

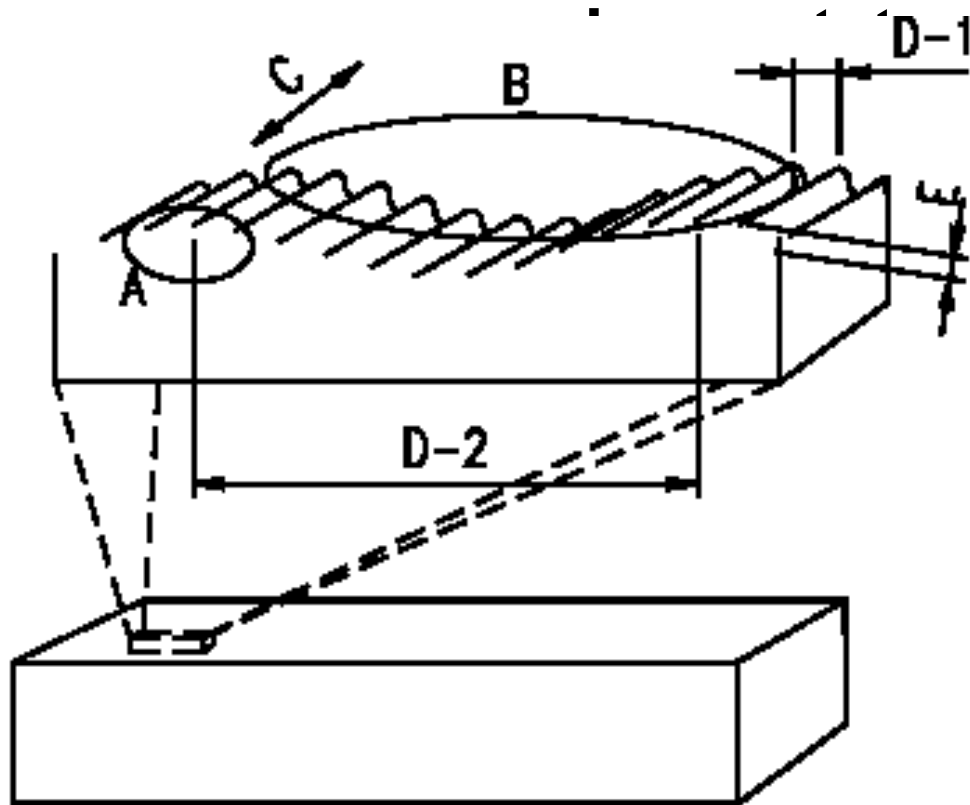
PMR 3103

Rugosidade Superficial

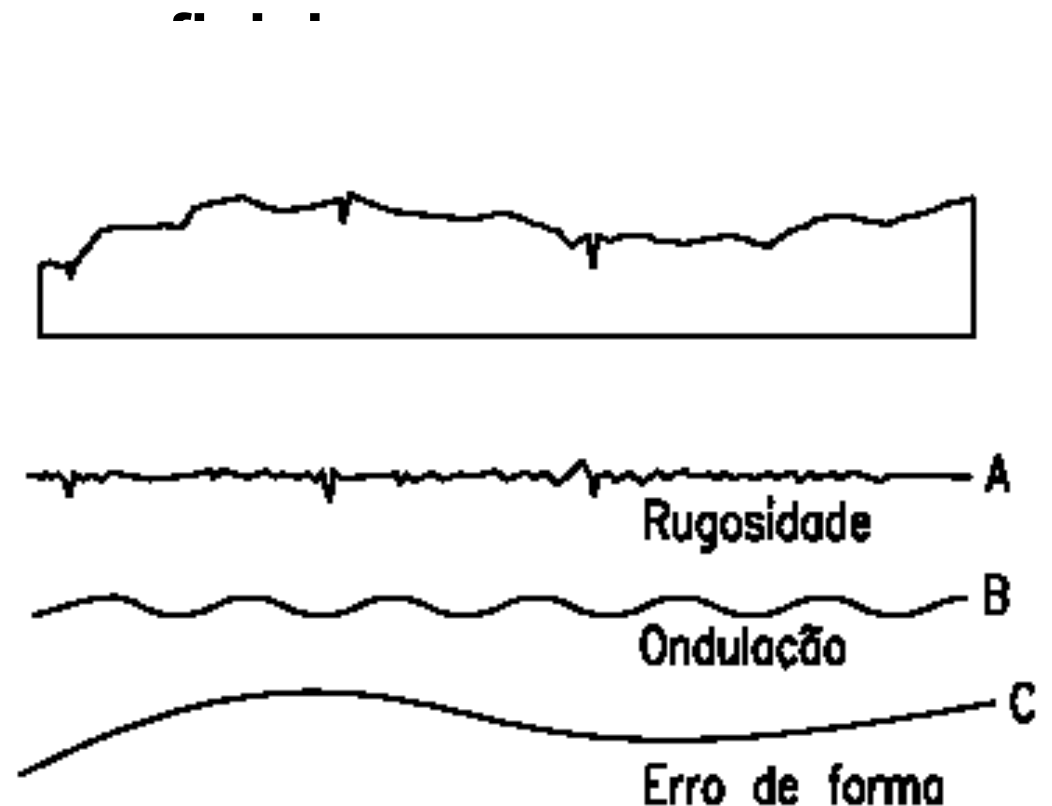
- **DESVIO DE FORMA MICROGEOMÉTRICO.**
- Formado por:
 - marcas na superfície da peça,
 - ranhuras e sulcos
- Causas:
 - processo de fabricação: ferramenta, material, velocidade, rigidez do equipamento, lubrificação etc.

- **IMPORTÂNCIA:**

- resistência ao desgaste
- propriedades do ajuste (folga e/ou interferência)
- aparência
- qualidade da aderência que a superfície oferece às



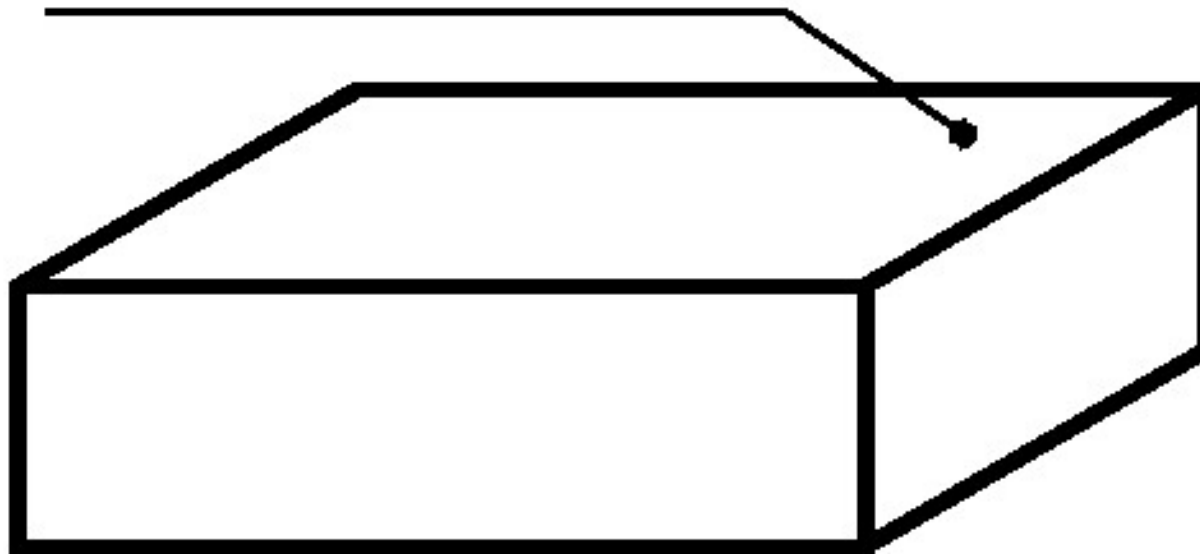
Elementos que compõe a superfície.



1. DEFINIÇÕES

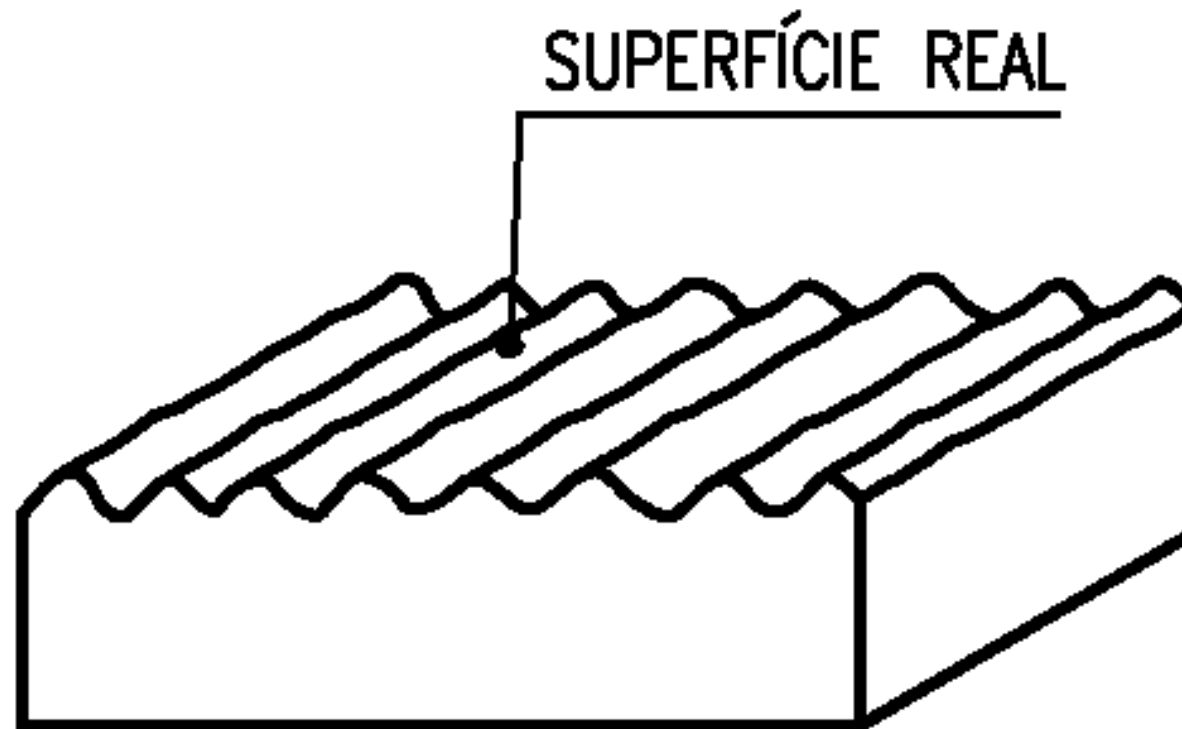
- A terminologia: NBR ISO 4287:2002
- **1.1 Superfície Geométrica:** é a superfície ideal prescrita no projeto, sem erros de forma.

SUPERFÍCIE GEOMÉTRICA



A superfície geométrica é, por definição, perfeita.

