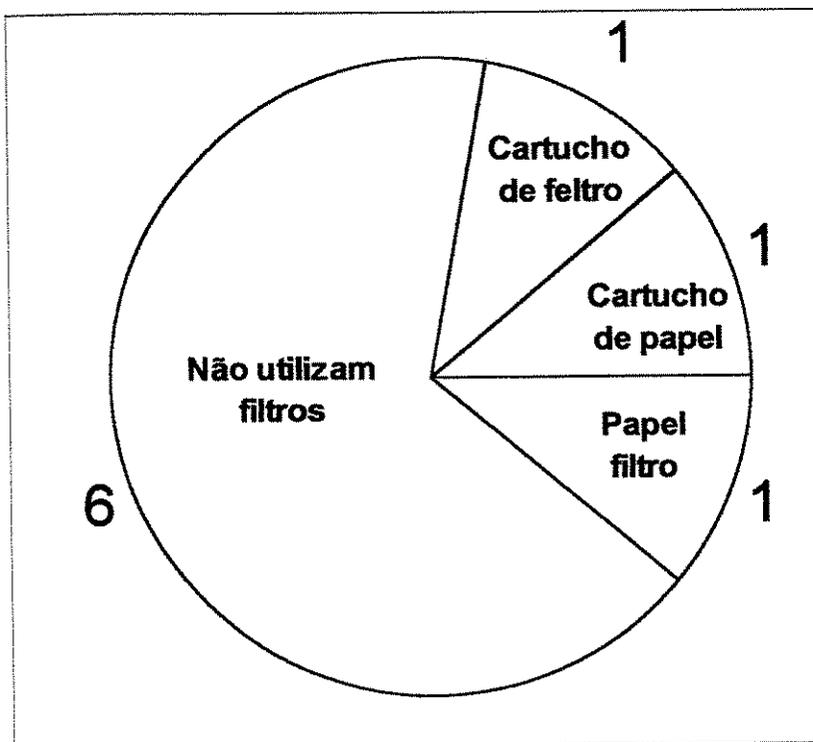


Figura 4.4 – Sistemas de filtragem utilizados.

A Figura 4.5 mostra a quantidade de brunidoras por empresa, notando-se que seis empresas possuem só uma brunidora. Vale ressaltar que as empresas 5 e 6 remanufaturam apenas motores ciclo Diesel; as empresas 3, 4, 7, 9, remanufaturam motores ciclo Otto e Diesel. Três empresas possuem duas máquinas, entretanto, a empresa 1 tem uma máquina dedicada à geração de texturas Otto e outra às texturas Diesel. A empresa 2 apenas remanufatura motores ciclo Otto. A empresa 8 apenas motores ciclo Diesel.

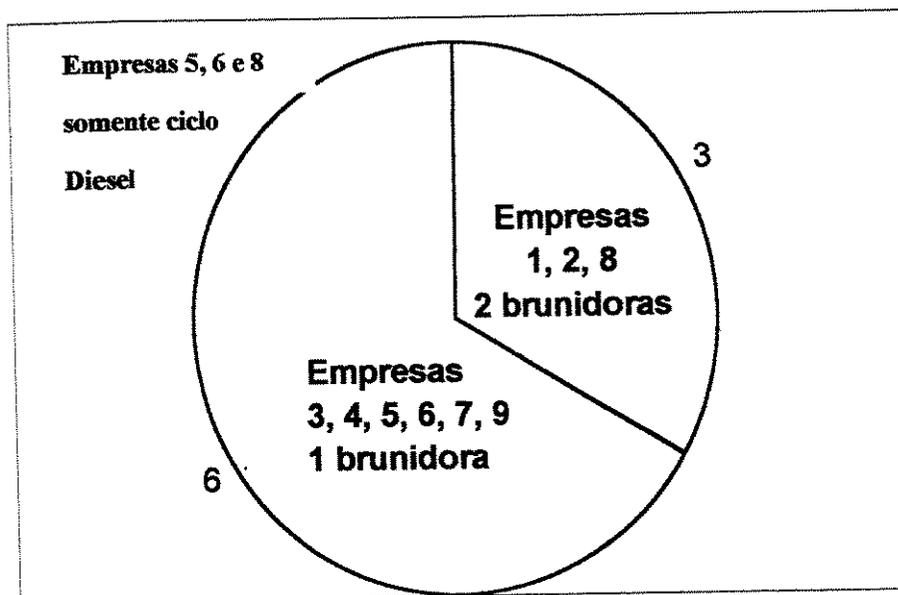


Figura 4.5 – Quantidade de brunidoras por empresa.

A Figura 4.6 mostra a idade das brunidoras; das doze brunidoras existentes nas empresas estudadas constata-se que: cinco tem idade menor ou igual a cinco anos; uma tem idade maior que cinco anos e menor ou igual a dez anos; duas tem idade maior que dez anos e menor ou igual a 15 anos; e quatro tem idade indeterminada, provavelmente maior que vinte anos.

A Figura 4.7 mostra os abrasivos utilizados na geração das texturas ciclo Otto. Verifica-se uma grande dispersão em relação ao tamanho de grão utilizado, que varia de 120 a 220 mesh, predominando a utilização de carboneto de silício. A dureza das pedras variou entre “N” e “P”, que segundo as normas NBR 6166 [NBR 6166, 1961], ANSI -B74.13-1990 [ANSI - B74-13-1990, 1990], é uma dureza média.

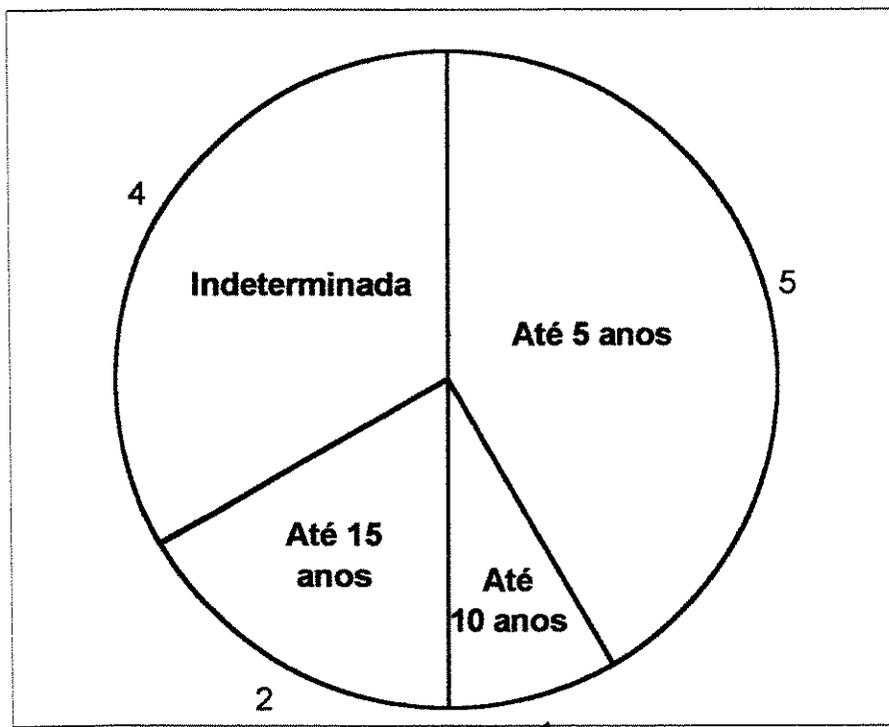


Figura 4.6 – Idade das brunidoras, existentes nas empresas analisadas.

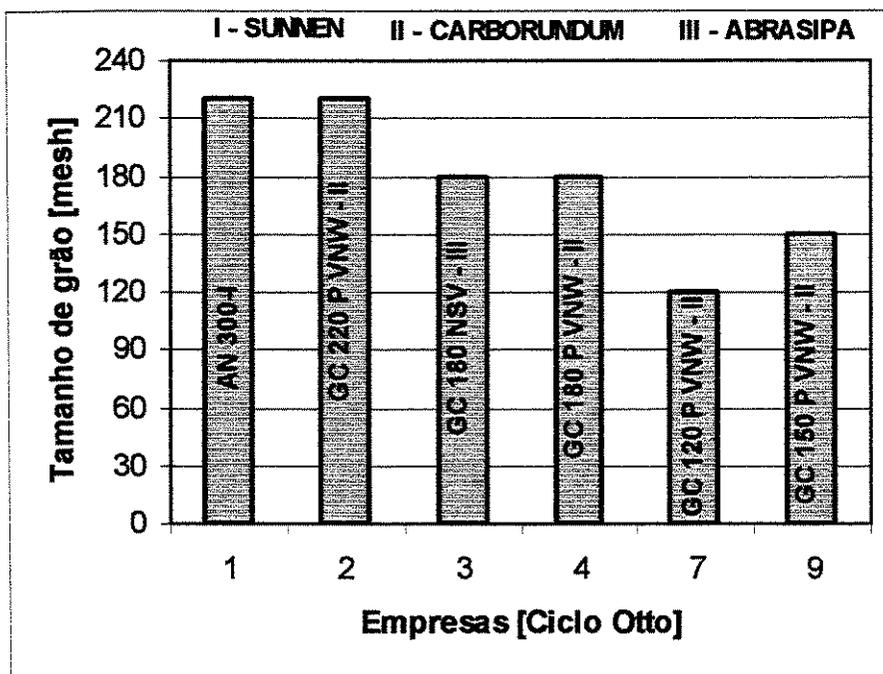


Figura 4.7 - Abrasivos utilizados na geração de texturas ciclo Otto.

A Figura 4.8 mostra os abrasivos utilizados na geração das texturas ciclo Diesel. Verifica-se que a maioria das empresas emprega grãos com granulometria entre 120 e 150 mesh. À semelhança do caso anterior, a dureza das pedras variou entre “N” e “P”.

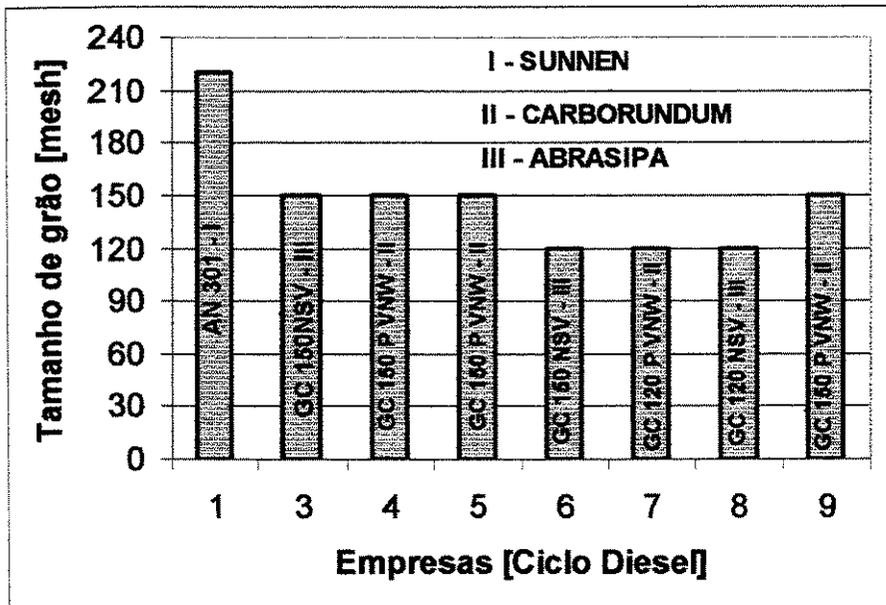


Figura 4.8 - Abrasivos utilizados na geração de texturas ciclo Diesel.

#### 4.2 – PARÂMETROS CALCULADOS.

Os parâmetros medidos, utilizados nos cálculos, conforme as Figuras 3.3 e 3.5 foram:

- Comprimento das camisas de cilindro,  $[Lw]$ ;  
 $Lw=136.5\text{ mm}$  e  $Lw=139.0\text{ mm}$ .
- Comprimento das pedras,  $[Ls]$ ;
- Sobrecurso superior,  $[La]$ ;
- Distância da camisa à régua,  $[Lm]$ ;
- Rotação medida do eixo árvore da brunidora,  $[n]$ ;
- Ângulo de cruzamento medido,  $[2\beta]$ ;

Os parâmetros calculados foram:

- Curso,  $[Lx]$ ;

$$Lx = La + Lm$$

eq. 4.1

- Sobrecurso Inferior,  $[Lb]$ ;

$$Lb = Lm + Ls - Lw$$

eq. 4.2

- Velocidade de Corte,  $[vc]$ ;

$$vc = \frac{\pi.d.n}{1000} \quad \text{eq. 4.3}$$

- Ângulo da direção efetiva,  $[\eta]$ ;

$$\eta = 90 - \frac{2\beta}{2} \quad \text{eq. 4.4}$$

- Velocidade de avanço,  $[vf]$ ;

$$vf = tg\eta.vc \quad \text{eq. 4.5}$$

- Velocidade efetiva,  $[ve]$ ;

$$ve = \sqrt{vc^2 + vf^2} \quad \text{eq. 4.6}$$

A Tabela 4.1 apresenta os valores medidos e calculados para as texturas ciclo Otto e Diesel.