- **1.2 Superfície Real:** é a superfície resultante do processo empregado na fabricação da peça



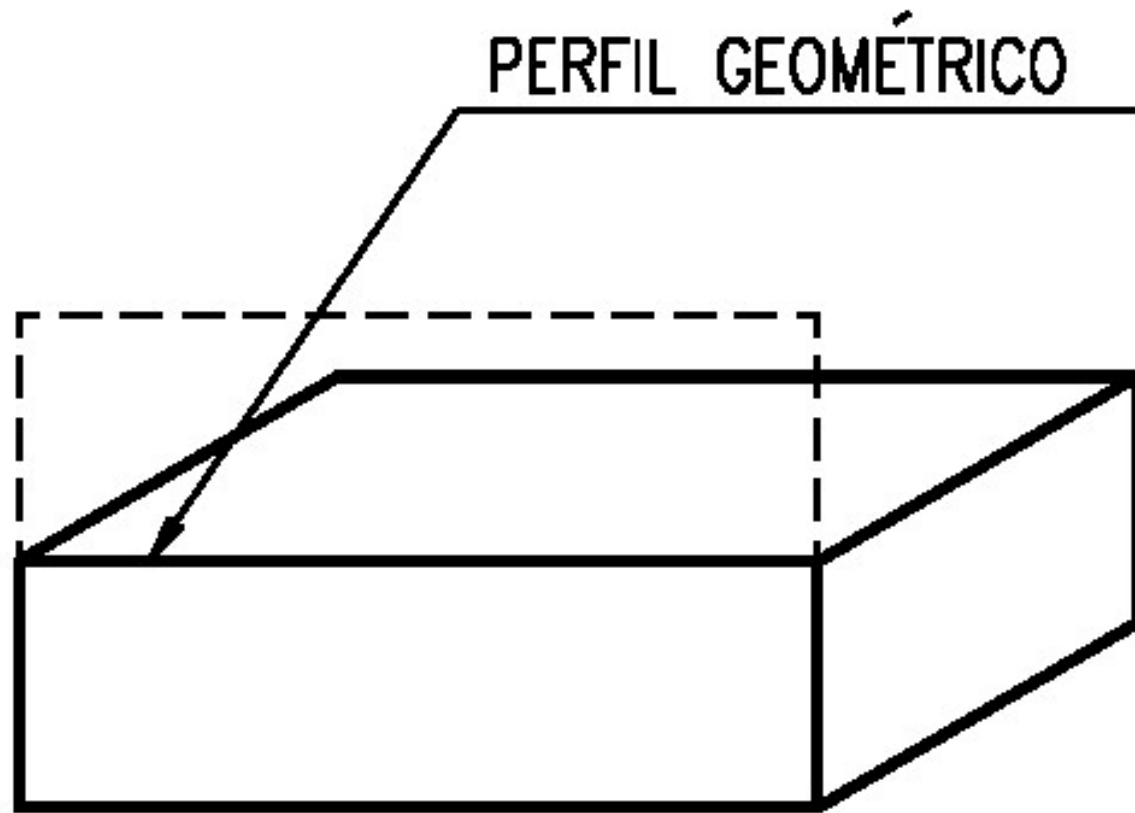
Superfície real, uma herança do método empregado na usinagem.

- **1.3 Superfície Efetiva:** é resultante do processo de medição da superfície real.



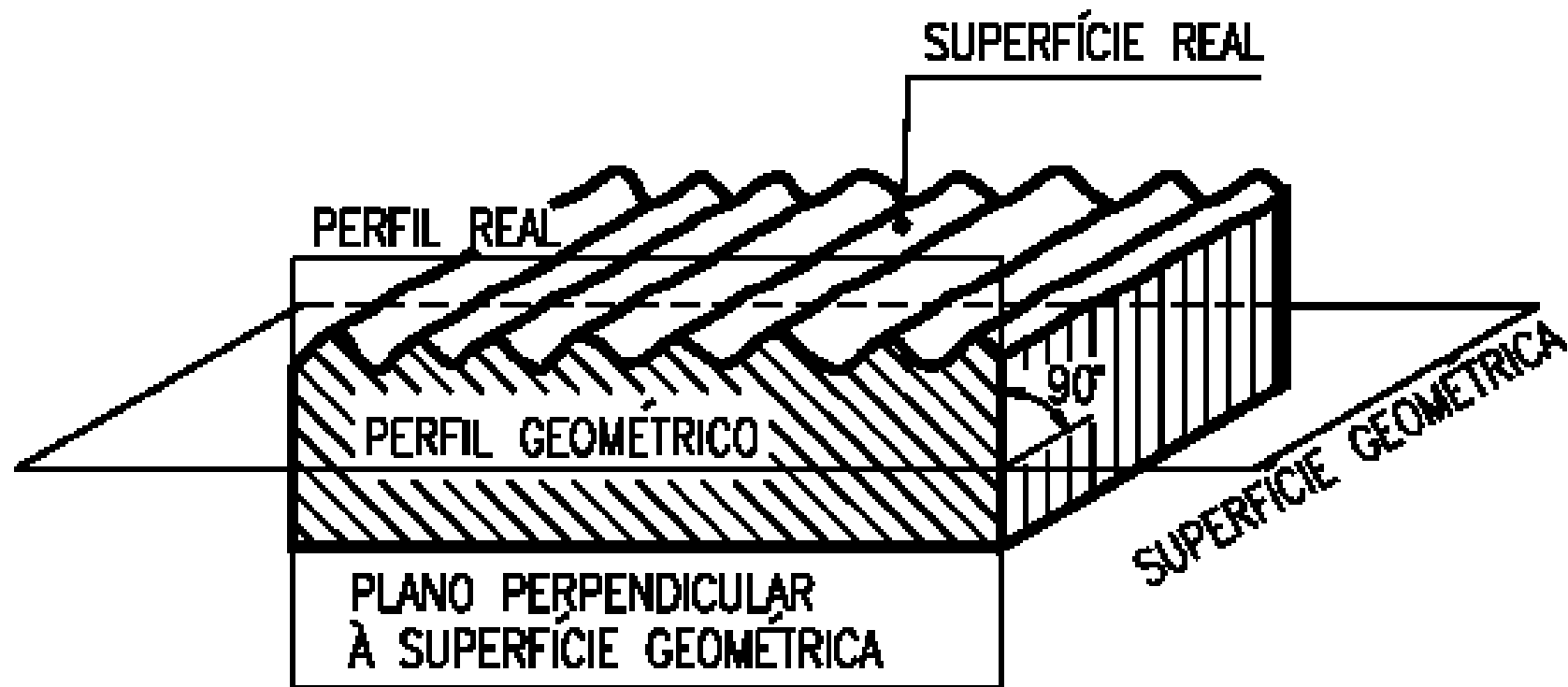
Superfície efetiva apresentada com
ampliação por uma impressora.

- **1.4 Perfil Geométrico:** é representado pela aresta resultante da intersecção entre a superfície geométrica e um plano perpendicular a mesma.



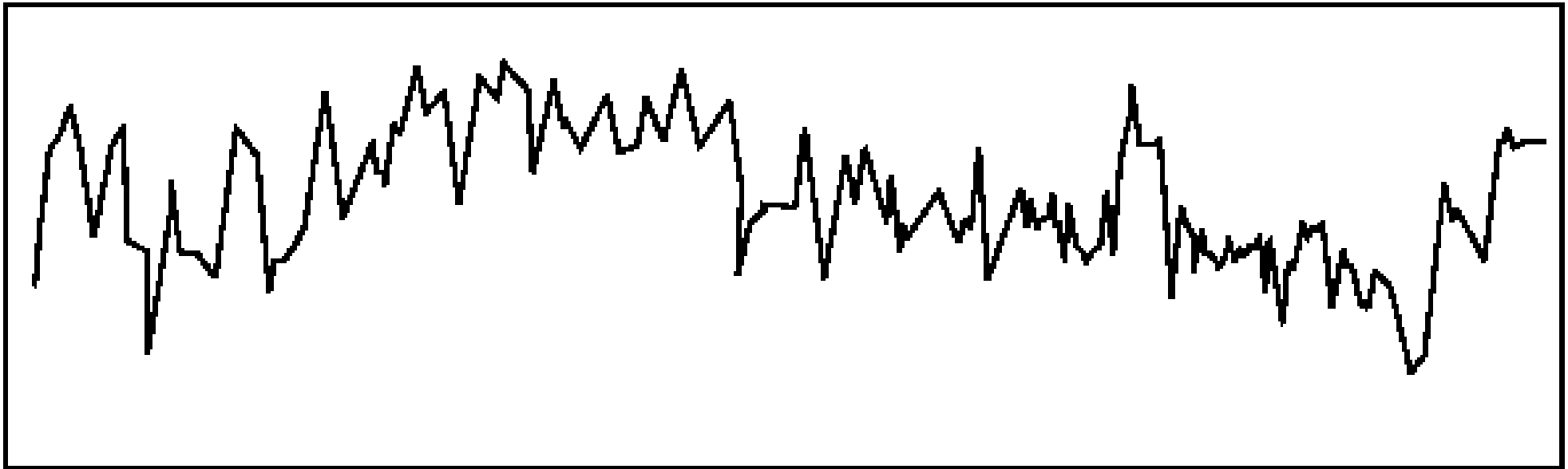
O perfil geométrico é, por definição, perfeito.

- **1.5 Perfil Real:** é representado pela linha resultante da intersecção entre a superfície real e um plano perpendicular a mesma.



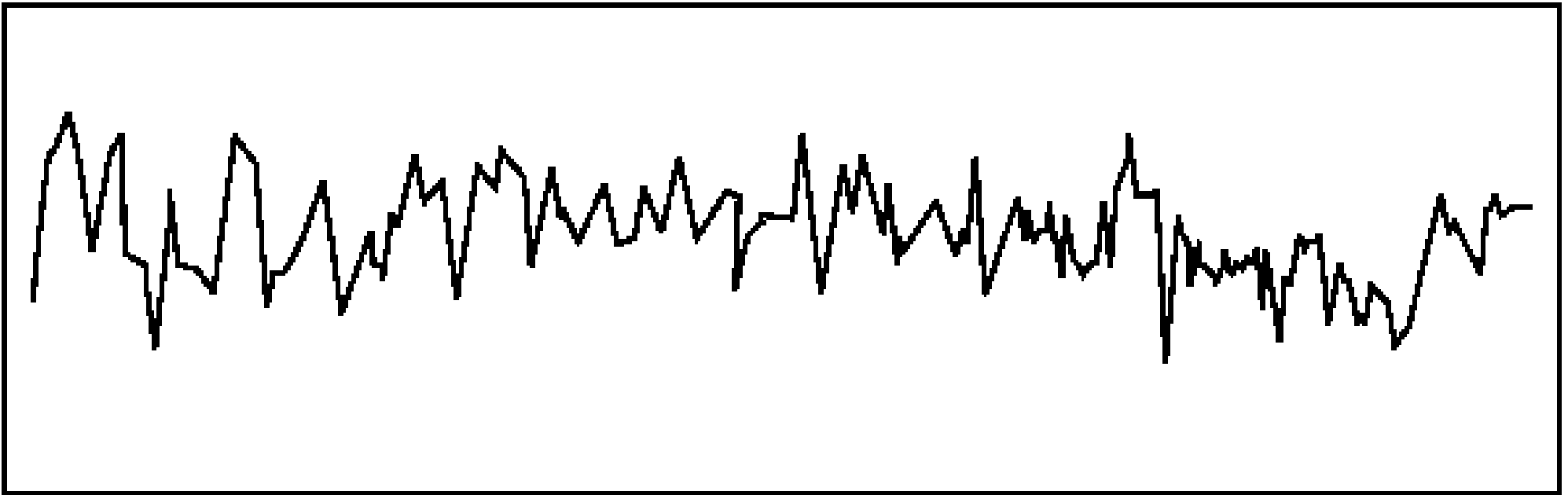
Perfil real, cortado por um plano perpendicular.

- **1.6 Perfil Efetivo:** imagem obtida do perfil real, através da aplicação de algum processo de medição.



Perfil efetivo, obtido com impressora de rugosímetro (sem filtrar ondulações).