Tabela 4.1 – Parâmetros medidos e calculados para as texturas ciclo Otto e Diesel.

| Parâmetros do processo    | Símbolo          | Unidade | Empresas |       |       |        |       |        |       |        |       |        |        |       |        |       |   |  |   |  |
|---------------------------|------------------|---------|----------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|---|--|---|--|
|                           |                  |         | 1        |       | 2     |        | 3     |        | 4     |        | 5     |        | 6      |       | 7      |       | 8 |  | 9 |  |
|                           |                  |         | Diesel   | Otto  | Otto  | Diesel | Otto  | Diesel | Otto  | Diesel | Otto  | Diesel | Diesel | Todos | Diesel | Todos |   |  |   |  |
| Comprimento da pedra      | <b><i>Ls</i></b> | [mm]    | 102,0    | 102,0 | 102,0 | 102,0  | 102,0 | 102,0  | 102,0 | 127,0  | 127,0 | 102,0  | 102,0  | 102,0 |        |       |   |  |   |  |
| Curso                     | <b><i>Lx</i></b> | [mm]    | 125,5    | 125,0 | 142,0 | 116,0  | 116,0 | 107,3  | 109,5 | 74,0   | 68,5  | 141,0  | 120,0  | 79,0  |        |       |   |  |   |  |
| Sobrecurso superior       | <b><i>La</i></b> | [mm]    | 35,5     | 33,0  | 48,0  | 27,0   | 28,3  | 39,8   | 38,5  | 33,2   | 30,2  | 48,0   | 39,2   | 16,0  |        |       |   |  |   |  |
| Sobrecurso inferior       | <b><i>Lb</i></b> | [mm]    | 53,0     | 55,0  | 59,5  | 52,0   | 52,0  | 31,8   | 34,0  | 30,5   | 28,0  | 56,0   | 45,5   | 27,3  |        |       |   |  |   |  |
| Velocidade de corte       | <b><i>Vc</i></b> | [m/min] | 27,3     | 27,9  | 53,6  | 53,0   | 53,0  | 23,2   | 23,2  | 18,6   | 25,7  | 28,4   | 24,6   | 22,4  |        |       |   |  |   |  |
| Ângulo de cruzamento      | <b><i>2β</i></b> | [°]     | 146,5    | 143,6 | 137,3 | 131,3  | 133,0 | 128,9  | 131,1 | 134,0  | 126,6 | 120,1  | 123,6  | 112,2 |        |       |   |  |   |  |
| Ângulo da direção efetiva | <b><i>η</i></b>  | [°]     | 16,7     | 18,2  | 21,3  | 24,3   | 23,5  | 25,6   | 24,4  | 23,0   | 26,7  | 30,0   | 28,2   | 33,9  |        |       |   |  |   |  |
| Velocidade de avanço      | <b><i>Vf</i></b> | [m/min] | 8,2      | 9,2   | 20,9  | 24,0   | 23,0  | 11,1   | 10,6  | 7,9    | 12,9  | 16,4   | 13,2   | 15,1  |        |       |   |  |   |  |
| Velocidade efetiva        | <b><i>Ve</i></b> | [m/min] | 28,5     | 29,3  | 57,5  | 58,2   | 57,8  | 25,8   | 25,5  | 20,2   | 28,8  | 32,8   | 27,9   | 27,0  |        |       |   |  |   |  |

Legenda: Negrito: Camisas brunidas com texturas denominadas de ciclo Diesel;

Normal: Camisas brunidas com texturas denominadas de ciclo Otto;

Sublinhado: Camisas brunidas com texturas única.

### 4.3 – AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS.

A Figura 4.9 mostra os desvios geométricos obtidos após a operação de brunimento. Ao se comparar os desvios obtidos com os especificados (Figura 4.1), nota-se que somente a empresa 8 não conseguiu atingir as especificações. Tal fato é explicado pelo fato que, na ocasião da usinagem, o operador fora improvisado.

As Figuras 4.10 e 4.11 mostram as alterações sofridas no que tange aos desvios de circularidade e conicidade. Com relação aos erros de circularidade (Figura 4.10), houve uma piora dos mesmos, na empresa 8. Com relação à conicidade (Figura 4.11), não houve uma constância de resultados, ocorrendo melhoria (empresa 1); a manutenção (empresas 3, 4 e 6) e piora (empresas 2, 5, 7, 8 e 9) dos desvios de conicidade.

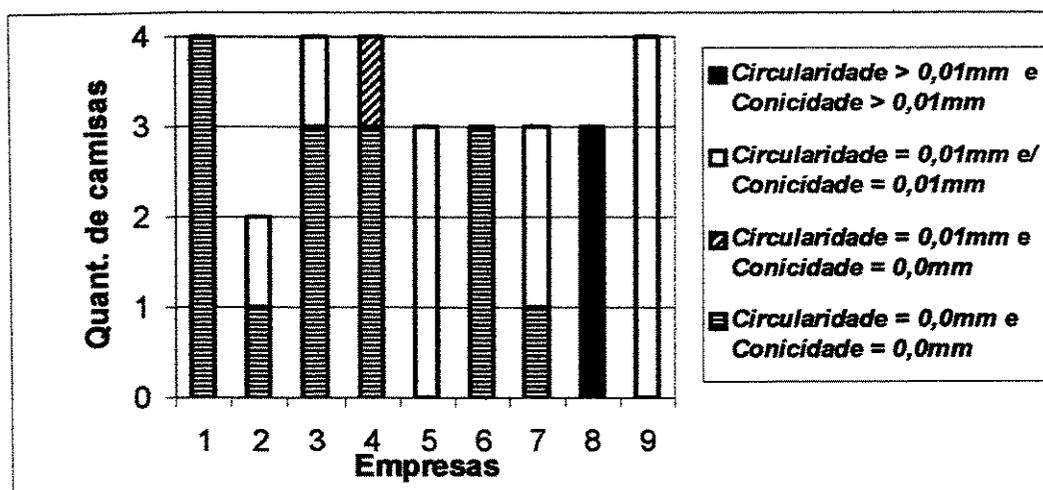


Figura 4.9 – Desvios das camisas dos cilindros após o brunimento.

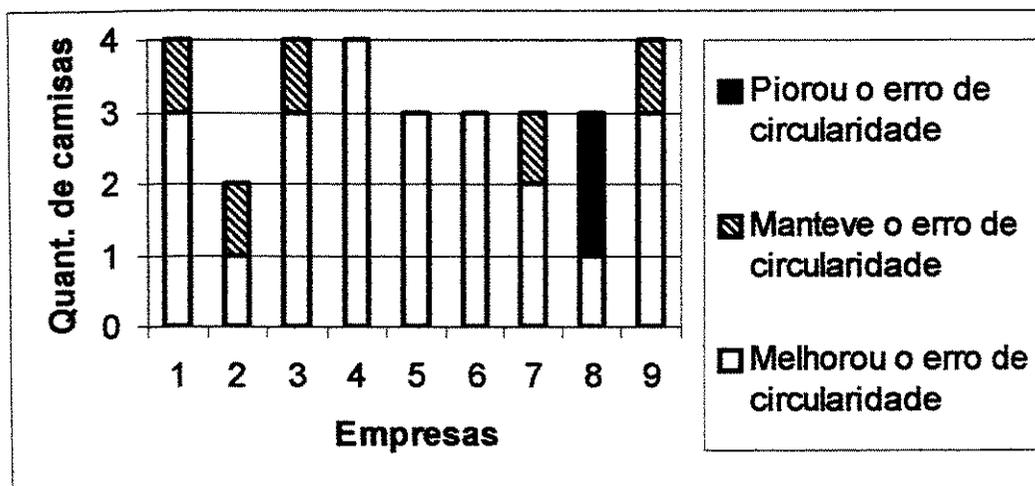


Figura 4.10 – Comparação entre os desvios de circularidade antes e após o brunimento.

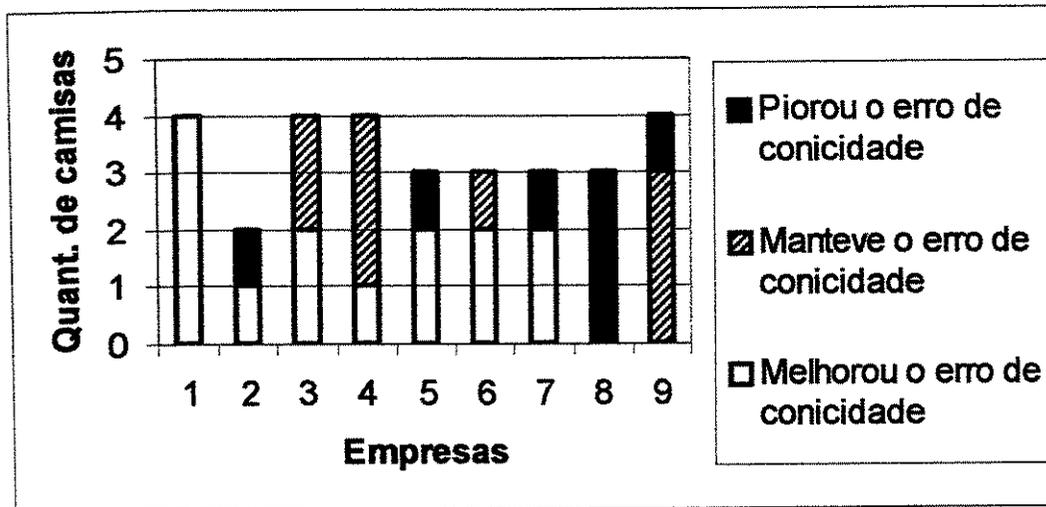


Figura 4.11 – Comparação entre os desvios de conicidade antes e após o brunimento.

A Tabela 4.2 apresenta os valores calculados de  $R$ ,  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$  e  $K4$ , para as empresas estudadas.

Tabela 4.2 – Valores de  $R$ ,  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$  e  $K4$  para as empresas estudadas.

| Empresa |        | $R=Lx/Lt$ | $K1=La/Ls$ | $K2=Lb/Ls$ | $K3=Ls/Lw$ | $K4=(Lw-Ls)/Ls$ |
|---------|--------|-----------|------------|------------|------------|-----------------|
| 1       | Diesel | 1,21      | 0,35       | 0,52       | 0,74       | 0,35            |
|         | Otto   | 1,20      | 0,32       | 0,54       | 0,74       | 0,35            |
| 2       | Otto   | 1,37      | 0,47       | 0,58       | 0,74       | 0,35            |
| 3       | Diesel | 1,12      | 0,26       | 0,51       | 0,74       | 0,35            |
|         | Otto   | 1,12      | 0,28       | 0,51       | 0,74       | 0,35            |
| 4       | Diesel | 1,03      | 0,39       | 0,31       | 0,74       | 0,35            |
|         | Otto   | 1,05      | 0,38       | 0,33       | 0,74       | 0,35            |
| 5       | Diesel | 0,77      | 0,26       | 0,24       | 0,92       | 0,09            |
| 6       | Diesel | 0,72      | 0,24       | 0,22       | 0,92       | 0,09            |
| 7       | Todos  | 1,36      | 0,47       | 0,55       | 0,74       | 0,35            |
| 8       | Diesel | 1,15      | 0,38       | 0,45       | 0,74       | 0,35            |
| 9       | Todos  | 0,76      | 0,16       | 0,27       | 0,74       | 0,35            |

Nota: Utilizou-se em todos os cálculos  $Lw = 138,0$  mm.

A Figura 4.12 mostra as relações de curso  $R$ , para as empresas analisadas. Deve-se observar que, em princípio esta relação deve estar o mais próximo de 1, do contrário corre-se o risco de obter peças maiores ( $R > 1$ ) ou menores ( $R < 1$ ), nas regiões de sobrecurso. Observa-se, nesta figura, que houveram casos extremos, tais como os observados nas empresas 2, 5, 6 e 7.