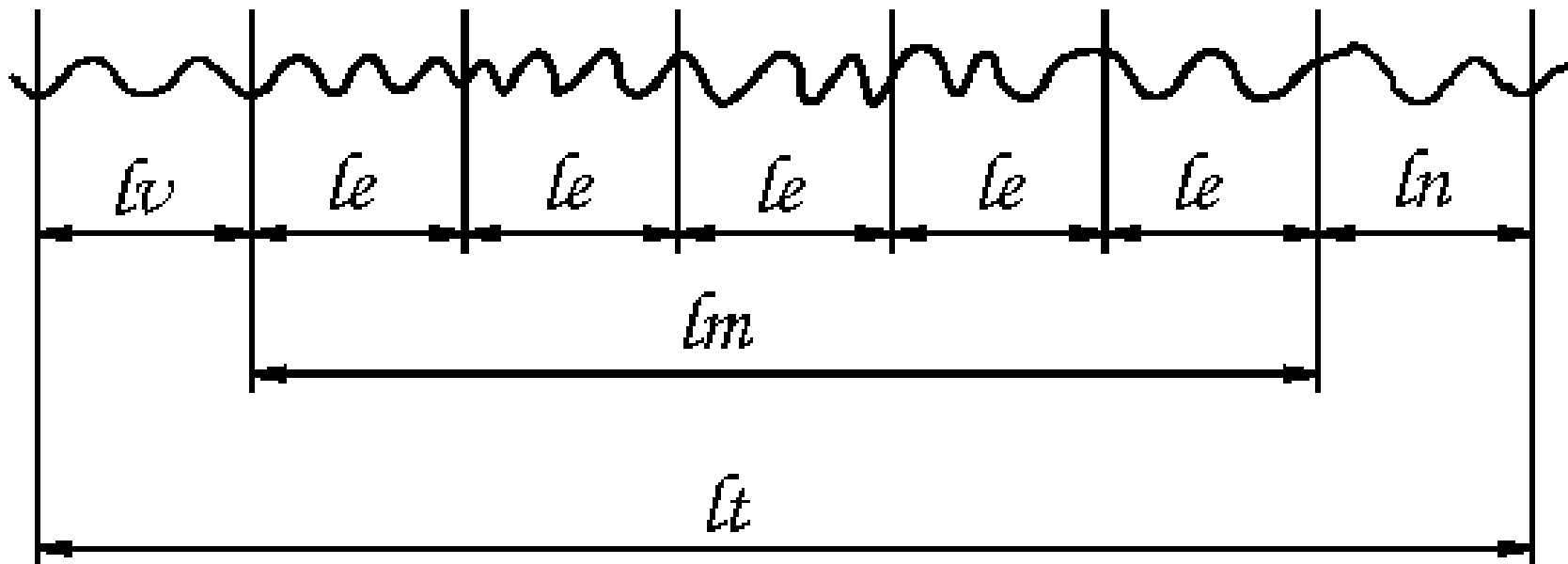
- **1.7 Perfil de Rugosidade:** imagem obtida a partir do perfil efetivo, através da aplicação de algum processo de filtragem da ondulação.



Perfil de rugosidade (após filtragem da ondulação).

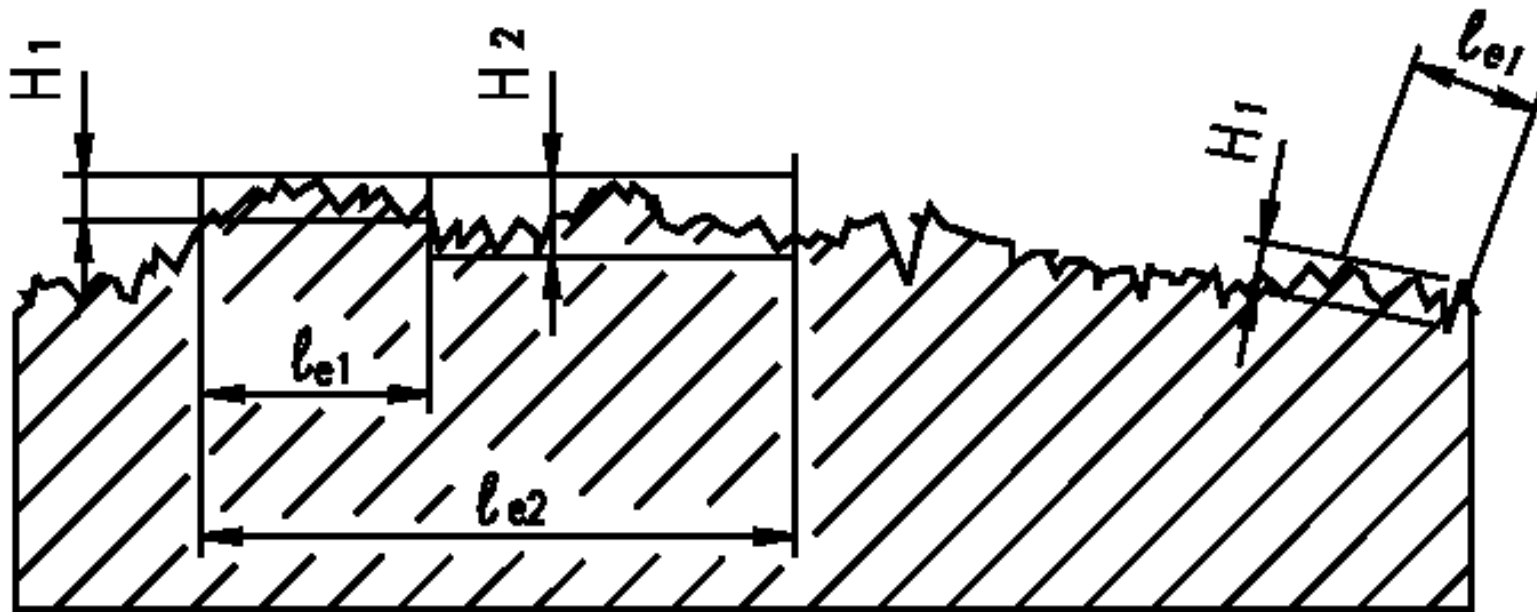
2. AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL

- Comprimento total de avaliação (ℓ_m).
- Comprimentos de amostragem (ℓ_e), (cut-off)
- Comprimento Total (ℓ_t),



Comprimentos para avaliação da rugosidade

- O comprimento total de avaliação deve ser subdividido para evitar a influência dos desvios de forma na avaliação da rugosidade superficial

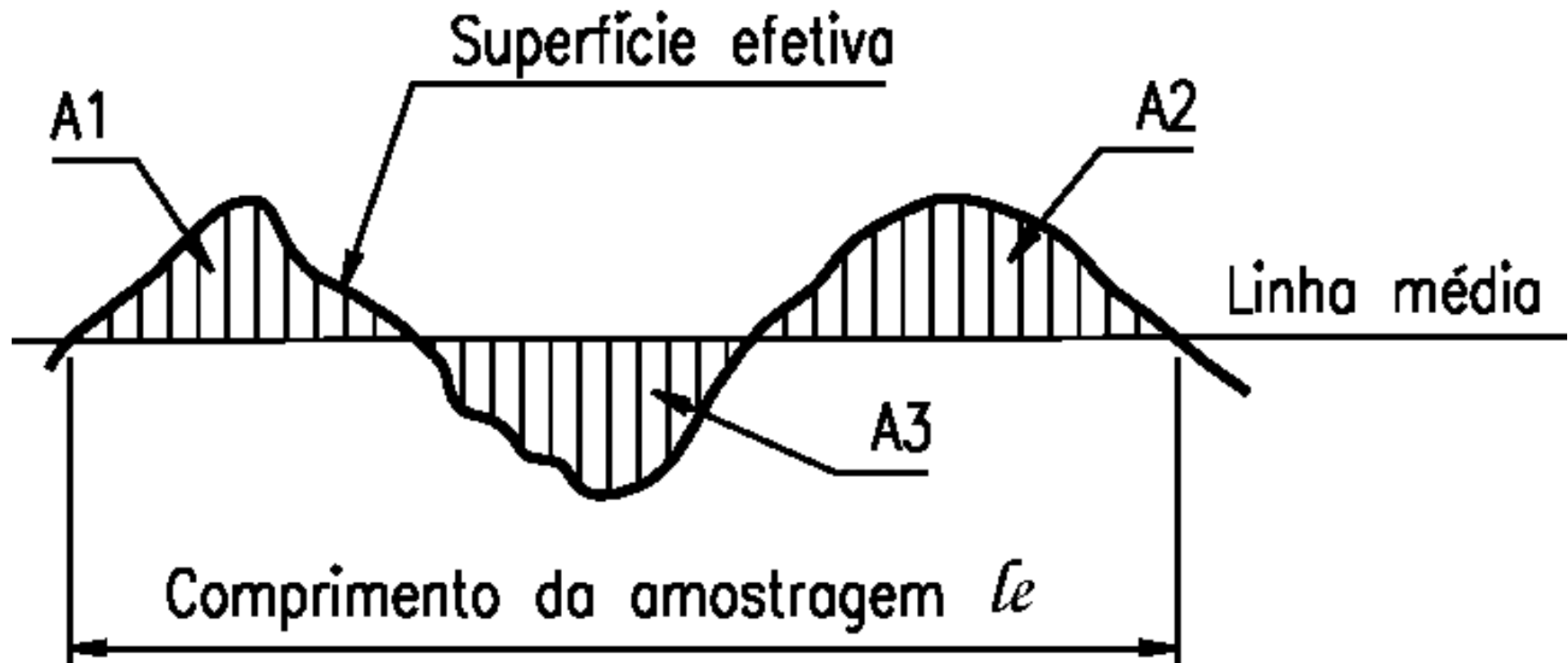


Rugosidade e ondulação

3. PARÂMETROS DE RUGOSIDADE SUPERFICIAL

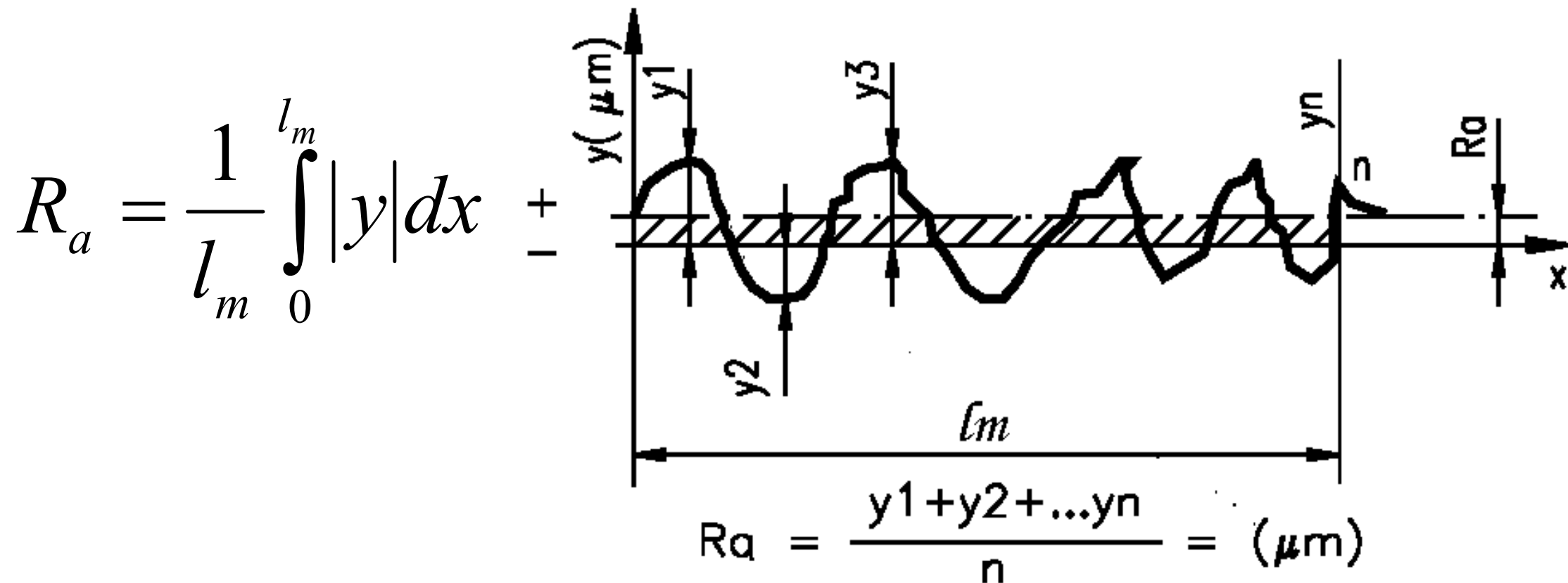
- Os valores são tomados em relação a **Linha média**
- Soma das áreas superiores = Soma das áreas inferiores, no comprimento de amostragem (ℓ_e).

$$A3 = A1 + A2$$

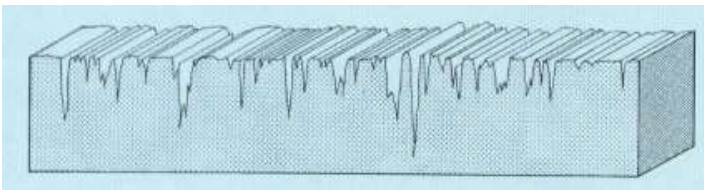


3.1 Rugosidade Média (R_a)

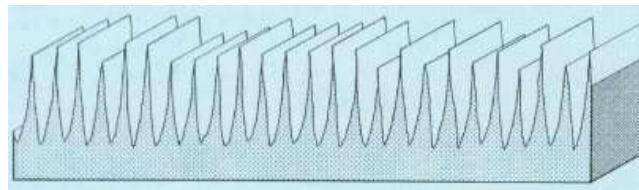
- É a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas do perfil efetivo em relação à linha média em um comprimento de medição.