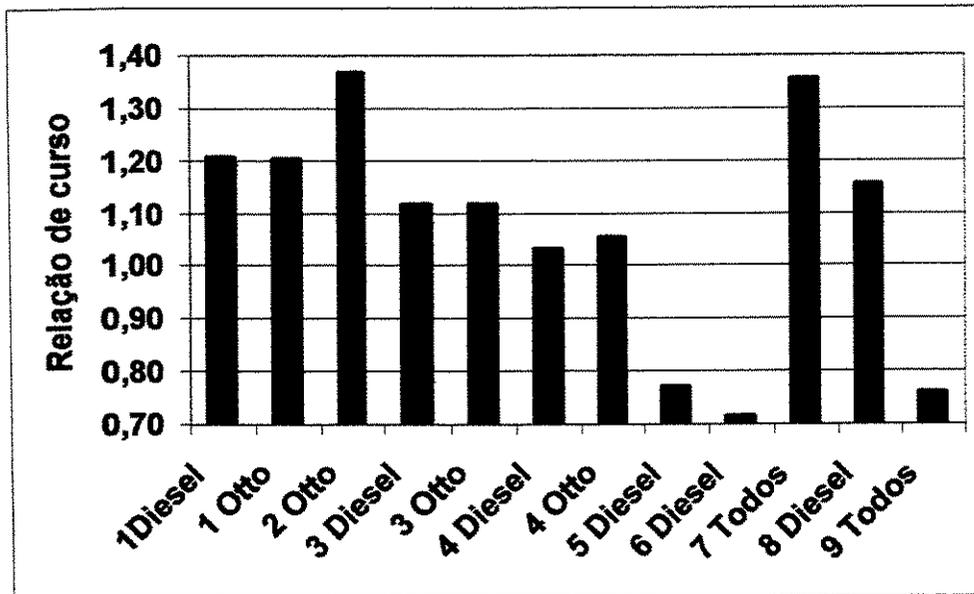


Figura 4.12– Relação de curso por empresa.

A Figura 4.13 mostra as relações dos sobrecursos em relação ao comprimento da pedra. Como citado esperam-se valores semelhante para  $K1$  e  $K2$ , da ordem de 0,33. Observa-se da figura, uma disparidade de valores, mormente apresentados pelas empresas 1, 2, 3, 7 e 8.

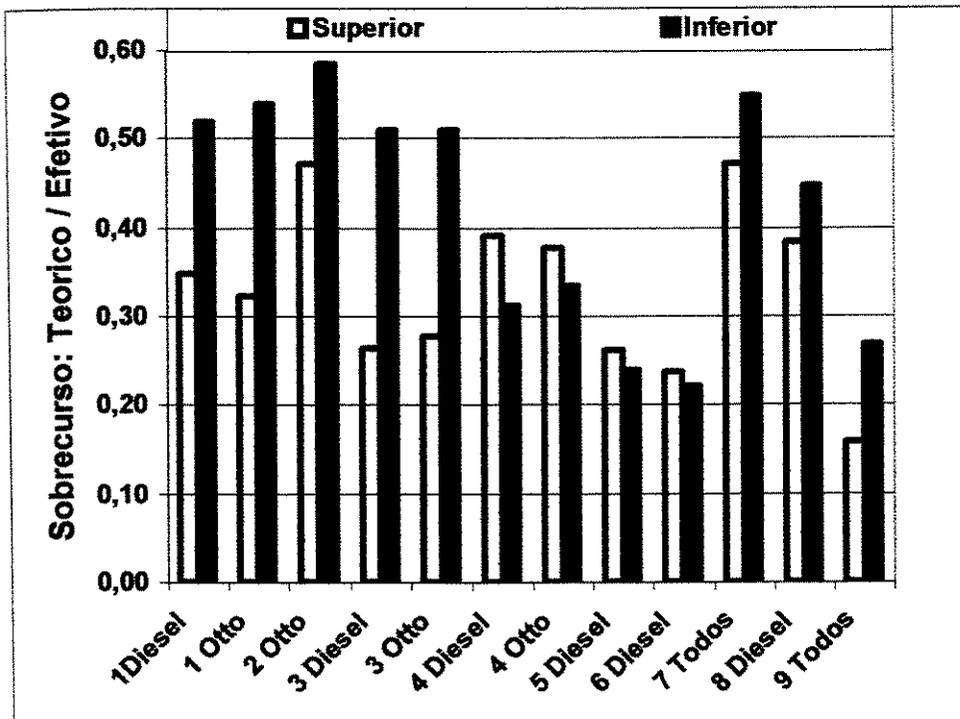


Figura 4.13 – Relação de sobrecurso superior e inferior por empresa estudadas.

Os parâmetros de regulagem das brunidoras “R”, “K1” e “K2” empregados nas empresas, exceto na empresa 4, apresentaram grande desvio em relação aos valores recomendados, entretanto, se contrapor os dados das Figuras 4.12 e 4.13 aos dados das Figuras 4.9, 4.10 e 4.11 nota-se que, somente a empresa 8 não atendeu as especificações.

A Tabela 4.2 apresenta também o valor de “K4”. Segundo a Teoria este valor deve ser da ordem de 0.5 ou menor, desta forma, não exerce influencia significativa no processo.

O processo de reciprocação de curso curto, que consiste em brunir com cursos curtos nos pontos de inversão do movimento de avanço por pequenos intervalos de tempo, é que, possibilitou obter-se peças dentro das especificações, apesar, dos parâmetros de regulagem das brunidoras “R”, “K1” e “K2”, utilizados nas empresas, apresentarem desvios em relação aos valores recomendados.

A Tabela 4.3 apresenta os valores obtidos dos ângulos de cruzamento e os compara com os valores especificados. As empresas que conseguem manter o ângulo de cruzamento dentro das especificações possuem operadores experientes, uma vez que, nenhuma empresa possui uma maneira padronizada de controle, tal como o sugerido pela Figura 4.14.

Tabela 4.3 – Valores obtidos dos ângulos de cruzamento contrapostos com os valores especificados.

| Valores Especificados |                      |            | Valores Medidos do ângulo de cruzamento [2β] |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-----------------------|----------------------|------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Aplicação             | Ângulo de Cruzamento |            | Empresas                                     |              |              |              |              |              |              |              |              |
|                       | Min<br>[°]           | Max<br>[°] | 1<br>[°]                                     | 2<br>[°]     | 3<br>[°]     | 4<br>[°]     | 5<br>[°]     | 6<br>[°]     | 7<br>[°]     | 8<br>[°]     | 9<br>[°]     |
| Fiat Diesel           | 110                  | 140        | <u>146.5</u>                                 |              | 131.3        | 128.9        | 134.0        | 126.6        | 120.1        | 123.6        | 112.2        |
| Fiat Otto             | 120                  | 120        | <u>143.6</u>                                 | <u>137.3</u> | <u>133.0</u> | <u>131.1</u> |              |              | 120.1        |              | <u>112.2</u> |
| Ford Diesel           | 135                  | 135        | <u>146.5</u>                                 |              | 131.3        | <u>128.9</u> | 134.0        | <u>126.6</u> | <u>120.1</u> | <u>123.6</u> | <u>112.2</u> |
| Ford Otto             | 110                  | 140        | <u>143.6</u>                                 | <u>137.3</u> | <u>133.0</u> | 131.1        |              |              | 120.1        |              | 112.2        |
| MWM Diesel            | 115                  | 135        | <u>146.5</u>                                 |              | 131.3        | 128.9        | 134.0        | 126.6        | 120.1        | 123.6        | <u>112.2</u> |
| Perkins Diesel        | 120                  | 150        | 146.5  |              | 131.3        | 128.9        | 134.0        | 126.6        | 120.1        | 123.6        | <u>112.2</u> |
| Mercedes Diesel       | 120                  | 120        | <u>146.5</u>                                 |              | <u>131.3</u> | <u>128.9</u> | <u>134.0</u> | <u>126.6</u> | 120.1        | 123.6        | <u>112.2</u> |
| GM Otto               | 110                  | 130        | <u>143.6</u>                                 | <u>137.3</u> | <u>133.0</u> | <u>131.1</u> |              |              | 120.1        |              | 112.2        |
| GM Otto               | 120                  | 120        | <u>143.6</u>                                 | <u>137.3</u> | <u>133.0</u> | <u>131.1</u> |              |              | 120.1        |              | <u>112.2</u> |
| VW Otto               | 100                  | 140        | <u>143.6</u>                                 | <u>137.3</u> | <u>133.0</u> | 131.1        |              |              | 120.1        |              | 112.2        |
| VW Otto               | 110                  | 130        | <u>143.6</u>                                 | <u>137.3</u> | <u>133.0</u> | <u>131.1</u> |              |              | 120.1        |              | 112.2        |

Legenda: Sublinhado: Valores medidos fora da especificação; Normal: Valores medidos dentro da especificação.

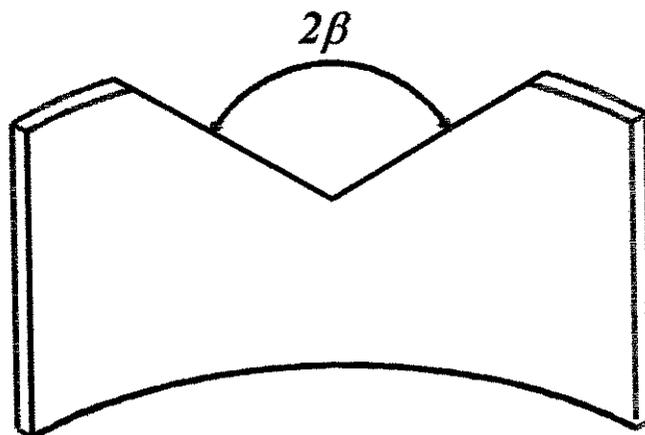


Figura 4.14 – Gabarito para controlar o ângulo de cruzamento

#### 4.4 – AVALIAÇÃO DAS TEXTURAS.

A Tabela 4.4 apresenta os valores obtidos dos parâmetros de rugosidade e os compara com os valores especificados, para texturas Diesel.

Observa-se, através da Tabela 4.4 que, a maioria das empresas consegue atender as especificações. Nota-se que aquelas que não conseguem atingir a especificação são empresas que apresentam os seguintes problemas:

- Nas empresas 4 e 5 o valor do parâmetro “ $Ra$ ” ficou abaixo do valor especificado. Nestas empresas o conjunto das grandezas de entrada (Figura 2.5), tais como: velocidade de corte (diminuir); velocidade de avanço (aumentar); pressão de contato (aumentar); e especificação da ferramenta abrasiva (aumentar o tamanho de grão e/ou diminuir a dureza) deveriam ser alteradas isoladamente ou conjuntamente, de forma a se obter a rugosidade especificada.
- Nas empresas 3, 7 e 8 o valor dos parâmetros “ $Ra$ ” e “ $R3z$ ” ficaram acima do valor especificado. Nestas empresas o conjunto das grandezas de entrada (Figura 2.5), tais como: velocidade de corte (aumentar); velocidade de avanço (diminuir); pressão de contato (diminuir); e especificação da ferramenta abrasiva (diminuir o tamanho de grão e/ou aumentar a dureza); deveriam ser alteradas isoladamente ou conjuntamente, de forma a se obter a rugosidade adequada.

Tabela 4.4 – Valores obtidos para os parâmetros de rugosidade, contrapostos aos valores especificados ciclo Diesel.

| Valores de referência    |                             |                          |                          | Valores Medidos dos Parâmetros de Rugosidade |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Aplicação<br>DIESEL      | Parâmetros de<br>Rugosidade |                          |                          | Empresas                                     |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |
|                          | Par.                        | Min<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Max<br>[ $\mu\text{m}$ ] | 1  | 3                         | 4                         | 5                         | 6                         | 7                         | 8                         | 9                         |
|                          |                             |                          |                          | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ]                    | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ] |
| Fiat<br>Diesel<br>(Obs.) | <i>Ra</i>                   | 0.8                      | 1.2                      | 0.85   | 1.19                      | <u>0.62</u>               | <u>0.69</u>               | 0.89                      | 1.00                      | <u>1.71</u>               | 0.83                      |
|                          | <i>Ra</i>                   | 0.8                      | 1.3                      | 0.85   | 1.19                      | <u>0.62</u>               | <u>0.69</u>               | 0.89                      | 1.00                      | <u>1.71</u>               | 0.83                      |
| Ford<br>Diesel           | <i>Ra</i>                   | 0.38                     | 0.96                     | 0.85   | <u>1.19</u>               | 0.62                      | 0.69                      | 0.89                      | <u>1.00</u>               | <u>1.71</u>               | 0.83                      |
| MWM                      | <i>Ra</i>                   | 0.8                      | 1.2                      | 0.85   | 1.19                      | <u>0.62</u>               | <u>0.69</u>               | 0.89                      | 1.00                      | <u>1.71</u>               | 0.83                      |
| Perkins                  | <i>Ra</i>                   | 0.8                      | 1.2                      | 0.85   | 1.19                      | <u>0.62</u>               | <u>0.69</u>               | 0.89                      | 1.00                      | <u>1.71</u>               | 0.83                      |
| Mercedes                 | <i>R3z</i>                  | 3.0                      | 5.0                      | 4.66   | <u>6.12</u>               | 3.32                      | 3.46                      | 4.61                      | 4.39                      | <u>8.09</u>               | 4.15                      |

Obs.: Este fabricante utiliza diferentes valores para o parâmetro “*Ra*”, que é função de cada tipo de motor.

Legenda: Sublinhado: Valores medidos fora da especificação; Normal: Valores medidos dentro da especificação.