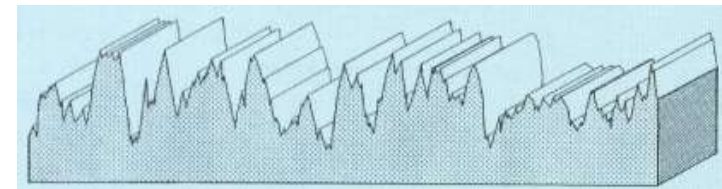
- Vantagens do Parâmetro R_a :
 - - é o mais utilizado no mundo;
 - - aplicável para avaliação de rugosidade de superfícies obtidas com a maioria dos processos de fabricação.
- Desvantagens do Parâmetro R_a :
 - - impossibilidade de detecção da forma do perfil da rugosidade;
 - - como o valor representa uma média, uma irregularidade atípica não causará grande influência na magnitude da média, portanto sua presença não será detectada por este parâmetro.



$R_a = 2,4 \mu\text{m}$



$R_a = 2,5 \mu\text{m}$



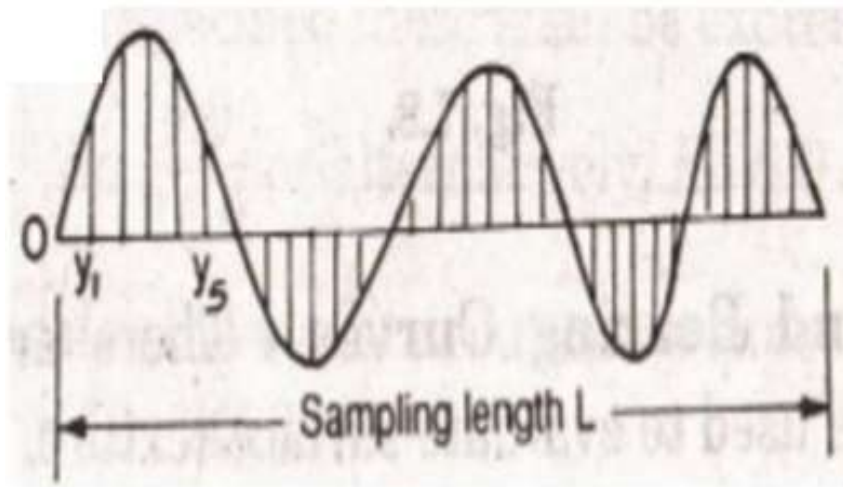
$R_a = 2,4 \mu\text{m}$

- Os valores da rugosidade R_a a serem empregados em projeto mecânico são normalizados, sendo os valores indicados para os mesmos apresentados na tabela abaixo:

0,008	0,040	0,20	1,00	5,0	25,0
0,010	0,050	0,25	1,25	6,3	32,0
0,012	0,063	0,32	1,60	8,0	40,0
0,016	0,080	0,40	2,00	10,0	50,0
0,020	0,100	0,50	2,50	12,5	63,0
0,025	0,125	0,63	3,20	16,0	80,0
0,032	0,160	0,80	4,00	20,0	100,0

Rugosidade RMS- Root Mean Square (R_q)

Desvio Quadrático



É a raiz quadrada da média da soma dos quadrados dos valores das ordenadas do perfil efetivo em relação à linha média em um comprimento de medição.

$$R_q = \sqrt{\frac{y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2}{n}}$$

$$R_q = \sqrt{\left[\int_0^L y^2 dl \right]}$$

O valor da rugosidade RMS em micro-polegada (μin) é normalmente 1.1 x 40 vezes a rugosidade R_a em μm

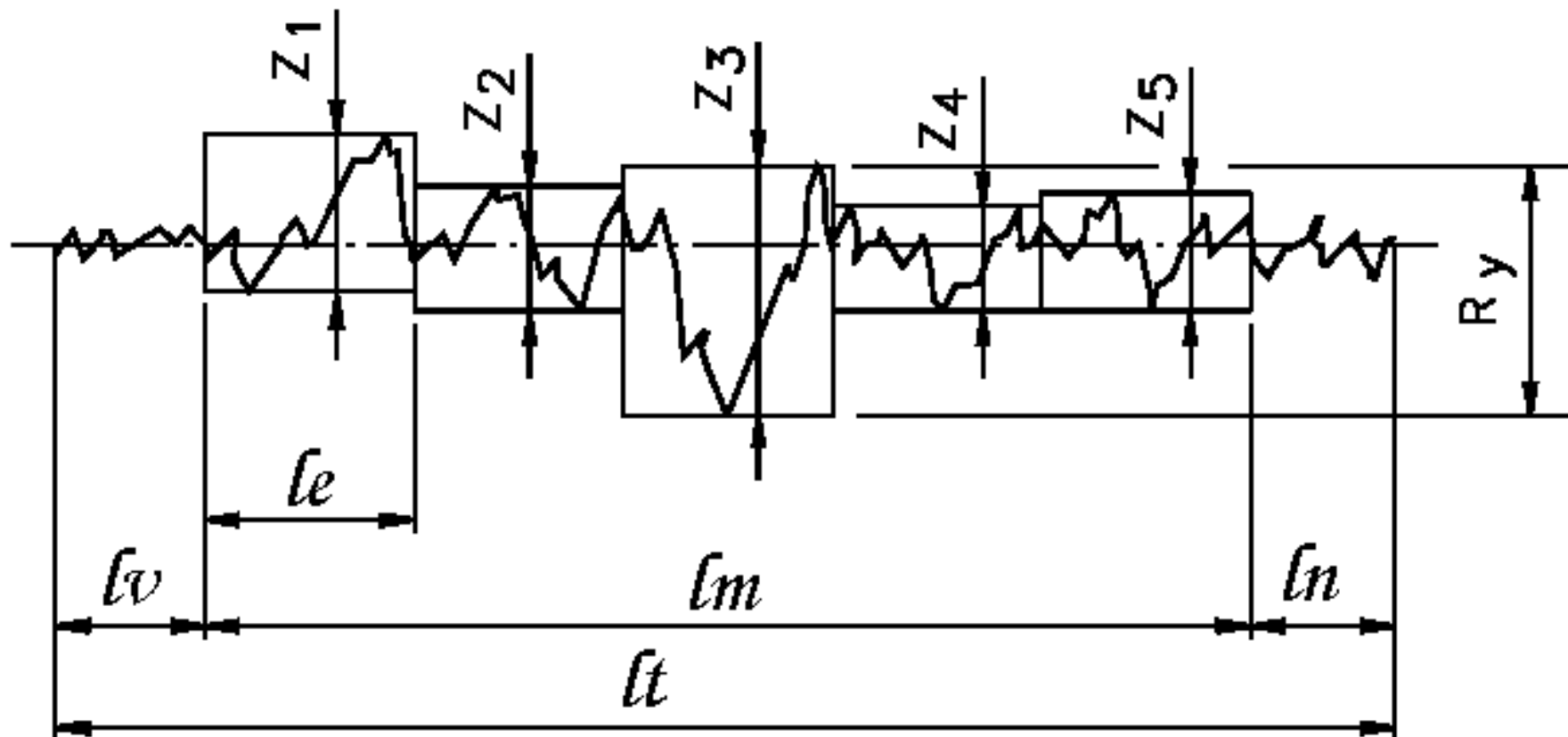
Tabela de Equivalência de Rugosidades

Ra (µm)	Ra (µin)	CLA (µin)	RMS (µin)
0.025	1	1	1.1
0.05	2	2	2.2
0.1	4	4	4.4
0.2	8	8	8.8
0.4	16	16	17.6
0.8	32	32	32.5
1.6	63	63	64.3
3.2	125	125	137.5
6.3	250	250	275
12.5	500	500	550
25	1000	1000	1100
50	2000	2000	2200

1 µm = 40 µin

3.2 Rugosidade Máxima (R_y)

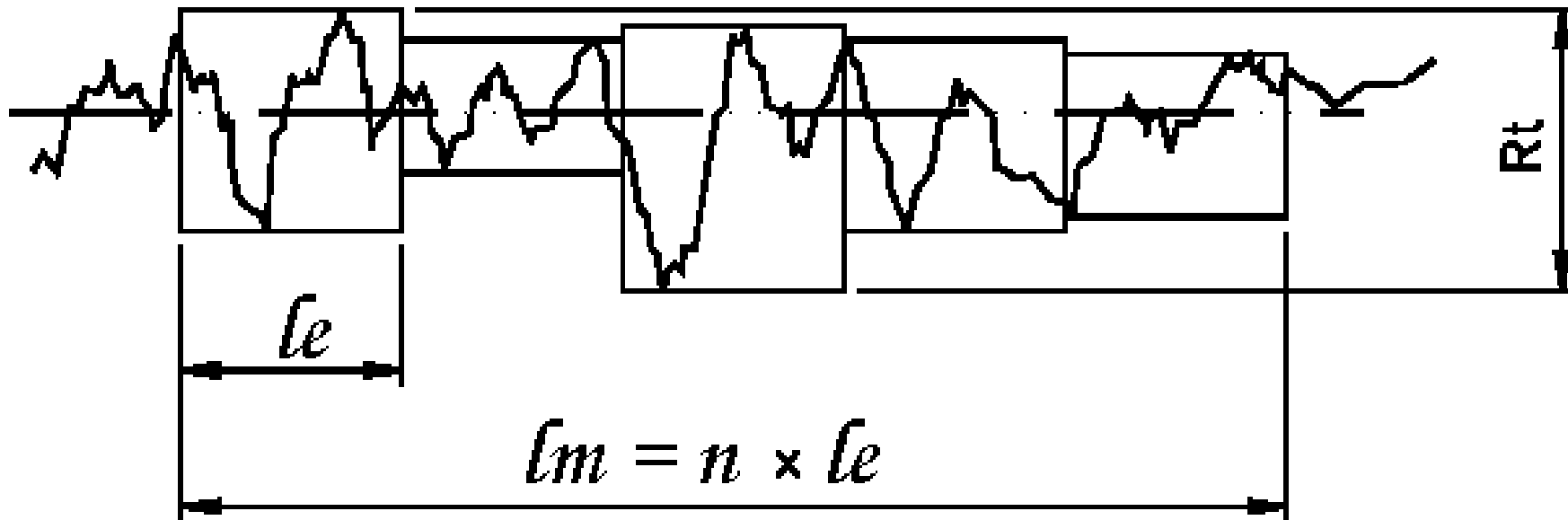
- É definida como o maior valor do conjunto das rugosidades máximas, cada qual associada a um dos comprimentos de amostragem que compõem o comprimento total de avaliação.



- Vantagens do parâmetro R_y :
 - - informa sobre a máxima deterioração da superfície do material em um comprimento de amostragem;
 - - fornece informações complementares ao parâmetro R_a .
- Desvantagens do Parâmetro R_y :
 - - nem todos os equipamentos de medição fornecem este parâmetro;
 - - pode dar uma imagem errada da condição da superfície, pois avalia erros que muitas vezes não representam a superfície como um todo.

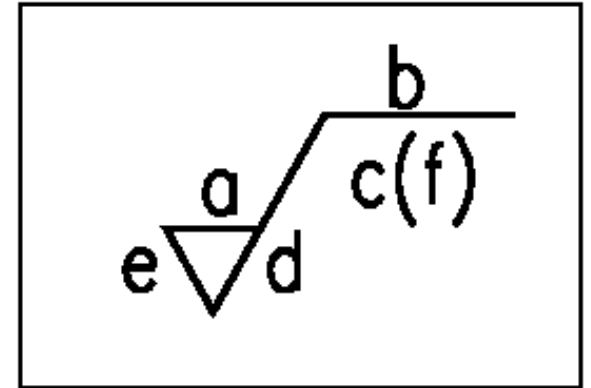
3.3 Rugosidade Total (R_t)

- Corresponde à distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo no comprimento total de avaliação (l_m).



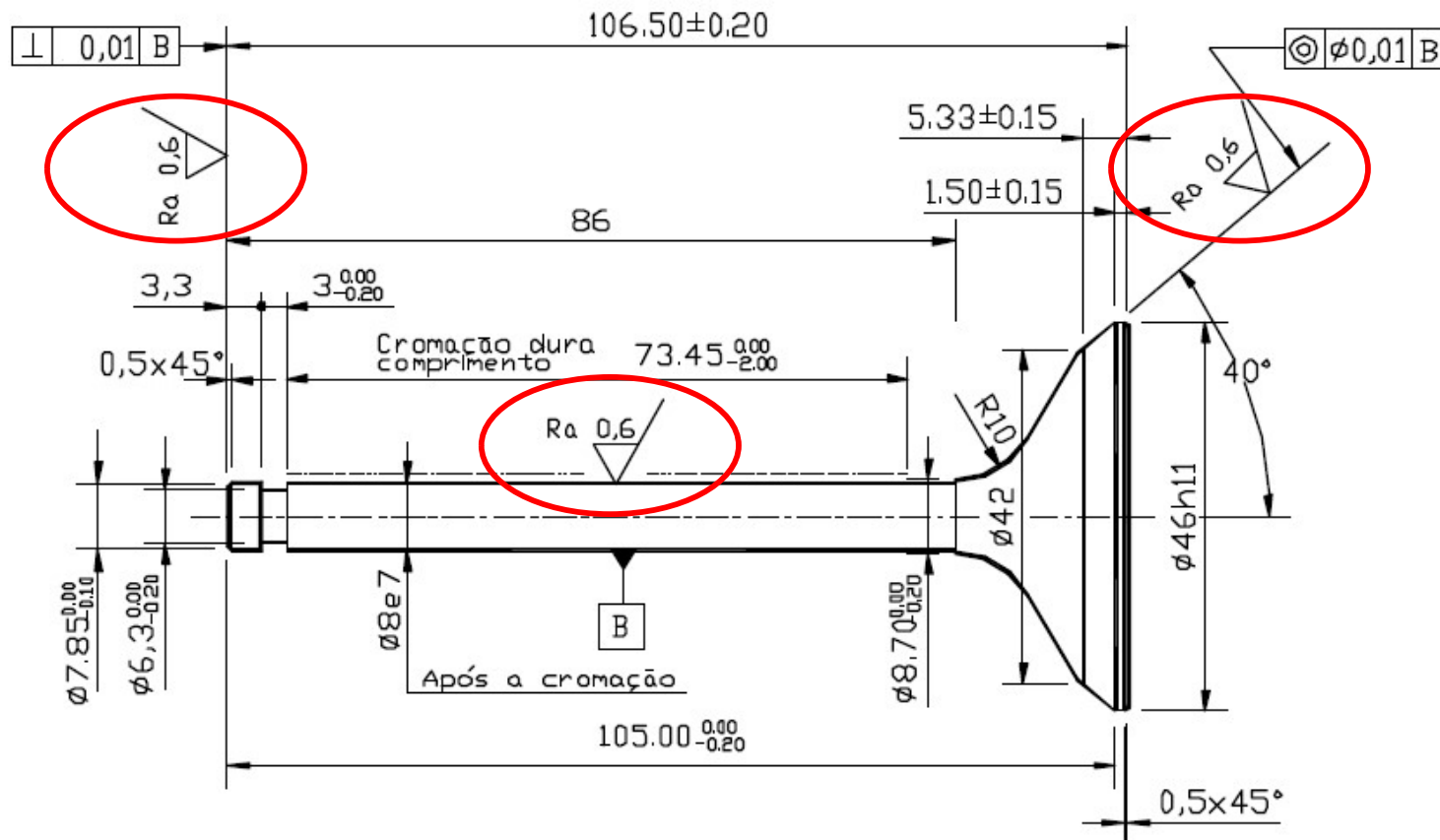
- O valor de R_t é mais rígido que o de R_y , pois considera todo o comprimento de avaliação e não apenas o comprimento de amostragem.

4. REPRESENTAÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL EM DESENHO TÉCNICO MECÂNICO



- ABNT - NBR 8404
- **4.1 Simbologia**
- a = valor da rugosidade R_a , em μm , ou classe de rugosidade N1 até N12
- b = método de fabricação, tratamento ou revestimento
- c = comprimento de amostragem
- d = direção de estrias
- e = sobremetal para usinagem, em milímetro
- f = outros parâmetros de rugosidade (entre parênteses)

Rugosidade no desenho de fabricação de válvula de motor

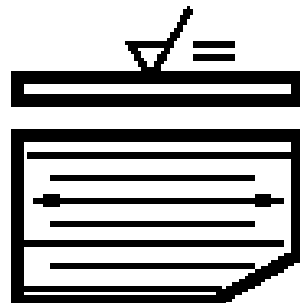
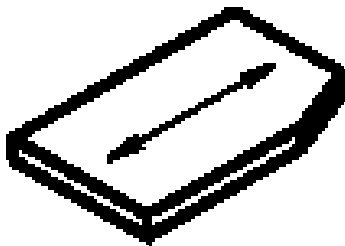
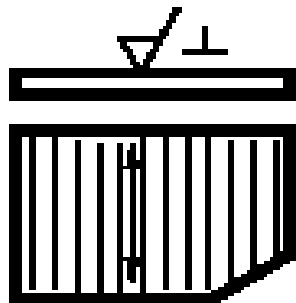
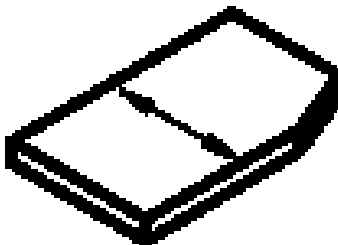
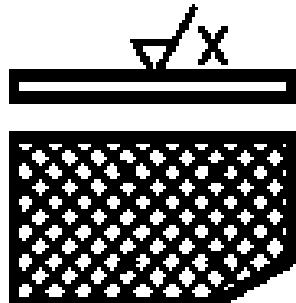
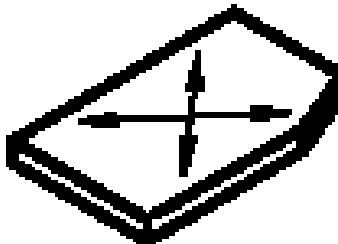


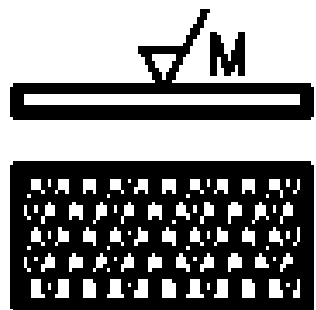
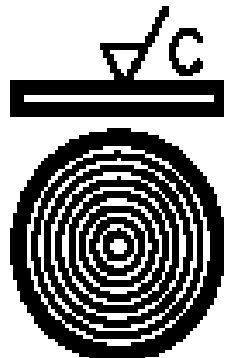
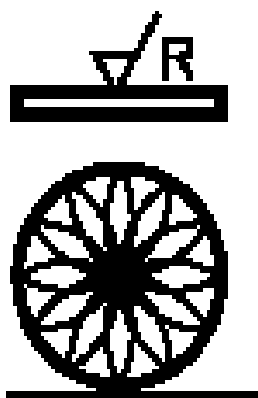
Item	Quant.	Nº Desenho	Título/Descrição	Material/Especificação							
LISTA DE MATERIAIS											
PMR 3202 Departamento de Mecatrônica e Sistemas Mecânicos- POLI- USP		Tipo Documento		Tamanho Folha							
		Desenho de Fabricação		A3							
		Título									
		Válvula de Admissão									
Criado por		PMR 3202		Nº Desenho	58						
Aprovado por		PMR 3202		Data	13/04/2021	Rev.	0	Escala	1:1	Nº da Folha	1

CLASSE DE RUGOSIDADE	RUGOSIDADE RA (μm)
N12	50
N11	25
N10	12,5
N9	6,3
N8	3,2
N7	1,6
N6	0,8
N5	0,4
N4	0,2
N3	0,1
N2	0,05
N1	0,025

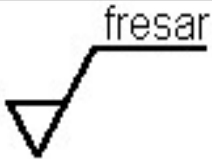
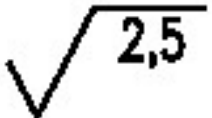
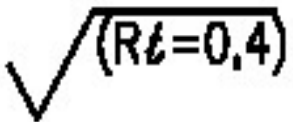
SÍMBOLO		
A remoção do material é:		
facul tati va	exigida	não permitida

QUADRO 3: SÍMBOLOS COM INDICAÇÕES COMPLEMENTARES	
SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Processo de fabricação: fresar.
	Comprimento de amostragem <i>cut off</i> = 2,5 mm.
	Direção das estrias: perpendicular ao plano; projeção da vista.
	Sobremetal para usinagem = 2mm.
	Indicação (entre parênteses) de um outro parâmetro de rugosidade diferente de Ra, por exemplo, Rt = 0,4 mm.

Símbolos para direção das estrias		
Símbolo	Interpretação	
=	Paralela ao plano de projeção da vista sobre a qual o símbolo é aplicado.	 
⊥	Perpendicular ao plano de projeção da vista sobre a qual o símbolo é aplicado.	 
X	Cruzadas em duas direções oblíquas em relação ao plano de projeção da vista sobre a qual o símbolo é aplicado.	 

M	Muitas Direções	
C	Aproximadamente central em relação ao ponto médio da superfície ao qual o símbolo é referido.	
R	Aproximadamente radial em relação ao ponto médio da superfície ao qual o símbolo é referido.	

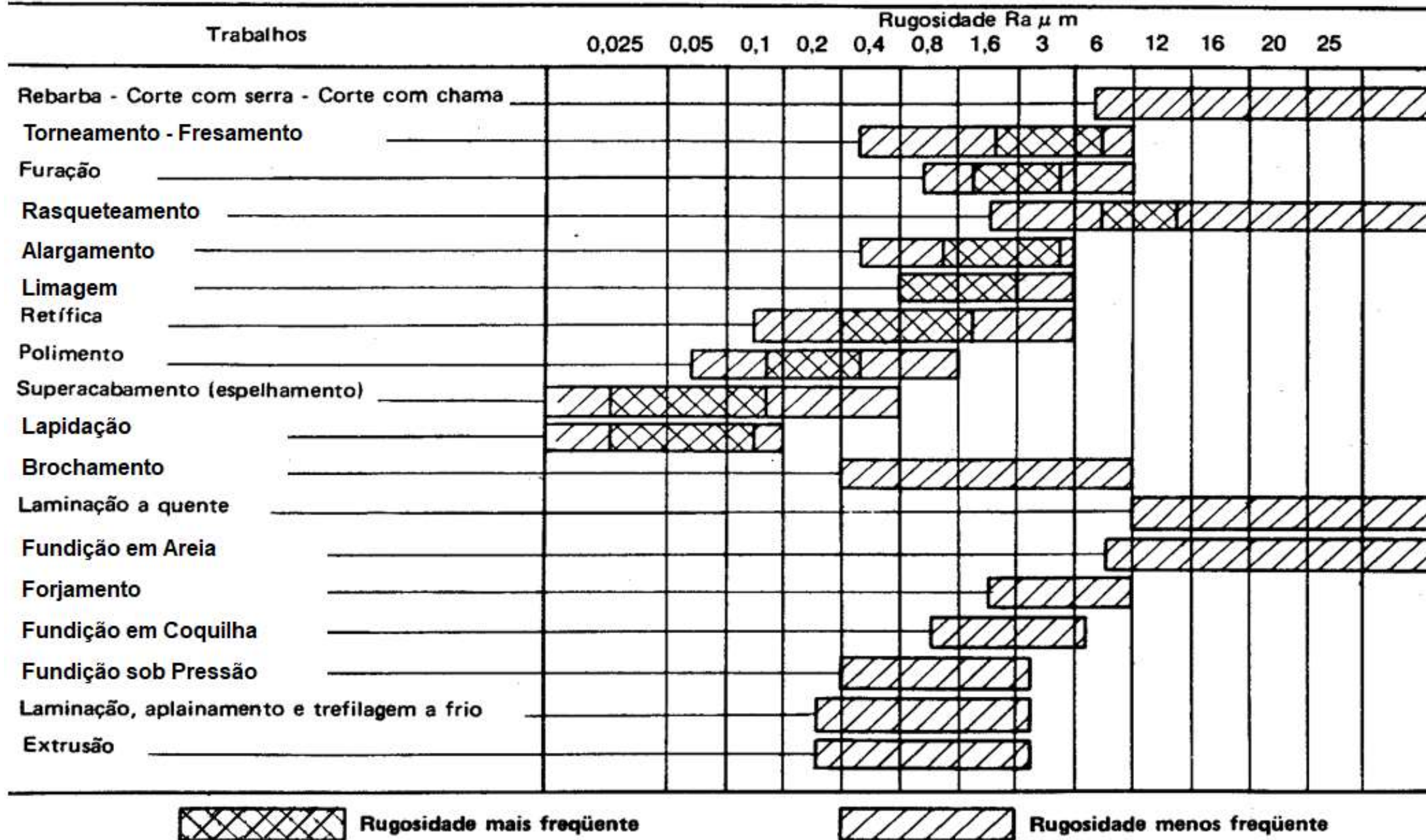
QUADRO 3: SÍMBOLOS COM INDICAÇÕES COMPLEMENTARES