A Tabela 4.5 apresenta os valores obtidos dos parâmetros de rugosidade e os compara com os valores especificados, para texturas Otto.

Observa-se, através da Tabela 4.5 que, nenhuma das empresas consegue atender a todas as especificações. Nota-se que as empresas não conseguem atingir as especificações pois apresentam os seguintes problemas:

- Nas empresas 1, 3, 4, 7 e 9 o valor dos parâmetros “*Ra*” e “*Rt*” ficaram acima do valor especificado. Nestas empresas o conjunto das grandezas de entrada (Figura 2.5), tais como: velocidade de corte (aumentar); velocidade de avanço (diminuir); pressão de contato (diminuir); e especificação da ferramenta

abrasiva (diminuir o tamanho de grão e/ou aumentar a dureza) deveriam ser alteradas isoladamente ou conjuntamente, de forma a se obter a rugosidade especificada.

- Na empresa 2 o valor do parâmetro “*Ra*” ficou abaixo e o parâmetro “*Rt*” ficou acima do valor especificado. Como o parâmetro “*Ra*” é o valor médio da altura das asperezas e o valor de “*Rt*” é a maior altura das asperezas, verifica-se que, durante o processo de brunimento estão sendo gerados riscos profundos na superfície da peça. Estes riscos profundos podem ser originados por: contaminação do fluido de brunimento; empastamento da superfície da ferramenta brunidora.

Tabela 4.5 – Valores obtidos para os parâmetros de rugosidade, contrapostos aos valores especificados ciclo Otto.

| Valores de Referência |                          |                          |                          | Valores Medidos dos Parâmetros de Rugosidade |                           |                           |                           |                           |                           |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Aplicação Otto        | Parâmetros de Rugosidade |                          |                          | Empresas                                     |                           |                           |                           |                           |                           |
|                       | Par.                     | Min<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Max<br>[ $\mu\text{m}$ ] | 1  | 2                         | 3                         | 4                         | 7                         | 9                         |
|                       |                          |                          |                          | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ]                    | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rug.<br>[ $\mu\text{m}$ ] |
| Fiat                  | <i>Ra</i>                | 0.40                     | 1.0                      | 0.63   | 0.40                      | 0.95                      | 0.78                      | 1.00                      | 0.83                      |
| (Obs.)                | <i>Ra</i>                | 0.50                     | 1.0                      | 0.63   | <u>0.40</u>               | 0.95                      | 0.78                      | 1.00                      | 0.83                      |
| Ford                  | <i>Ra</i>                | 0.50                     | 1.0                      | 0.63   | <u>0.40</u>               | 0.95                      | 0.78                      | 1.00                      | 0.83                      |
| (Obs.)                | <i>Ra</i>                | 0.60                     | 1.0                      | 0.63   | <u>0.40</u>               | 0.95                      | 0.78                      | 1.00                      | 0.83                      |
| GM                    | <i>Ra</i>                | 0.50                     | 0.75                     | 0.63   | <u>0.40</u>               | <u>0.95</u>               | <u>0.78</u>               | <u>1.00</u>               | <u>0.83</u>               |
|                       | <i>Ra</i>                | 0.50                     | 1.5                      | 0.63   | <u>0.40</u>               | 0.95                      | 0.78                      | 1.00                      | 0.83                      |
|                       | <i>Rt</i>                | 3.5                      | 6.0                      | <u>7.00</u>                                  | <u>6.22</u>               | <u>9.51</u>               | <u>7.99</u>               | <u>12.6</u>               | <u>10.8</u>               |
| VW                    | <i>Rz</i>                | 3.0                      | 8.0                      | 5.26   | 3.42                      | 7.17                      | 5.85                      | 7.62                      | 6.88                      |
|                       | <i>Rt</i>                | 2.0                      | 5.0                      | <u>7.00</u>                                  | <u>6.22</u>               | <u>9.51</u>               | <u>7.99</u>               | <u>12.6</u>               | <u>10.8</u>               |

Obs.: Estes fabricantes utilizam diferentes valores para o parâmetro “*Ra*”, que é função de cada tipo de motor.

Legenda: Sublinhado: Valores medidos fora da especificação;

Normal : Valores medidos dentro da especificação.



Para texturas ciclo Diesel os parâmetros especificados (Tabela 4.4) são “ $Ra$ ” e “ $R3z$ ”: o fator de correlação calculado para estes parâmetros foi  $r = 0,974$ , demonstrando que há uma forte correlação positiva entre estes parâmetros. Portanto, é possível produzir uma única textura (Empresa 1, Tabela 4.4) que atenda a todos os motores ciclo Diesel citados, mas, adotando-se este procedimento, o processo de brunimento fica com a sua capacidade reduzida. Segundo Novaski [Novaski, 1994], um processo é capaz quando seu desvio padrão for igual ou menor que um oitavo da tolerância especificada. Analisando somente os motores cujo parâmetro de controle é “ $Ra$ ”, teríamos um desvio padrão do processo menor ou igual a 0.02. É muito difícil uma “Retífica de Motores” gerar uma só textura para todos os motores Diesel, e produzir 99,99% de camisas com a rugosidade especificada.

Para texturas ciclo Otto os parâmetros especificados (Tabela 4.5) são “ $Ra$ ”, “ $Rt$ ” e “ $Rz$ ”, os fatores de correlação calculados para estes parâmetros foram:  $r1 = 0,954$ , para  $Ra/Rz$ ,  $r2 = 0,703$ , para  $Ra/Rt$ ,  $r3 = 0,840$ , para  $Rz/Rt$ . Há uma forte correlação positiva apenas entre os parâmetros  $Ra/Rz$ . Portanto, não é possível produzir uma única textura (Tabela 4.4) que atenda a todos os motores ciclo Otto citados.

Da análise da Tabela 4.6, constata-se que os parâmetros de altura das asperezas, em especial o parâmetro “ $Ra$ ” e os parâmetros definidos pela norma DIN EN ISO 13565-2, somente o fator de correlação  $Ra/Rk$ , possui uma forte correlação  $r = 0,972$ , os fatores de correlação  $Ra/Rpk$ ,  $Ra/Rvk$ ,  $Ra/A1$  possuem coeficientes iguais a 0,865, 0.726, 0.766 respectivamente, possuindo fatores de correlação médios. O fator de correlação  $Ra/A2$  igual a 0.541, indica um baixo fator de correlação. A análise acima, em relação ao parâmetro “ $Ra$ ”, aplica-se também aos parâmetros  $Rq$ ,  $Rz$ ,  $R3z$ . Isto sugere que realmente as superfícies brunidas sejam controladas não apenas quanto a fator “ $Ra$ ”, mas aos demais fatores constantes da curva BAC ( Vide Fig. 2.16, pg. 25).

**5.1 – CONCLUSÕES.**

- 1- O procedimento empregado nas empresas estudadas de se utilizar uma única textura para todos os motores ciclo Diesel, outra para todos os motores ciclo Otto e em duas empresas uma textura única tanto para ciclo Otto, quanto para ciclo Diesel, não é viável. Este fato se refere as características microgeométricas das superfícies (rugosidade).
- 2- As características geométricas obtidas no processo de brunimento nas empresas estudadas, estão conforme as especificadas, exceto as obtidas pela empresa 8. Os parâmetros de regulagem das brunidoras, sobrecurso inferior e superior, apresentaram grande variação e desvios em relação aos valores recomendados, entretanto, este fato não influenciou a qualidade do trabalho. Os operadores, em sua maioria, experientes utilizaram-se do processo de reciprocação de curso curto para efetuar as devidas correções.
- 3- O ângulo de cruzamento gerado pelo processo de brunimento nas empresas é dependente da experiência do operador, sendo controlado visualmente em todas as empresas. Este procedimento é inadequado.
- 4- O controle dos desvios microgeométricos nas três empresas onde é feito visualmente, é inadequado.
- 5- O fluido de brunimento empregado em todas as empresas estudadas é um subproduto de petróleo, desta forma, a utilização de sistemas de filtragem maximizaria sua utilização, melhoraria a qualidade do processo e seria menos agressivo ao meio ambiente.
- 6- A utilização somente de parâmetros de altura do perfil para caracterizar a superfície brunida, não é suficiente para uma caracterização adequada da superfície.
- 7- As brunidoras existentes nas empresas estudadas não possibilitam a regulagem de valores ótimos para a velocidade de corte. As máquinas não possuem qualquer tipo de regulagem das grandezas: pressão e vazão do fluido de corte, pressão de contato entre a ferramenta abrasiva e a peça.

## CAPITULO 5 – CONCLUSÕES

A qualidade do processo de brunimento das camisas de pistão obtida pelas “Retíficas de Motores” é dependente da experiência do operador. Assim as características geométricas das camisas de pistão, em todas as empresas estudadas, dependem desta experiência. Nas empresas onde os desvios microgeométricos são controlados visualmente, a qualidade da superfície é uma incógnita.

As “Retíficas de Motores” estudadas, quanto aos desvios de circularidade e conicidade das camisas de pistão atendem as especificações, entretanto, quanto á rugosidade da superfície e ao ângulo de cruzamento estas empresas devem adotar novos métodos e processos de trabalho, em assim procedendo poderão atender completamente a todas as especificações.

A qualidade do processo de brunimento das camisas de pistão feito pelas “Retíficas de Motores” pode ser melhorada adotando-se as seguintes medidas:

- O controle dos desvios microgeométricos deve ser efetuado por rugosímetro;
- O controle do ângulo de cruzamento deve ser efetuado por gabarito (Fig. 4.15, pg. 54);
- As brunidoras devem possuir sistema de filtragem para o fluido de corte;
- As brunidoras devem possibilitar o controle das variáveis de entrada do processo de brunimento tais como: velocidade de corte (inversor de frequência acoplado ao motor), pressão de contato entre a pedra abrasiva e a peça (cabeçote brunidor com expansão das pedras, por intermédio de sistema hidráulico); vazão e pressão do fluido de corte.
- Treinamento dos operadores enfatizando as relações entre as grandezas de entrada do processo de brunimento e os resultados a serem obtidas nas peças;

Os resultados e conclusões apresentados neste trabalho são válidos para as empresas participantes deste trabalho, e para as condições de equipamento, ambiente e materiais utilizados na realização dos ensaios.

## CAPITULO 5 – CONCLUSÕES

### **5.2 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.**

- Estudar a influência do ângulo de brunimento, nas características funcionais da superfície e nos parâmetros de rugosidade.
- Estudar as diferenças entre os parâmetros de rugosidade, obtidos por medições em 2-D e 3-D.
- Estudar a estruturação a Laser e o processo de brunimento em centros de usinagem verticais.
- Propor equipamentos e dispositivos, cuja relação custo benefício tornem viáveis sua utilização nas “Retíficas de Motores”, em função dos novos desenvolvimentos.

## CAPITULO 6 – BIBLIOGRAFIA.

## 6.1 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, New York, ANSI B74.13-1990 – Markings for Identifying Grinding Wheels and Other Bonded Abrasives, ANSI, 1990, 7p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro, NBR 13032 – Execução de Retífica de Motores. Rio de Janeiro, ABNT, 1993, 7p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro, NBR 3162 – Conceitos da Técnica de Usinagem – Movimentos e Relações geométricas. Rio de Janeiro, ABNT, 1989, 37p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro, NBR 6166 – Ferramentas Abrasivas. Rio de Janeiro, ABNT, 1961, 16p.
- BALASUBRAMANIAN, G, KRISHNAMURTHY, R., WHITEHOUSE, D. J., Surface integrity of honed cylinders, *Annals of CIRP*, vol. 27/1/1978, p 527 a 530.
- BARDAC, D., MARINESCU, I. D., Surface Generation in the Case of Honing with Superabrasives, Technical Paper MR99-240, *SME - Society of Manufacturing Engineers*, sem numeração de paginas, 1999, 7p.
- BARTON, K; HAASIS, G.; Characteristics of Honing in: Understanding the Basics of Honing. Technical publication of *SME - Society of Manufacturing Engineers*, sem numeração de paginas, 1993, 37p.
- BECKER, E. P., LUDEMA, K. C.; A Qualitative Empirical Model of Cylinder Bore Wear, *Wear*, 225-2229, (1999), pg. 387-404.
- BEYERER, J., LEON, F. P., Detection of Defects In Groove Textures of Honid Surfaces, *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 37, nº. 3, 1997, pg. 371-389.
- BRÛLÉ, R. A.; Um Desenvolvimento Teorico Preliminar Sobre O Brunimento: Forças De Corte E Erros Intrínsecos Ao Brunimento, Dissertação De Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1992, 112p.
- BRUMGARD, J. W.; Fundamentals of honing Fluids in: Proceedings Undertanding The Basics of Honing, *SME - Society of Manufacturing Engineers*, sem numeração de paginas, 1993, 13p.
- BYRNES, J.; FISCHER, H., Honing: An eye to the Future, International Honing Clinic, Technical Paper MF92-128, *SME - Society of Manufacturing Engineers*, sem numeração de paginas, 1992, 15p.

CAMPBELL, J. C.; Cylinder Bore Surface Roughness In Internal Combustion Engines: It Appreciation And Control, **Wear**, 19 (1972), pg. 163-168.

CHIH, Y. S.; STANGO, R. J., Analysis of a Compliant honing Tool for Brushing Cylindrical Surfaces, **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, Vol. 119, 1997, pg. 441-444.

EVANS, C. J., BRYAN, J. B., “Structured”, “Textured” or “Engineered” Surfaces, **Annals of CIRP**, vol 48/2/1999, pg. 541-556.

FLORES, G.; Diamond and CBN in the honing process in: Proceedings Understanding The Basics of Honing, Technical Paper MR91-201, **SME - Society of Manufacturing Engineers**, sem numeração de paginas, 1993, 21p.

FLORES, G.; Diamond and CBN Honing Technology, Technical Paper MR98-209, **SME - Society of Manufacturing Engineers**, sem numeração de paginas, 1998, 9p.

FLORES, G., KLINK, U.; New Technologies of Honing, Technical Paper MR98-210, **SME - Society of Manufacturing Engineers**, sem numeração de paginas, 1998, 10p.

FLORES, G., KLINK, U.; Zylinder-bohrungen aus GGV honen, **Werkstatt und Betrieb**, v. 133, 2000, pg. 48-52.

GHOSH, K., et. All, Formation of a Wear Resistent Surface on Al by Laser Aided in-situ Synthesis of MoSi<sub>2</sub>, **Journal of Materials Processing Technnology**, 88, 1999, pg. 169-179.

HARGREAVES, D. J., SCOTT, W., The Effect of Honing on the Frictional Resistence of Cylinder Liners, Technical Paper MR98-215, **SME - Society of Manufacturing Engineers**, sem numeração de paginas, 1998, 13p.

HENNINK, S. C., Laser Texturing Slashes Cylinder Wear, **Laurin Publishing Co Inc.**, <http://www.laurin.com>, <http://www.laurin.com/Content/jun98/tecnsplash.html>, June 1998, 2p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Switzerland, ISO 3274/1996 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface Texture: Profile Method – Nominal characteristics of contact (stylus) instruments, Switzerland, **International Organization For Standardization**, 1999, 13p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Switzerland, ISO 4287/1997 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface Texture: Profile Method – Terms, definitions and surface texture parameters, Switzerland, **International Organization For Standardization**, 1999, 25p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Switzerland,  
ISO 4288/1996 – Geometrical Product Specifications(GPS) – Surface Texture: Profile  
Method – Rules and procedures for the assessment of surface texture, Switzerland,  
**International Organization For Standardization**, 1999, 8p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Switzerland,  
ISO 11562/1996 – Geometrical Product Specifications(GPS) – Surface Texture: Profile  
Method – Metrological characteristics of phase correct filters, Switzerland,  
**International Organization For Standardization**, 1999, 8p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Berlin, DIN EN  
ISO 13565-1/1998 – Geometrical Product Specifications(GPS) – Surface Texture: Profile  
Method – Surfaces having stratified functional properties- Part 1: Filtering and general  
measurement conditions, Berlin, **Deutsches Institut für Normung**, 1998, 7p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Berlin, DIN EN  
ISO 13565-2/1998 – Geometrical Product Specifications(GPS) – Surface Texture: Profile  
Method – Surfaces having stratified functional properties- Part 2: Height characterization  
using the linear material ratio curve, Berlin, **Deutsches Institut für Normung**, 1998, 8p.

JINNO, O., KIMURA, Y., TYAGI, M. R., Influence of surface roughness on friction and  
scuffing behaviour of cast iron under sparse lubrication, **Tribology International**, Vol.  
29, nº 2, 1996, pg. 129-136.

JUCHEN, H. O. Entwicklungsstand beim Honen von Bohrungen in: Metallischen  
Werkstücken mit Diamant und CBN. **VDI M8**, 1987, 25p.

KOELSCH, J.; Honing Fluid Performance, **Manufacturing Engineering**, February 1994,  
pg. 51-55.

KÖNIG, W., *Fertigungsverfahren: schleifen, honen, läppen*. 4 auflage. **Düsseldorf:  
VDI-Verlag**, Düsseldorf, 1989.

KOSEWSKI, D. T.; Alternatives for the Clarification of Honing Fluids in: Proceedings  
Undertanding The Basics of Honing, **SME - Society of Manufacturing Engineers**, sem  
numeração de paginas, 1993, 9p.

LJUNGBERG, C. H.; Conventional Bonded Abrasives and the Honing Process in:  
Proceedings Undertanding The Basics of Honing, **SME - Society of Manufacturing  
Engineers**, sem numeração de paginas, 1993, 26p.

MALBURG, M. C., RAJA, J.; Characterization of surface texture generated by plateau  
honing process, **Annals of CIRP**, vol 42/1/1993, pg. 637-639.

MICHALSKI, J., PAWLUS, P.; Description of the bearing length curve of inner surface  
of piston engine cylinders, **Wear**, 157 (1992) pg. 207-214.

- MICHALSKI, J., Pawlus P.; Charaterization of shape of the roughness profile ordinate distribution of honed cylinder surfaces. **Wear**, 161 (1993) pg. 135-143.
- MILLER M. L.; Flexible honing: A study of cylinder wall microstructure, Proceedings Understanding The Basics of Honing, SME - Society of Manufacturing Engineers, sem numeração de paginas, 1993, 9p.
- N. N., Tabela de Especificações de brunimento, **Albarus**, sem numeração de paginas, sem data.
- N. N., Laser honing offers important engine user benefits, **Diesel Progress International Edition**, Volume XVII, Nº 1, January-February 1998, pg. 52.
- N. N., Há variações de processo e de maquinas que levam a uma usinagem melhorada, **Maquinas e Metais**, nº. 354, julho, 1995, pg. 82 a 98.
- N. N., The Necessity of a Plateaued Cylinder WallFinish, Technical Information, **Brush Research MFG. CO. INC.**, , USA, 1978, 27p.
- N. N., Plateau Honing Modification of a Fine Finishing Process, Technical Information nº 2 / 7A / 25, **Nagel Maschinen und Werkzeugfabrik GmbH**, Germany, sem data, sem numeração de paginas .
- N. N., Operating Instructions Perthometer S8P, **Feinprüf GmgH Göttingen**, Göttingen, W. Germany, 1989, 63p.
- NOAKER, P. M.; Hone Up on Production Honing, **Manufacturing Engineering**, February 1991, pg. 57-60.
- NOVASKI, O.; Introdução a Engenharia de Fabricação Mecânica, Ed. **Edgard Blücher Ltda**, São Paulo, Brasil, pg. 69-85, 1994.
- PAWLUS, P.; A study on the functional properties of honed cylinders surface during running-in, **Wear**, 176 (1994) pg. 247-254.
- PAWLUS, P.; Change of cylinder surface topography in the initial stage of engine life, **Wear**, 209 (1997) pg. 69-83.
- PAWLUS, P.; Digital Filtering for Texture Measurement on Inner Cylindrical Surfaces, **Measurement**, 24, (1998), pg. 139-159.
- PAWLUS, P.; A qualitative empirical model of cylinder bore wear, **Wear**, 225-229(1999) pg. 387-404.
- PERES, R. M., Caracterização do Processo e Verificação das Grandezas de Entrada no Brunimento de Curso Longo do Tipo “Precidor”, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 1994, 157p. Dissertação (mestrado).

- SALJE, E., von SEE, M., Process optimization in honing, **Annals of CIRP**, Vol 36/1/1987, pg. 235-239.
- SANTOCHI, M., VIGNALE, M.; A Study On The Functional Properties Of A Honed Surface, **Annals of CIRP**, Vol. 31/1/1982, pg. 431-434.
- SCHMIDT, M. A., Brunimento em Ferro Fundido Cinzento Utilizando Ferramentas Tipo Bucha com Grãos de Diamante, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 1999, 237p. Dissertação (mestrado).
- SESS, M., Machine Tools are Doing More, **Manufacturing Engineering**, Vol. 123, nº 5, 1999, 7p.
- SHERWOOD, M., SHU, L. M., Supporting Design for Remanufacture through Waste-Stream Analysis of Automotive Remanufacturers, **Annals of Cirp**, Vol. 49/1/2000, pg. 87-90.
- STEWART, M., A New Approach to Use of Bearing Area Curve, International Honing Technologies and Applications, Technical Paper FC90-229, **SME - Society of Manufacturing Engineers**, 1990, sem numeração de paginas, 11 p.
- STEWART, M.; Optimizing piston bore surface finish – part 1, International Honing Clinic 92, 1992, Technical Paper IQ92-155, **SME - Society of Manufacturing Engineers**, 1992, sem numeração de paginas, 21p.
- STOUT, K. J., SPEDDING, T. A.; The Characterization of Internal Combustion Engine Bores, **Wear**, 83 (1982), pg. 311-326.
- STOUT, K. J., DAVIS, E. J.; Surface Topography of Cylinder Bores – The Relationship Between Manufacture, Characterization And Function, **Wear**, 95 (1984), pg. 111-125.
- TOOL AND MANUFACTURING ENGINEERS HANDBOOK, V.III 4ª ed. Chapter 16, Honing pg. 104 a 111.
- VISQUE, E. J.; Uma Contribuição ao Estudo do Processo de Brunimento, Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Mecânica, **Unicamp**, 1998, 79 p. Dissertação (mestrado).
- WILLS, E.; Surface Finish In Relation To Cylinder Liners, **Wear**, 109 (1986), pg. 351-366.

**ANEXO 1**  
**Dados do processo de brunimento**

| Empresa | Operação Anterior ao Brunimento |                      |                               |                      | Operação de Brunimento        |                               |
|---------|---------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|         | Ciclo Otto                      |                      | Ciclo Diesel                  |                      | Ciclo Otto                    | Ciclo Diesel                  |
|         | Circularidade Conicidade [mm]   | Sobremetal Min / Max | Circularidade Conicidade [mm] | Sobremetal Min / Max | Circularidade Conicidade [mm] | Circularidade Conicidade [mm] |
| 1       | 0.01                            | Min 0.03             | 0.005                         | Min. 0.02            | 0.005                         | 0.005                         |
| 2       | 0.02                            | Min. 0.04            | XXX                           | XXX                  | 0.02                          | XXX                           |
| 3       | 0.01                            | 0.04 a 0.06          | 0.01                          | 0.04 a 0.06          | 0.01                          | 0.01                          |
| 4       | 0.03                            | 0.05 a 0.08          | 0.03                          | 0.05 a 0.08          | 0.01                          | 0.01                          |
| 5       | XXX                             | XXX                  | 0.01                          | 0.04 a 0.05          | XXX                           | 0.01                          |
| 6       | XXX                             | XXX                  | 0.01                          | 0.04 a 0.05          | XXX                           | 0.01                          |
| 7       | 0.01                            | Min. 0.05            | 0.01                          | Min. 0.05            | 0.01                          | 0.01                          |
| 8       | XXX                             | XXX                  | 0.01                          | 0.03 a 0.05          | XXX                           | 0.01                          |
| 9       | 0.02                            | 0.05 a 0.06          | 0.02                          | 0.05 a 0.06          | 0.01                          | 0.01                          |

Quadro I – Dados do processo anterior ao brunimento

| Empresa | Parâmetros Dimensionais             | Parâmetros de Superfície           | Parâmetros Utilizados        |
|---------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1       | Micrômetro externo Súbito / 0,01 mm | Rugosímetro Mitutoyo               | Ra, Rz, R3z Tabela Albarus   |
| 2       | Micrômetro externo Súbito / 0,01 mm | Rugosímetro Mitutoyo Surf test 211 | Ra (0,5 a 1,0) Norma Interna |
| 3       | Micrômetro externo Súbito / 0,01 mm | Visual                             | Tabela Albarus               |
| 4       | Micrômetro externo Súbito / 0,01 mm | Rugosímetro Mitutoyo SJ 201        | Tabela Albarus               |
| 5       | Micrômetro externo Súbito / 0,01 mm | Rugosímetro Mitutoyo Surf test 301 | R3z Mercedes Benz            |
| 6       | Micrômetro externo Súbito / 0,01 mm | Visual                             | Tabela Albarus               |
| 7       | Micrômetro externo Súbito / 0,01 mm | Visual                             | Tabela Albarus               |
| 8       | Micrômetro externo Súbito / 0,01 mm | Rugosímetro Mitutoyo Surf test 211 | Ra, Rz, R3z Tabela Albarus   |
| 9       | Micrômetro externo Súbito / 0,01 mm | Rugosímetro Mitutoyo Surf test 211 | Tabela Albarus               |

Quadro II – Instrumentos, Equipamentos, Parâmetros de Controle do Processo.