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Processo de fabricação: fresamento
	Comprimento de amostragem (cut off) = 2,5 mm
	Direção das estrias: perpendicular ao plano de projeção da vista
	Sobremental para usinagem = 2 mm
	Indicação, entre parênteses, de um outro parâmetro para definição da rugosidade, neste caso, $R_t = 0,4 \mu\text{m}$.

4.2 RELAÇÃO ENTRE SIMBOLOGIA ABNT E ANTIGA SIMBOLOGIA

Sinais gráficos			Ra	≈	12 μm
			Ra	≈	3 μm
			Ra	≈	0,8 μm
Sinal gráfico obtido por extrapolação			Ra	≈	0,2 μm

5. RUGOSIDADE SUPERFICIAL E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO



Videos de processos de fabricação:

Processo de torneamento

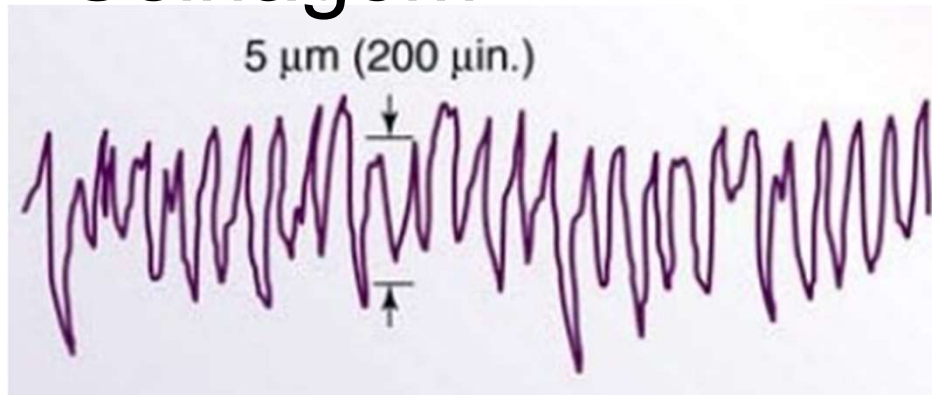
<https://www.youtube.com/watch?v=utf8hn3B9U0>

Processo de fresamento

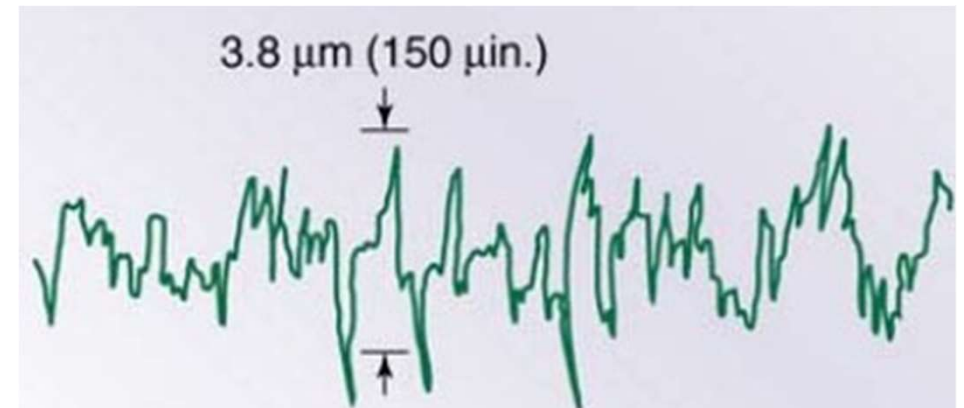
<https://www.youtube.com/watch?v=P4J-LVJCy6U>

<https://www.youtube.com/watch?v=B0XZZ9McXoU>

Perfis de Rugosidade de Processos de Usinagem



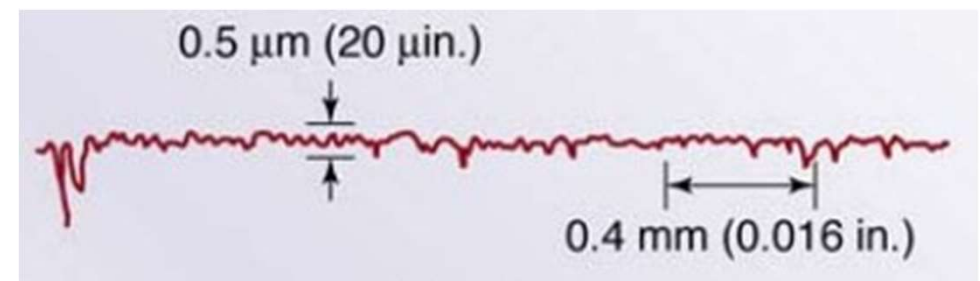
Torneamento



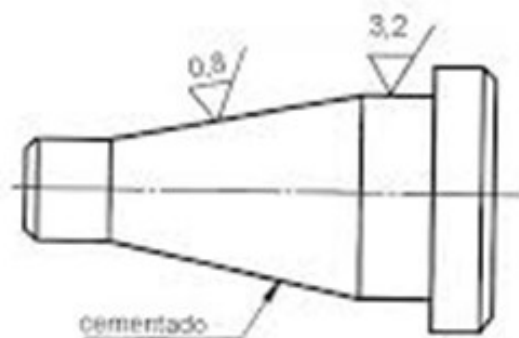
Retificação de Desbaste



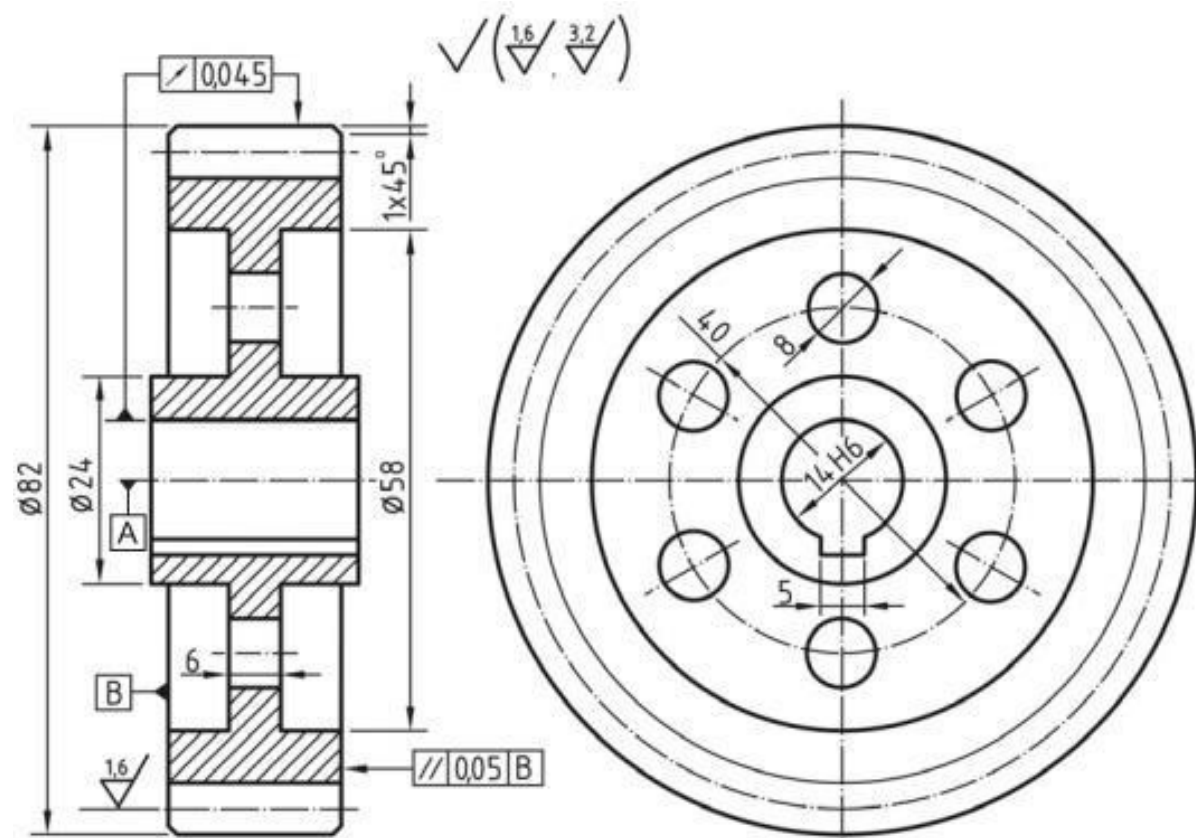
Retificação de Acabamento



Lapidação



1 $\sqrt{12,5}$ $\left(\sqrt{0,8} \sqrt{3,2} \right)$



Rugosidade Superficial

Retificação



10/03/2010

Exemplos de Acabamento Superficial

Material: Níquel



6. RELAÇÃO ENTRE RUGOSIDADE SUPERFICIAL E TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS

Tolerâncias ISO	Grupos de dimensões (mm)									
	≤ 3		$> 3 \leq 18$		$> 18 \leq 80$		$> 8 \leq 250$		> 250	
	Tol.	Ra	Tol.	Ra	Tol.	Ra	Tol.	Ra	Tol.	Ra
IT 6	6	0,2	8 ÷ 11	0,3	13 ÷ 19	0,5	22 ÷ 29	0,8	32 ÷ 40	1,2
IT 7	10	0,3	12 ÷ 18	0,5	21 ÷ 30	0,8	35 ÷ 46	1,2	52 ÷ 63	2
IT 8	14	0,5	18 ÷ 27	0,8	33 ÷ 46	1,2	54 ÷ 72	2	81 ÷ 97	3
IT 9	25	0,8	30 ÷ 43	1,2	52 ÷ 74	2	87 ÷ 115	3	130 ÷ 155	5
IT 10	40	1,2	48 ÷ 70	2	84 ÷ 120	3	140 ÷ 185	5	210 ÷ 250	8
IT 11	60	2	75 ÷ 110	3	130 ÷ 190	5	220 ÷ 290	8	320 ÷ 400	12
IT 12	100	3	120 ÷ 180	5	210 ÷ 300	8	350 ÷ 460	12	520 ÷ 630	20
IT 13	140	5	180 ÷ 270	8	330 ÷ 460	12	540 ÷ 720	20	810 ÷ 970	—
IT 14	250	8	300 ÷ 430	12	520 ÷ 740	20	870 ÷ 1150	—	1300 ÷ 1550	—