**ANEXO 1**  
**Dados do processo de brunimento**

| <b>Fluido de Brunimento</b> |                   |          |                              |          | <b>Sistema de Filtragem</b> |                  |                           |
|-----------------------------|-------------------|----------|------------------------------|----------|-----------------------------|------------------|---------------------------|
| <b>Empresa</b>              | <b>Solvente</b>   |          | <b>Soluto</b>                |          | <b>Volume Reservatório</b>  | <b>Filtragem</b> | <b>Elemento Filtrante</b> |
|                             | <b>Descrição</b>  | <b>%</b> | <b>Descrição</b>             | <b>%</b> |                             |                  |                           |
| 1<br>Ciclo Otto             | Óleo Diesel       | 90       | Óleo Sunnen<br>MAN-C-AS 8251 | 10       | 100 litros                  | Gravidade        | Papel Filtro              |
| 1<br>Ciclo Diesel           | Querosene         | 75       | Óleo SAE 10                  | 25       | 100 litros                  | Gravidade        | Papel Filtro              |
| 2<br>Ciclo Otto             | Querosene         | 75       | Óleo SAE 10                  | 25       | 90 litros                   | Xxx              | xxx                       |
| 3<br>Todos                  | Querosene         | 75       | Óleo SAE 10                  | 25       | 120 litros                  | Xxx              | xxx                       |
| 4<br>Todos                  | Querosene         | 80       | Óleo SAE 10                  | 20       | 80 litros                   | Pressão          | Cartucho Feltro           |
| 5<br>Ciclo Diesel           | Óleo Diesel       | 100      | Xxx                          | xx       | 160 litros                  | Xxx              | xxx                       |
| 6<br>Ciclo Diesel           | Óleo Diesel       | 100      | Xxx                          | xx       | 160 litros                  | Xxx              | xxx                       |
| 7<br>Todos                  | Querosene         | 70       | Óleo SAE 10                  | 30       | 100 litros                  | Xxx              | xxx                       |
| 8<br>Ciclo Diesel           | Querosene         | 70       | Óleo SAE 10                  | 30       | 120 litros                  | Pressão          | Cartucho Papel            |
| 9<br>Todos                  | Querosene Aviação | 100      | Xxx                          | xx       | 100 litros                  | Xxx              | xxx                       |

Quadro III – Fluidos de Brunimento e sistemas de Filtragem.

| <b>Limpeza Pós Brunimento</b> |   |                |                                       |
|-------------------------------|---|----------------|---------------------------------------|
| <b>Empresa</b>                | <b>Processo</b>                           |                | <b>Proteção da Superfície Brunida</b> |
|                               | <b>Limpeza</b>                            | <b>Secagem</b> |                                       |
| 1                             | Jato d'água<br>Banho Químico              | Ar Comprimido  | Óleo WD 40                            |
| 2                             | Banho Químico                             | Ao Ar          | Óleo SAE 30 ou SAE 40                 |
| 3                             | Jato d'água                               | Ar Comprimido  | Óleo SAE 30                           |
| 4                             | Querosene<br>Jato d'água quente           | Ar Comprimido  | Óleo SAE 30 ou SAE 40                 |
| 5                             | Óleo Diesel<br>Jato d'água                | Ar Comprimido  | Óleo SAE 30 ou SAE 40                 |
| 6                             | Óleo Diesel<br>Jato d'água                | Ar Comprimido  | Óleo Castrol CF-4-1540                |
| 7                             | Querosene<br>Jato d'água                  | Ar Comprimido  | Óleo SAE 40                           |
| 8                             | Óleo Diesel<br>Jato d'água + antiferrugem | Ar Comprimido  | XXXX                                  |
| 9                             | Óleo Diesel<br>Jato d'água                | Ar Comprimido  | Óleo WD 40                            |

Quadro IV – Sistemas de limpeza das Camisas Brunidas.

**ANEXO 1**  
**Dados do processo de brunimento**

**Abrasivos**

| Empresa | Ciclo Otto  |               |             | Ciclo Diesel |               |               |
|---------|-------------|---------------|-------------|--------------|---------------|---------------|
|         | Fabricante  | Especificação | Dimensões   | Fabricante   | Especificação | Dimensões     |
| 1       | Sunnen      | AN 300        | 102x9.5x9.5 | Sunnen       | AN 301        | 102x9.5x9.5   |
| 2       | Carborundum | GC 220 P VNW  | 102x9.5x9.5 | XXX          | XXX           | XXX           |
| 3       | Abrasipa    | GC 180 NSV    | 102x9.5x9.5 | Abrasipa     | GC 150 NSV    | 102x9.5x9.5   |
| 4       | Carborundum | GC 180 P VNW  | 102x9.5x9.5 | Carborundum  | GC 150 P VNW  | 102x9.5x9.5   |
| 5       | XXX         | XXX           | XXX         | Carborundum  | GC 150 P VNW  | 127x12.7x12.7 |
| 6       | XXX         | XXX           | XXX         | Abrasipa     | GC 120 NSV    | 127x12.7x12.7 |
| 7       | Carborundum | GC 120 P VNW  | 102x9.5x9.5 | Carborundum  | GC 120 P VNW  | 102x9.5x9.5   |
| 8       | XXX         | XXX           | XXX         | Abrasipa     | GC 120 NSV    | 102x9.5x9.5   |
| 9       | Carborundum | GC 150 P VNW  | 102x9.5x9.5 | Carborundum  | GC 150 P VNW  | 102x9.5x9.5   |

Quadro V – Características das ferramentas abrasivas.

| Fabricante Modelo | Origem | Ano de Fabricação | Utilização   | Empresa | Processo Brunimento |
|-------------------|--------|-------------------|--------------|---------|---------------------|
| Mototest MB 300   | Brasil | 1985              | Ciclo Otto   | 1       | Uma Fase            |
|                   |        | 1989              | Ciclo Diesel | 1       | Uma Fase            |
|                   |        | Xxxx              | Ciclo Otto   | 2       | Uma Fase            |
| Zanrosso REX-Y    | Itália | Xxxx              | Ciclo Otto   | 2       | Uma Fase            |
| Berco D 33-A      | Itália | Xxxx              | Todos        | 3       | Uma Fase            |
| Landa HM 350 S2   | Brasil | 1993              | Todos        | 4       | Uma Fase            |
| Berço DY 600      | Itália | 1998              | Ciclo Diesel | 5       | Uma Fase            |
|                   |        | 1998              | Ciclo Diesel | 6       | Uma Fase            |
| Italmicro MB 300  | Brasil | 1999              | Todos        | 7       | Uma Fase            |
| Robbi SET 150 L   | Italia | 1996              | Ciclo Diesel | 8       | Uma Fase            |
| P. Buchly         | Xxx    | Xxxx              | Todos        | 9       | Uma Fase            |

Quadro VI – Brunidoras e sua utilização.

**ANEXO 1**  
**Dados do processo de brunimento**

| Fabricante<br>Modelo | Movimento de Rotação   |                                 |                      | Movimento de Translação |                          |          |               |
|----------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|----------|---------------|
|                      | Forma                  | Rotações<br>[rpm]               | Potência             | Forma                   | Valores                  | Potência | Curso<br>[mm] |
| Mototest<br>MB 300   | Correias               | 110                             | 2 C.v.               | Hidráulico              | 0 a 22<br>m/min          | 3 C.v.   | 300           |
| Zanrosso<br>REX-Y    | Correias               | 150<br>200                      | 0,6 H.P.<br>0,8 H.P. | Hidráulico              | 0 a 22<br>m/min          | 1,5 H.P. | 255           |
| Berco<br>D 33-A      | Caixa de<br>Velocidade | 56, 67, 160,<br>192<br>320,384. | 4 C.v.               | Biela<br>Manivela       | 47 67.<br>Golpes/mi<br>n | 4 C.v.   | 350           |
| Landa<br>HM 350 S2   | Correias               | 85, 170                         | 1,5 C.v.<br>3,0 C.v. | Hidráulico              | 0 a 24<br>m/min          | 2 C.v.   | 350           |
| Berço<br>DY 600      | Caixa de<br>Velocidade | 45, 63, 90,<br>125<br>180,250.  | 5,5 H.P.<br>3,5 H.P. | Hidráulico              | 0,1 a 20<br>m/min        | 5,5 H.P. | 600           |
| Italmicro<br>MB 300  | Correias               | 110                             | 3 C.v.               | Hidráulico              | 0 a 22<br>m/min          | 4 C.v.   | 300           |
| Robbi<br>SET 150 L   | Correias               | 70 a 140                        | 1,5 C.v.<br>2,2 C.v. | Hidráulico              | 18 m/min                 | 2 Cv     | 380           |
| P. Buchly            | Caixa de<br>Velocidade | 82, 115, 160                    | 2,5 C.v.             | Hidráulico              | Fixo                     | Xxx      | 600           |

Quadro VII – Características das brunidoras.

| Fabricante<br>Modelo | Empresa | Forma de<br>Expansão              | Modo de<br>Operação    | Quant.<br>Réguas | Comprimento<br>Das Réguas | Quant.<br>Guias | Juntas<br>Universais |
|----------------------|---------|-----------------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|----------------------|
| Sunnen<br>"AN"       | 1<br>2  | Cremalheira<br>Manual<br>Brunidor | Brunidora<br>Parada    | 2                | 102 mm                    | 2<br>Alumínio   | 1                    |
| IAB<br>"STAND"       | 3<br>9  | Cremalheira<br>Manual<br>Brunidor | Brunidora<br>Parada    | 2                | 102 mm                    | 2<br>Feltro     | 1                    |
| Italmicro<br>"CB 74" | 4<br>7  | Cones<br>Manual<br>Brunidor       | Brunidora<br>Movimento | 5                | 102 mm                    | Xxx             | 2<br>1               |
| Berco<br>"L 7 B"     | 5<br>6  | Cones<br>Manual<br>Maquina        | Brunidora<br>Movimento | 5                | 128 mm                    | Xxx             | 1                    |
| Robbi<br>"L-70"      | 8       | Cones<br>Manual<br>Maquina        | Brunidora<br>Movimento | 6                | 102 mm                    | Xxx             | 1                    |

Quadro VIII – Características dos cabeçotes brunidores.

### Dados dimensionais e geométricos das camisas de pistão

O quadro IX mostra as dimensões das camisas de cilindro pré e pós brunimento classificando-as por empresa e processo utilizado. Todas as camisas foram medidas antes do processo de brunimento em seis pontos diferentes, conforme Figura 3.1, e também após o processo de brunimento nos mesmos pontos.

Os valores de  $D_{max}$  e  $D_{min}$ , para o processo anterior e pós-processo de brunimento foram obtidos pela diferença entre a maior dimensão e a menor dimensão, medidas na parte superior, média e inferior das camisas. Tomando-se como exemplo a camisa número 15 tem-se:

- Dimensões do processo anterior.
  - Superior: 87.04 mm e 87.05 mm.
  - Média : 87.03 mm e 87.05 mm.
  - Inferior : 87.03 mm e 87.05 mm.
  - $D_{max} = 87.05$  mm,  $D_{min} = 87.03$  mm.
  - Circularidade = 0.02 mm, Conicidade = 0.02 mm.
- Dimensões após processo de brunimento.
  - Superior : 87.11 mm e 87.11 mm.
  - Média : 87.11 mm e 87.11 mm.
  - Inferior : 87.11 mm e 87.11 mm
  - $D_{max} = 87.11$  mm,  $D_{min} = 87.11$  mm.
  - Circularidade = 0.00 mm, Conicidade = 0.00 mm.
- Material removido
  - Mat. Removido =  $D_{max}(\text{pós brunimento}) - D_{min}(\text{antes brunimento})$ .
  - Mat Removido =  $87.11 - 87.03 = 0.08$  mm
- Alteração
  - Circularidade =  $\text{Circular. (antes brunimento)} - \text{Circular. (pós brunimento)}$
  - Circularidade =  $0.02 - 0.00 = 0.02$  mm.
  - Conicidade =  $\text{Conicidade(antes brunimento)} - \text{Conicidade(pós brunimento)}$
  - Conicidade =  $0.02 - 0.000 = 0.02$  mm

### Dados dimensionais e geométricos das camisas de pistão

Conforme procedimentos, acima demonstrados, os valores da circularidade e da conicidade na coluna "Alteração" do quadro IX serão positivos quando o processo de brunimento melhorar a circularidade e conicidade, e negativos, quando a camisa, após o processo de brunimento, apresentar circularidade e conicidade maiores que as obtidas no processo anterior.

| Empresa | Processo | Camisas | Processo anterior |       |       |        | Processo de brunimento |       |       |        |          | Alteração    |              |
|---------|----------|---------|-------------------|-------|-------|--------|------------------------|-------|-------|--------|----------|--------------|--------------|
|         |          |         | Dmax              | Dmin  | Circ. | Cônico | Dmax                   | Dmin  | Circ. | Cônico | Mat. Rem | Circ.        | Cônico       |
|         |          |         |                   |       |       |        |                        |       |       |        |          |              |              |
| 1       | Otto     | 15      | 87.05             | 87.03 | 0.02  | 0.02   | 87.11                  | 87.11 | 0     | 0      | 0.08     | 0.02         | 0.02         |
|         |          | 16      | 87.09             | 87.06 | 0.02  | 0.03   | 87.10                  | 87.10 | 0     | 0      | 0.02     | 0.02         | 0.03         |
|         | Diesel   | 13      | 87.08             | 87.07 | 0     | 0.01   | 87.11                  | 87.11 | 0     | 0      | 0.03     | 0            | 0.01         |
|         |          | 14      | 87.09             | 87.07 | 0.02  | 0.02   | 87.12                  | 87.12 | 0     | 0      | 0.04     | 0.02         | 0.02         |
| 2       | Otto     | 53      | 86.97             | 86.96 | 0.01  | 0      | 86.01                  | 86.00 | 0.01  | 0.01   | 0.05     | 0            | <u>-0.01</u> |
|         |          | 54      | 85.95             | 85.93 | 0.01  | 0.02   | 86.00                  | 86.00 | 0     | 0      | 0.06     | 0.01         | 0.02         |
| 3       | Otto     | 6       | 85.98             | 85.96 | 0.01  | 0.02   | 87.02                  | 87.01 | 0.01  | 0.01   | 0.05     | 0            | 0.01         |
|         |          | 8       | 87.09             | 87.08 | 0.01  | 0      | 87.15                  | 87.15 | 0     | 0      | 0.07     | 0.01         | 0            |
|         | Diesel   | 11      | 87.08             | 87.07 | 0.01  | 0      | 87.10                  | 87.10 | 0     | 0      | 0.03     | 0.01         | 0            |
|         |          | 12      | 87.09             | 87.06 | 0.02  | 0.03   | 87.12                  | 87.12 | 0     | 0      | 0.06     | 0.02         | 0.03         |
| 4       | Otto     | 1       | 87.07             | 87.05 | 0.02  | 0      | 87.11                  | 87.10 | 0.01  | 0      | 0.06     | 0.01         | 0            |
|         |          | 3       | 87.06             | 87.04 | 0.02  | 0.02   | 87.12                  | 87.12 | 0     | 0      | 0.08     | 0.02         | 0.02         |
|         | Diesel   | 4       | 87.05             | 87.04 | 0.01  | 0      | 87.09                  | 87.09 | 0     | 0      | 0.05     | 0.01         | 0            |
| 19      |          | 87.09   | 87.08             | 0.01  | 0     | 87.11  | 87.11                  | 0     | 0     | 0.03   | 0.01     | 0            |              |
| 5       | Diesel   | 21      | 87.08             | 87.06 | 0.02  | 0.02   | 87.10                  | 87.09 | 0.01  | 0.01   | 0.03     | 0.01         | 0.01         |
|         |          | 22      | 87.09             | 87.07 | 0.02  | 0.02   | 87.11                  | 87.10 | 0.01  | 0.01   | 0.04     | 0.01         | 0.01         |
|         |          | 34      | 87.09             | 87.07 | 0.02  | 0      | 87.11                  | 87.10 | 0.01  | 0.01   | 0.04     | 0.01         | <u>-0.01</u> |
| 6       | Diesel   | 20      | 87.09             | 87.08 | 0.01  | 0.01   | 87.10                  | 87.10 | 0     | 0      | 0.03     | 0.01         | 0.01         |
|         |          | 33      | 87.07             | 87.05 | 0.02  | 0.02   | 87.10                  | 87.10 | 0     | 0      | 0.04     | 0.02         | 0.02         |
|         |          | 47      | 86.97             | 86.95 | 0.02  | 0.02   | 87.10                  | 87.10 | 0     | 0      | 0.05     | 0.02         | 0.02         |
| 7       | Todos    | 31      | 87.09             | 87.07 | 0.02  | 0.02   | 87.10                  | 87.10 | 0     | 0      | 0.03     | 0.02         | 0.02         |
|         |          | 32      | 87.06             | 87.04 | 0.02  | 0.02   | 87.10                  | 87.09 | 0.01  | 0.01   | 0.05     | 0.01         | 0.01         |
|         |          | 39      | 86.97             | 86.96 | 0.01  | 0      | 87.01                  | 87.00 | 0.01  | 0.01   | 0.05     | 0            | <u>-0.01</u> |
| 8       | Diesel   | 29      | 87.07             | 87.04 | 0.02  | 0.03   | 87.15                  | 87.10 | 0.05  | 0.05   | 0.10     | <u>-0.03</u> | <u>-0.02</u> |
|         |          | 44      | 86.96             | 86.95 | 0.01  | 0      | 87.09                  | 87.04 | 0.05  | 0.04   | 0.14     | <u>-0.04</u> | <u>-0.04</u> |
|         |          | 49      | 86.96             | 86.95 | 0.01  | 0      | 87.09                  | 87.07 | 0.01  | 0.02   | 0.14     | 0            | <u>-0.02</u> |
| 9       | Todos    | 27      | 87.09             | 87.06 | 0.03  | 0.01   | 87.10                  | 87.09 | 0.01  | 0.01   | 0.04     | 0.02         | 0            |
|         |          | 28      | 87.08             | 87.06 | 0.03  | 0.02   | 87.10                  | 87.09 | 0.01  | 0.01   | 0.02     | 0.02         | 0            |
|         |          | 41      | 86.96             | 86.95 | 0.01  | 0      | 86.99                  | 86.98 | 0.01  | 0.01   | 0.04     | 0            | <u>-0.01</u> |
|         |          | 43      | 86.98             | 86.96 | 0.02  | 0.01   | 87.01                  | 87.00 | 0.01  | 0.01   | 0.06     | 0.01         | 0            |

Quadro IX - Dimensões das camisas pré e pós brunimento.

Legenda:

Normal: Dados da operação anterior.

Negrito: Dados da operação de brunimento.

Italico: Alteração positiva.

Negrito sublinhado: Alteração negativa

## Dados dimensionais e geométricos das camisas de pistão

| COMPARAÇÃO DOS ERROS GEOMÉTRICOS ANTES E APÓS BRUNIMENTO            |          |    |       |          |        |        |        |        |            |      |
|---|----------|----|-------|----------|--------|--------|--------|--------|------------|------|
| ERROS   | EMPRESAS |    |       |          |        |        |        |        |            |      |
|   | 1        | 2  | 3     | 4        | 5      | 6      | 7      | 8      | 9          | Soma |
| <b>BRUNIMENTO MELHOROU AS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS PEÇAS</b> |          |    |       |          |        |        |        |        |            |      |
| Circularidade   | 14, 15   | 54 | 12    | 3        | 22, 21 | 20, 47 | 31, 32 |        |            | 12   |
| Conicidade  | 16       |    |       |          |        |        |        |        |            |      |
| Circularidade   |          |    | 8, 11 | 1, 4, 19 | 34     | 33     |        |        | 27, 28, 43 | 10   |
| Conicidade  | 13       |    | 6     |          |        |        |        |        |            | 2    |
| <b>BRUNIMENTO PIOROU AS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS PEÇAS</b>   |          |    |       |          |        |        |        |        |            |      |
| Circularidade   |          |    |       |          |        |        |        | 29, 44 |            | 2    |
| Conicidade  |          |    |       |          |        |        |        |        |            |      |
| Circularidade   |          |    |       |          |        |        |        |        |            |      |
| Conicidade  |          | 53 |       |          | 34     |        | 39     | 49     | 41         | 5    |
| <b>BRUNIMENTO MANTEVE AS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS PEÇAS</b>  |          |    |       |          |        |        |        |        |            |      |
| Circularidade   |          |    |       |          |        |        |        |        |            |      |
| Conicidade  |          |    |       |          |        |        |        |        |            |      |
| Circularidade   | 13       | 53 | 6     |          |        |        | 39     | 49     | 41         | 5    |
| Conicidade  |          |    | 8, 11 | 1, 4, 19 |        | 33     |        |        | 27, 28, 43 | 9    |

Quadro X – Comparação dos erros geométricos antes e pós brunimento.

| CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS CAMISAS PÓS BRUNIMENTO |                |                                     |                |   |          |   |                |   |            |
|--|----------------|-------------------------------------|----------------|---|----------|---|----------------|---|------------|
| Empresa  | Quant. Camisas | Circularidade = 0<br>Conicidade = 0 |                | Circularidade = 0.01<br>Conicidade = 0.00 |          | Circularidade = 0.01<br>Conicidade = 0.01 |                | Circularidade > 0.01<br>Conicidade > 0.01 |            |
|  |                | %                                   | Camisas        | %   | Camisas  | %   | Camisas        | %   | Camisas    |
| 1  | 4              | 100                                 | 13, 14, 15, 16 |   |          |   |                |   |            |
| 2  | 2              | 50                                  | 54             |   |          | 50  | 53             |   |            |
| 3  | 4              | 75                                  | 8, 11, 12      |   |          | 25  | 6              |   |            |
| 4  | 4              | 75                                  | 3, 4, 19       | 25  | 1        |   |                |   |            |
| 5  | 3              |                                     |                |   |          | 100                                       | 21, 22, 34     |   |            |
| 6  | 3              | 100                                 | 20, 33, 47     |   |          |   |                |   |            |
| 7  | 3              | 33.3                                | 31             |   |          | 66.7                                      | 32, 39         |   |            |
| 8  | 3              |                                     |                |   |          |   |                | 100                                       | 29, 44, 49 |
| 9  | 4              |                                     |                |   |          | 100                                       | 27, 28, 41, 43 |   |            |
| Todas  | 30             | 50                                  | 15 camisas     | 3.3                                       | 1 camisa | 36.7                                      | 11 camisas     | 10  | 3 camisas  |

Quadro XI- Características geométricas das camisas após brunimento.

### Dados da superfície brunida e valores de referência

Os resultados obtidos foram dispostos em duas tabelas, uma para as texturas ciclo Otto e outra para as texturas ciclo Diesel. Nestas tabelas, as empresas 7 e 9 contribuem com os mesmos valores, pois estas empresas produzem apenas uma textura para ciclo Otto e Diesel.

O quadro XII, apresenta o ângulo de cruzamento  $2\beta$ , os parâmetros de rugosidade e os valores especificados para diversos motores de combustão interna, agrupando-os, por fabricante e modelo. Estes dados foram compilados e agrupados em forma de especificação técnica pela empresa Albarus, fabricante de autopeças [N.N., Albarus, sem data]. Estas especificações foram encontradas na maioria das empresas participantes.

O nível de significância dos dados foi determinado e se mostrou maior que 98%, conforme mostrado nas Tabelas 7.1 e 7.2.

A Tabela 7.1 apresenta os valores médios, por empresa, dos parâmetros de rugosidade, para as texturas denominadas de ciclo Otto.

Tabela 7.1 – Valores dos parâmetros de rugosidade para ciclo Otto.

| Empresas           | 1          | 2          | 3          | 4          | 7          | 9           |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| Camisas N°         | 15/16      | 53/54      | 6/8        | 1/3        | 31/32/39   | 27/28/41/43 |
| Parâmetro          | Média [µm]  |
| <i>Ra</i>          | 0,63       | 0,40       | 0,95       | 0,78       | 1,00       | 0,83        |
| <i>Rq</i>          | 0,84       | 0,57       | 1,22       | 1,02       | 1,39       | 1,12        |
| <i>Rz</i>          | 5,26       | 3,42       | 7,17       | 5,85       | 7,62       | 6,88        |
| <i>Rt</i>          | 7,00       | 6,22       | 9,51       | 7,99       | 12,60      | 10,82       |
| <i>R3z</i>         | 3,56       | 2,10       | 4,83       | 3,89       | 4,39       | 4,15        |
| <i>Rmax</i>        | 6,58       | 5,85       | 9,23       | 7,51       | 11,75      | 10,30       |
| <i>Rpm</i>         | 2,12       | 1,15       | 3,20       | 2,32       | 2,91       | 2,84        |
| <i>Rpk</i>         | 0,69       | 0,33       | 1,02       | 0,70       | 0,93       | 0,84        |
| <i>Rk</i>          | 1,72       | 1,01       | 2,80       | 2,10       | 2,69       | 2,32        |
| <i>Rvk</i>         | 1,29       | 1,00       | 1,60       | 1,69       | 2,30       | 1,68        |
| <i>A1 x[0.001]</i> | 31,55      | 13,59      | 44,72      | 24,33      | 36,11      | 35,70       |
| <i>A2 x[0.001]</i> | 99,61      | 79,53      | 109,25     | 139,57     | 174,69     | 117,88      |
| <i>Mr1</i>         | 8,73       | 8,05       | 8,52       | 6,82       | 7,66       | 8,15        |
| <i>Mr2</i>         | 84,82      | 84,23      | 86,53      | 83,48      | 85,50      | 86,17       |

Legenda.