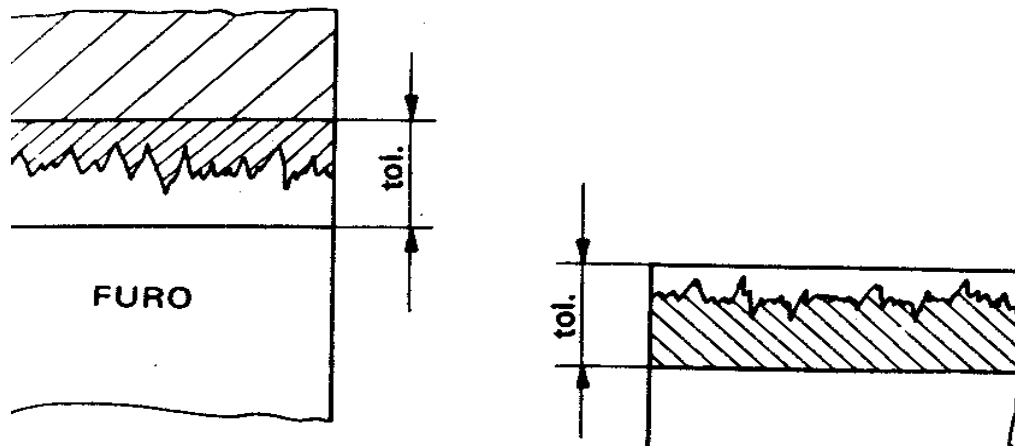


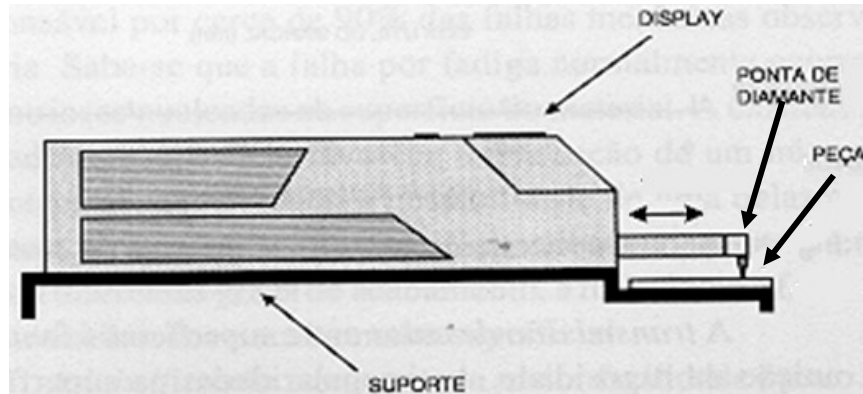
Fig. 1.37 - Em um acoplamento com jogo, no qual eixo e furo devem mover-se reciprocamente, as superfícies com rugosidade acentuada estarão expostas ao gasto rápido que fará variar as características funcionais do acoplamento estabelecido.

- $Ra = IT/30$ (prático, sem base teórica)

7. RUGOSIDADE INDICADA PARA PROJETO

Rugosidade Ra μm	APLICAÇÕES (a título de indicação)
0,025	Plano de apoio de micrômetro - Espelhos - Blocos de apoio.
0,05	Faces de calibres de oficina - Planos de apoio comparadores.
0,1	Faces de calibradores a cursor - Eixos de articulação - Ferramentas de precisão - Coxinets superacabados - Acoplamentos estanques a alta pressão em movimento alternado - Superfícies acopladas de partes em movimento alternado, de retenção de líquido sob pressão - Superfícies polidas de retenção sem guarnição.
0,2	Suportes eixos gomados e eixos com cames - Mancal de biela - Haste de válvula - Superfícies de cames - Diâmetro de cilindros de bombas hidráulicas - Coxinets polidos - Eixos de turbinas - Acoplamentos estanques móveis manuais - Guias de quadros de máquinas-ferramentas - Suportes de coxinetes a alta velocidade - Mancais de eixos de rotores de turbinas, de redutores, etc.
0,4	Eixos acanalados - Coxinets de eixos motor - Diâmetro externo de pistões - Diâmetros de cilindros - Eixos de grandes máquinas elétricas - Acoplamentos de prensa - Sedes de válvulas - Superfícies de retenção de serras e obturadores de válvulas, comportas, etc. - Mancais de eixos a gomos e cargas de linhas de eixos - Coxinets de metal branco - Superfícies de partes deslizantes, como patins e guias respectivas.
0,8	Tambores de freios - Furos polidos - Coxinets de bronze - Partes de precisão - Dentes de engrenagens - Coxinets retificados - Superfícies de retenção de flanges sem guarnições - Mancais de eixos em gomos e cargas de linhas de eixos - Coxinets de metal branco - Superfícies de partes deslizantes, como patins e guias respectivas.
1,6	Faces características de engrenagens - Eixos e furos de engrenagens - Cabeça de cilindro - Caixa de engrenagens de gusa - Faces de pistões - Superfícies de retenção de flange com guarnições.
3	Eixos e coxinetes para transmissão manual - Superfícies de acoplamento de partes fixas desmontáveis (flanges de acopladores, batentes de centralização, etc).
6	Superfícies de retenção de flanges com guarnições comuns.

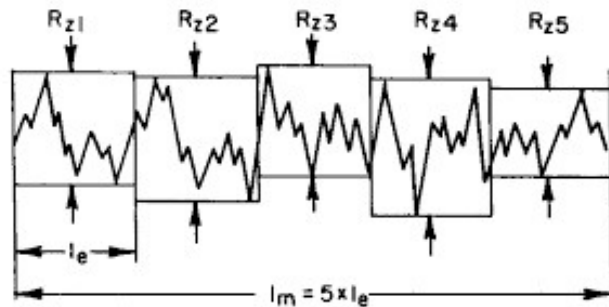
8. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE RUGOSIDADE SUPERFICIAL



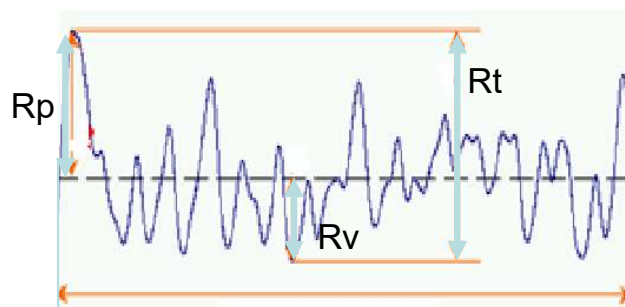
Rugosímetro de Contato Portátil



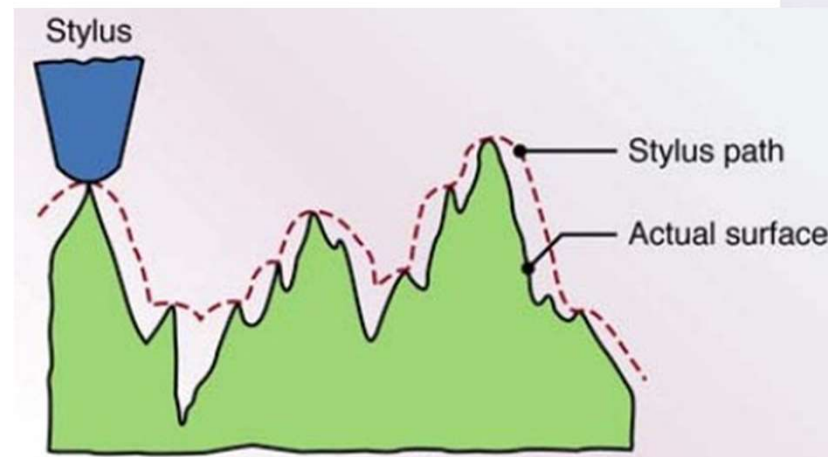
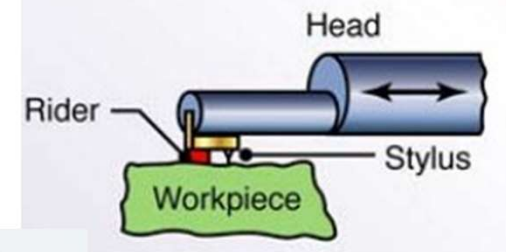
Parâmetros de Rugosidade Rz e Rp ?



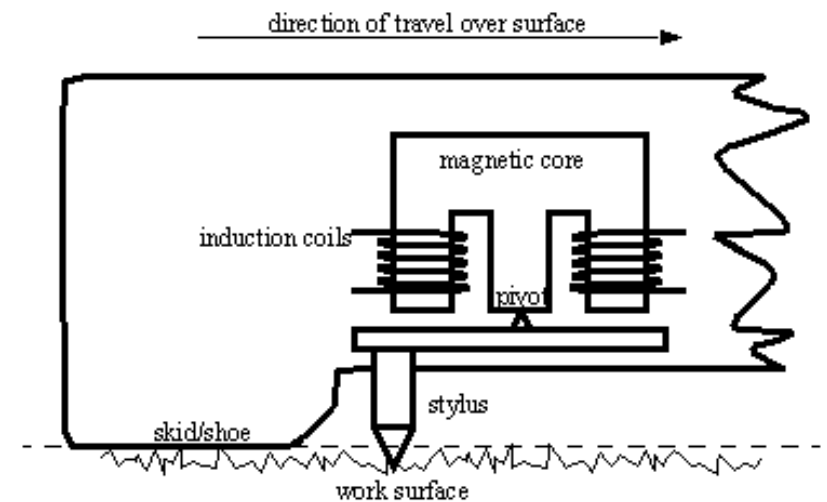
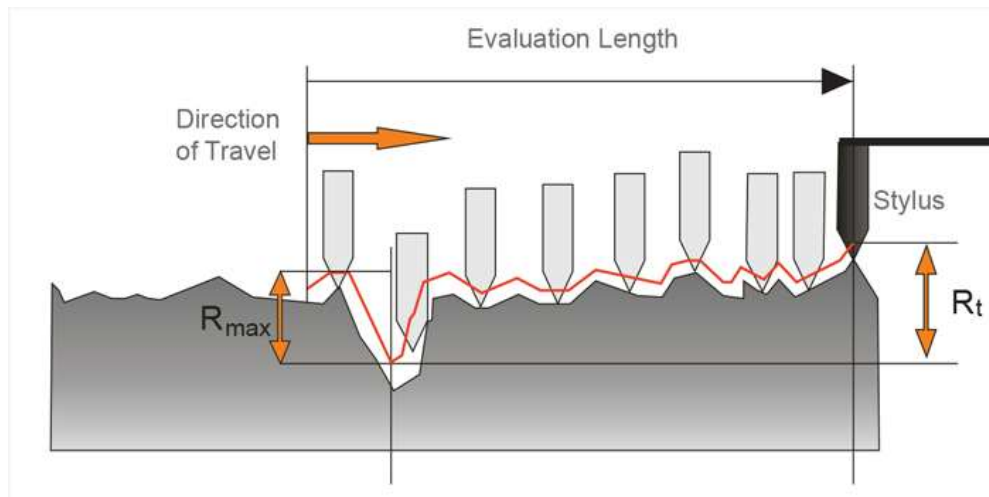
$$R_z = \frac{1}{5} (R_{z1} + R_{z2} + R_{z3} + R_{z4} + R_{z5})$$