Normal: Texturas ciclo Otto.

Negrito: Texturas únicas para ciclo Otto e Diesel.

### Dados da superfície brunida e valores de referência

A Tabela 7.2 apresenta os valores médios, por empresa, dos parâmetros de rugosidade, para as texturas denominadas de ciclo Diesel.

Tabela 7.2 – Valores dos parâmetros de rugosidade para ciclo Diesel.

| Empresas           | 1             | 3             | 4             | 5             | 6             | 7             | 8             | 9             |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Camisas Nº         | 13/14         | 11/12         | 4/19          | 21/22/34      | 20/33/47      | 31/32/39      | 29/44/49      | 27/28/41/43   |
| Parâmetro          | Média<br>[µm] |
| <i>Ra</i>          | 0,85          | 1,19          | 0,62          | 0,69          | 0,89          | <b>1,00</b>   | 1,71          | <b>0,83</b>   |
| <i>Rq</i>          | 1,12          | 1,54          | 0,83          | 0,92          | 1,16          | <b>1,39</b>   | 2,18          | <b>1,12</b>   |
| <i>Rz</i>          | 7,06          | 8,90          | 4,96          | 5,69          | 7,00          | <b>7,62</b>   | 11,32         | <b>6,88</b>   |
| <i>Rt</i>          | 9,35          | 11,30         | 7,08          | 8,07          | 10,26         | <b>12,60</b>  | 14,98         | <b>10,82</b>  |
| <i>R3z</i>         | 4,66          | 6,12          | 3,32          | 3,46          | 4,61          | <b>4,39</b>   | 8,09          | <b>4,15</b>   |
| <i>Rmax</i>        | 9,01          | 10,55         | 6,65          | 7,59          | 9,28          | <b>11,75</b>  | 14,11         | <b>10,30</b>  |
| <i>Rpm</i>         | 3,17          | 3,87          | 1,98          | 2,19          | 3,07          | <b>2,91</b>   | 5,38          | <b>2,84</b>   |
| <i>Rpk</i>         | 1,00          | 1,15          | 0,59          | 0,66          | 1,06          | <b>0,93</b>   | 1,90          | <b>0,84</b>   |
| <i>Rk</i>          | 2,46          | 3,53          | 1,72          | 1,95          | 2,65          | <b>2,69</b>   | 5,02          | <b>2,32</b>   |
| <i>Rvk</i>         | 1,62          | 2,20          | 1,35          | 1,46          | 1,79          | <b>2,30</b>   | 2,62          | <b>1,68</b>   |
| <i>A1 x[0.001]</i> | 45,99         | 50,07         | 21,90         | 24,91         | 48,25         | <b>36,11</b>  | 87,07         | <b>35,70</b>  |
| <i>A2 x[0.001]</i> | 102,88        | 145,40        | 101,88        | 109,60        | 132,21        | <b>174,69</b> | 181,24        | <b>117,88</b> |
| <i>Mr1</i>         | 9,00          | 8,65          | 7,43          | 7,51          | 9,00          | <b>7,66</b>   | 9,11          | <b>8,15</b>   |
| <i>Mr2</i>         | 87,37         | 86,70         | 84,95         | 85,27         | 85,41         | <b>85,50</b>  | 86,18         | <b>86,17</b>  |

Legenda.

Normal: Texturas ciclo Diesel.

Negrito: Texturas únicas para ciclo Otto e Diesel.

### ANEXO 3

#### Dados da superfície brunida e valores de referência

| TABELA DE ESPECIFICAÇÕES DE BRUNIMENTO  |                     |               |            |                                   |                             |              |                                  |
|---|---------------------|---------------|------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------------------|
| Aplicação                               | Número de Cilindros | Diâmetro [mm] | Curso [mm] | Ângulo de Cruzamento $2\beta$ [°] | Especificação da Rugosidade |              | Grão da pedra Aconselhada [mesh] |
|   |                     |               |            |                                   | Parâmetro                   | Valores [µm] |                                  |
| <b>FIAT DIESEL</b>                      |                     |               |            |                                   |                             |              |                                  |
| 80                                      | 4                   | 115           | 130        | 110 ~ 140                         | Ra                          | 0.8 ~ 1.2    | 100 ~ 120                        |
| 140                                     | 6                   | 115           | 130        | 110 ~ 140                         | Ra                          | 0.8 ~ 1.2    | 100 ~ 120                        |
| 70                                      | 4                   | 110           | 130        | 110 ~ 140                         | Ra                          | 0.8 ~ 1.2    | 100 ~ 120                        |
| 120                                     | 6                   | 110           | 130        | 110 ~ 140                         | Ra                          | 0.8 ~ 1.2    | 100 ~ 120                        |
| D11000, 180, 180R, 210 Mille            | 6                   | 125           | 150        | 105 ~ 135                         | Ra                          | 0.8 ~ 1.3    | 100 ~ 120                        |
| <b>FIAT ALCOOL E GASOLINA</b>           |                     |               |            |                                   |                             |              |                                  |
| Motor 1050                              | 4                   | 76            | 57.8       | 120                               | Ra                          | 0.4 ~ 1.0    | 150 ~ 180                        |
| Motor 1300                              | 4                   | 76            | 71.5       | 120                               | Ra                          | 0.4 ~ 1.0    | 150 ~ 180                        |
| Motor 1500                              | 4                   | 86.4          | 63.9       | 120                               | Ra                          | 0.4 ~ 1.0    | 150 ~ 180                        |
| Alfa Romeo, 2300 B, T14                 | 4                   | 88            | 95         | 120                               | Ra                          | 0.5 ~ 1.0    | 120 ~ 150                        |
| <b>FORD DIESEL</b>                      |                     |               |            |                                   |                             |              |                                  |
| 4600                                    | 3                   | 111.76        | 111.76     | 135                               | Ra                          | 0.38 ~ 0.96  | 180 ~ 220                        |
| 6600                                    | 4                   | 111.76        | 106.68     | 135                               | Ra                          | 0.38 ~ 0.96  | 180 ~ 220                        |
| Cargo                                   | 6                   | 111.80        | 111.80     | 135                               | Ra                          | 0.38 ~ 0.96  | 180 ~ 220                        |
| <b>FORD ALCOOL E GASOLINA</b>           |                     |               |            |                                   |                             |              |                                  |
| Corcel 1300                             | 4                   | 73            | 77         | 110 ~ 140                         | Ra                          | 0.5 ~ 1.0    | 120 ~ 150                        |
| Corcel 1.4, Corcel II, Del Rey          | 4                   | 75.3          | 77         | 110 ~ 140                         | Ra                          | 0.6 ~ 1.0    | 120 ~ 150                        |
| Belina II 1.6, Escort, Del Rey          | 4                   | 77            | 83.5       | 110 ~ 140                         | Ra                          | 0.6 ~ 1.0    | 120 ~ 150                        |
| Ford 1.6 Cht                            | 4                   | 77            | 83.5       | 110 ~ 140                         | Ra                          | 0.6 ~ 1.0    | 120 ~ 150                        |
| <b>GENERAL MOTORS ALCOOL E GASOLINA</b> |                     |               |            |                                   |                             |              |                                  |
| Chevette 1.4                            | 4                   | 82            | 66.7       | 120 +/- 10                        | Ra                          | 0.5 ~ 0.75   | 180                              |
| Chevette 1.6 e 1.6 S                    | 4                   | 82            | 75.7       | 120 +/- 10                        | Ra                          | 0.5 ~ 0.75   | 180                              |
| Monza 1.6                               | 4                   | 79.98         | 79.5       | 120 +/- 10                        | Ra                          | 0.5 ~ 1.5    | 180                              |
| Monza 1.8                               | 4                   | 84.78         | 79.5       | 120 +/- 10                        | Ra                          | 0.5 ~ 1.5    | 180                              |
| Monza 2.0                               | 4                   | 86            | 86         | 120 +/- 10                        | Ra                          | 0.5 ~ 1.5    | 180                              |
| Opala 2500                              | 4                   | 101.6         | 76.2       | 120                               | Rt                          | 3.5 ~ 6.0    | 150                              |
| Opala 4100                              | 6                   | 98.42         | 89.7       | 120                               | Rt                          | 3.5 ~ 6.0    | 150                              |
| <b>MERCEDES BENZ</b>                    |                     |               |            |                                   |                             |              |                                  |
| OM-314                                  | 4                   | 97            | 128        | 120                               | R3z                         | 3.0 ~ 5.0    | 150                              |
| OM-352                                  | 6                   | 97            | 128        | 120                               | R3z                         | 3.0 ~ 5.0    | 150                              |
| OM-352-A                                | 6                   | 97            | 128        | 120                               | R3z                         | 3.0 ~ 5.0    | 120                              |
| OM-355/5                                | 5                   | 128           | 150        | 120                               | R3z                         | 3.0 ~ 5.0    | 120                              |
| OM-355/6                                | 6                   | 128           | 150        | 120                               | R3z                         | 3.0 ~ 5.0    | 120                              |
| OM-355/6-A                              | 6                   | 128           | 150        | 120                               | R3z                         | 3.0 ~ 5.0    | 120                              |
| OM-364                                  | 4                   | 97.5          | 133        | 120                               | R3z                         | 3.0 ~ 5.0    | 150                              |
| OM-364/A                                | 4                   | 97.5          | 133        | 120                               | R3z                         | 3.0 ~ 5.0    | 150                              |
| OM-366                                  | 6                   | 97.5          | 133        | 120                               | R3z                         | 3.0 ~ 5.0    | 150                              |
| OM-366-A                                | 6                   | 97.5          | 133        | 120                               | R3z                         | 3.0 ~ 5.0    | 150                              |
| OM-366-LA                               | 6                   | 97.5          | 133        | 120                               | R3z                         | 3.0 ~ 5.0    | 150                              |
| <b>PERKINS</b>                          |                     |               |            |                                   |                             |              |                                  |
| 3152                                    | 3                   | 91.49         | 127        | 120 ~ 150                         | Ra                          | 0.8 ~ 1.2    | 100 ~ 120                        |
| 4203, D4203                             | 4                   | 91.49         | 127        | 120 ~ 150                         | Ra                          | 0.8 ~ 1.2    | 100 ~ 120                        |
| 4248                                    | 4                   | 101.7         | 127        | 120 ~ 150                         | Ra                          | 0.8 ~ 1.2    | 100 ~ 120                        |
| 6358                                    | 6                   | 104.15        | 114.3      | 120 ~ 150                         | Ra                          | 0.8 ~ 1.2    | 100 ~ 120                        |
| 6357                                    | 6                   | 104.15        | 114.3      | 120 ~ 150                         | Ra                          | 0.8 ~ 1.2    | 100 ~ 120                        |
| 6357.2                                  | 6                   | 104.15        | 114.3      | 120 ~ 150                         | Ra                          | 0.8 ~ 1.2    | 100 ~ 120                        |
| <b>VOLKSWAGEM</b>                       |                     |               |            |                                   |                             |              |                                  |
| 1200-AR                                 | 4                   | 77            | 64         | 100 ~ 140                         | Rz                          | 3.0 ~ 8.0    | 120 ~ 150                        |
| 1300-AR                                 | 4                   | 77            | 69         | 100 ~ 140                         | Rz                          | 3.0 ~ 8.0    | 120 ~ 150                        |
| 1500-AR                                 | 4                   | 83            | 69         | 100 ~ 140                         | Rz                          | 3.0 ~ 8.0    | 120 ~ 150                        |
| 1600-AR                                 | 4                   | 85.5          | 69         | 100 ~ 140                         | Rz                          | 3.0 ~ 8.0    | 120 ~ 150                        |
| 1.6 AGUA                                | 4                   | 85.5          | 69         | 100 ~ 140                         | Rz                          | 3.0 ~ 8.0    | 120 ~ 150                        |
| MD270                                   | 4                   | 79.5          | 80         | 120 +/- 10                        | Rt                          | 2.0 ~ 5.0    | 180                              |
| AP600 1.6                               | 4                   | 81            | 77.4       | 120 +/- 10                        | Rt                          | 2.0 ~ 5.0    | 180                              |
| AO800 1.8                               | 4                   | 81            | 86.4       | 120 +/- 10                        | Rt                          | 2.0 ~ 5.0    | 180                              |
| VW AP2000                               | 4                   | 82.5          | 92.8       | 120 +/- 10                        | Rt                          | 2.0 ~ 5.0    | 180                              |
| <b>MWM</b>                              |                     |               |            |                                   |                             |              |                                  |
| D226                                    | 4                   | 105           | 120        | 115 ~ 135                         | Ra                          | 0.8 ~ 1.2    | 120                              |

Quadro XII - Parâmetros do processo e controle segundo Albarus.

FONTE: N.N., Albarus, sem data.