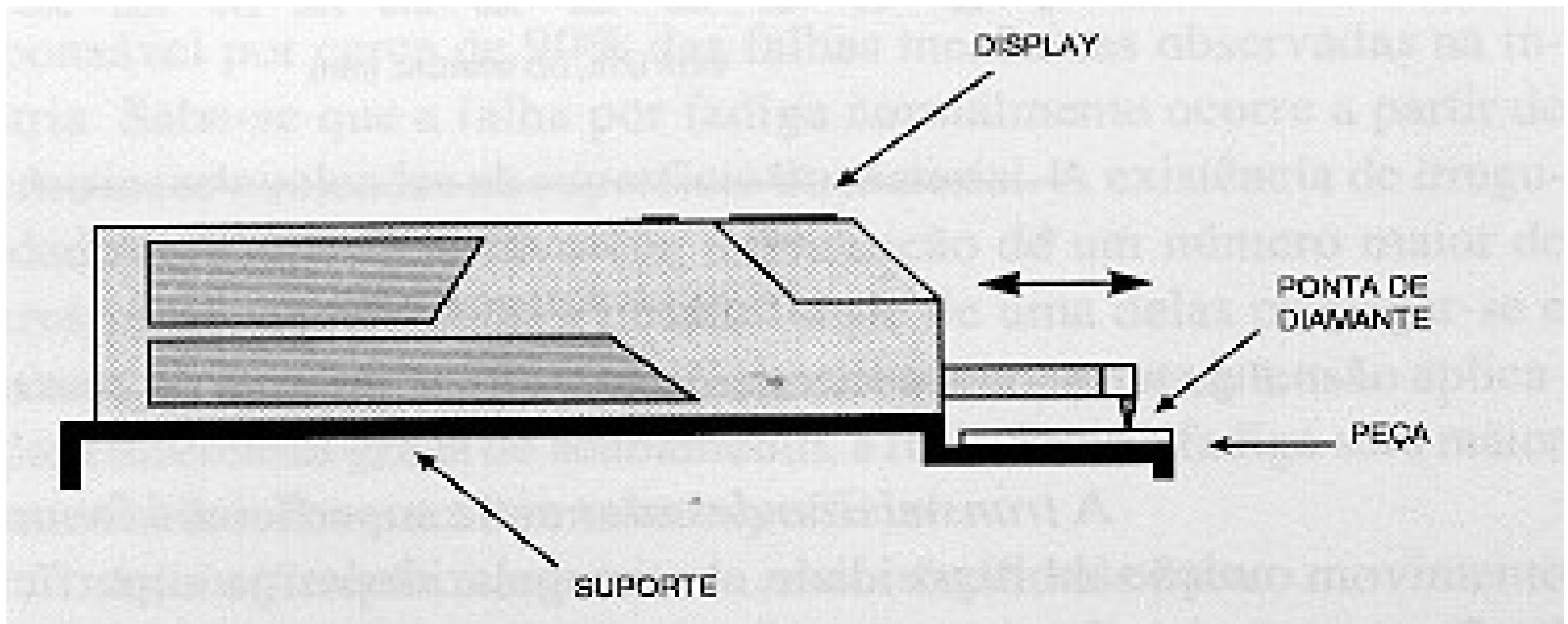
Comprimento de Avaliação



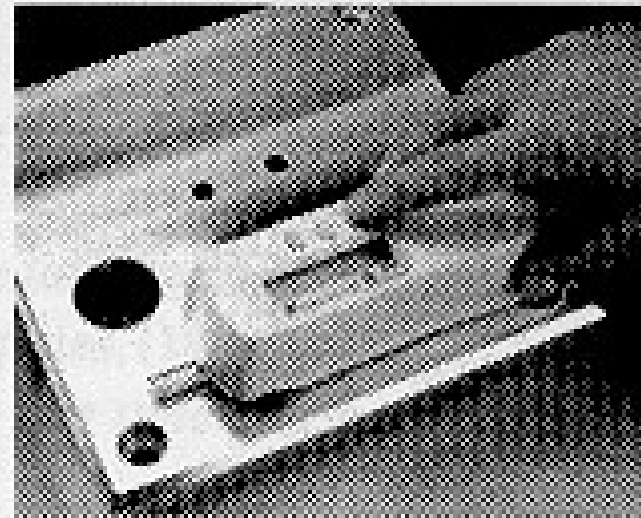
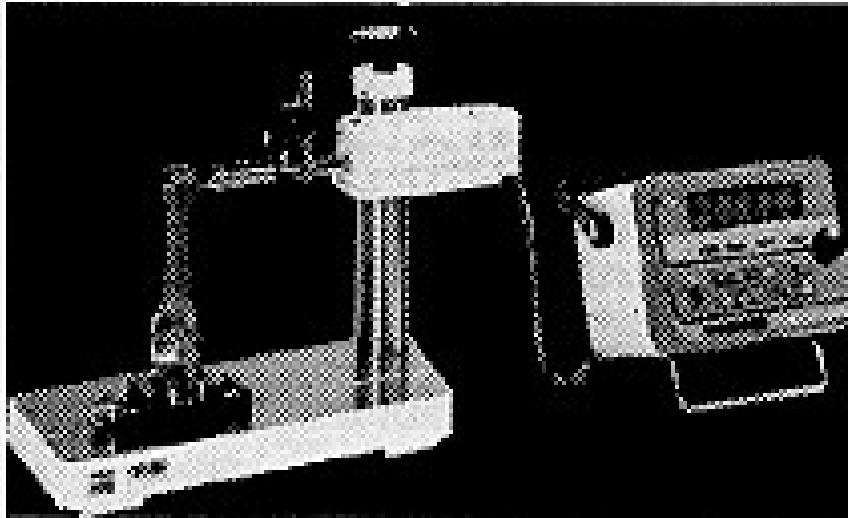
Rugosímetro de Contato de Bancada



8. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE RUGOSIDADE SUPERFICIAL



8. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE RUGOSIDADE SUPERFICIAL



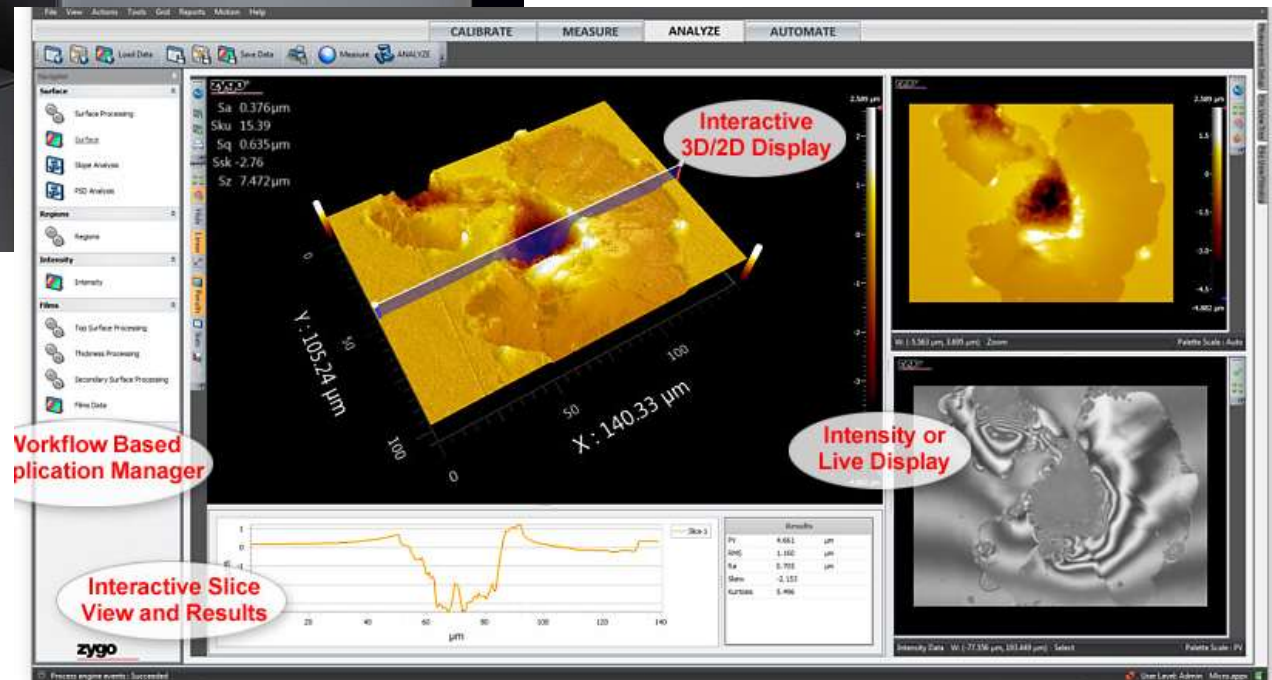
8. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE RUGOSIDADE SUPERFICIAL

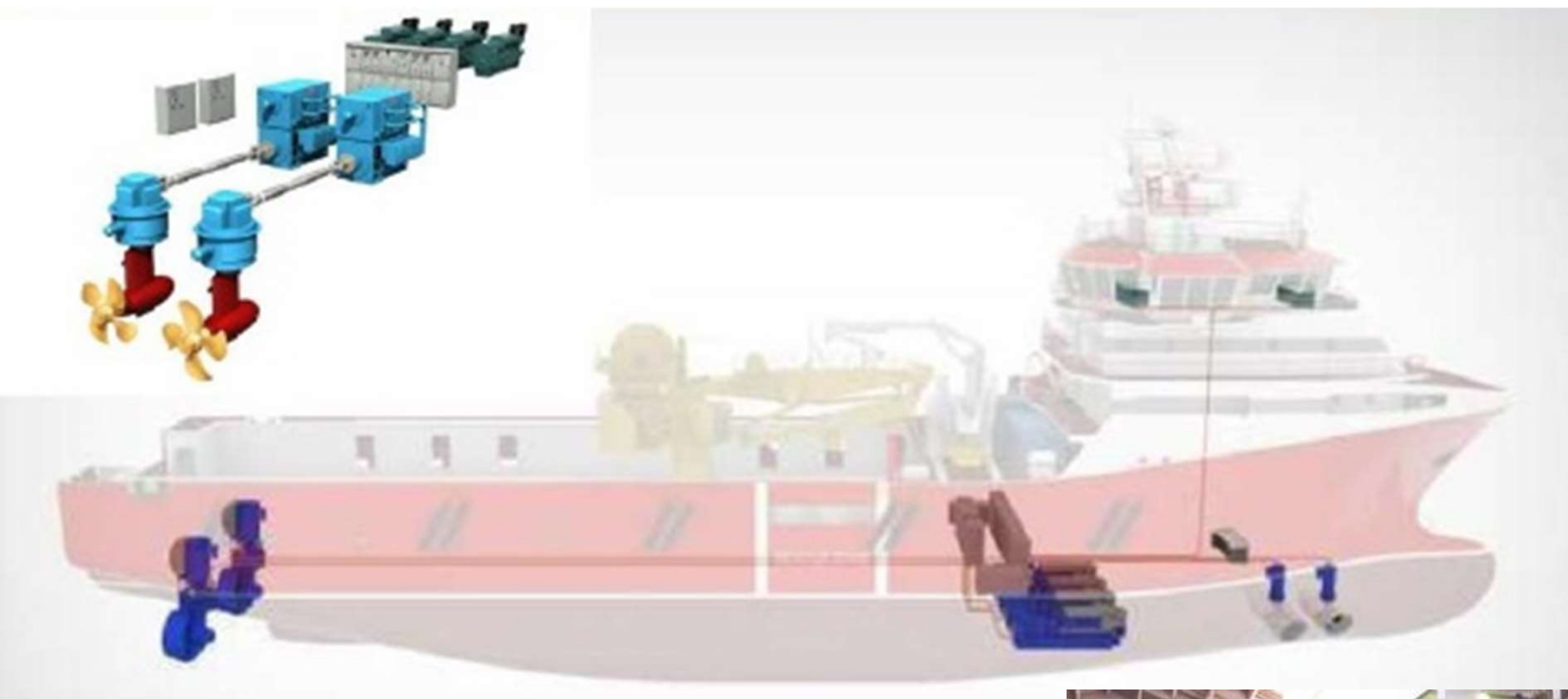


8. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE RUGOSIDADE SUPERFICIAL



Medição de Rugosidade sem contato (Escaneamento Óptico)





9. Aplicações Avançadas

Espelho do Telescópio Herschel - ESA



Rugosidade (RMS):

Inicial = $170\text{ }\mu\text{m}$

Intermed. = $1,5\text{ }\mu\text{m}$

Final: 30 nm

Diâmetro = $3,5\text{ m}$

Material: SiC

Peso: 240 Kg

Espessura: 3 mm

***Limites
tecnológicos
atuais: 20 A***

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agostinho, L.O. Tolerâncias , ajustes, desvios e análise dimensional, Ed. Edgard Blücher, 1990.

Manfé G. et alii, “Desenho Técnico Mecânico” -, Editora Hemus, 3 vols, 1993.

Senai, “Telecurso 2000 – Mecânica”, Editora Globo, 1996

Virtual (Internet)

<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/index.html>

<http://www.infometro.hpg.ig.com.br>