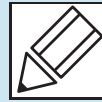


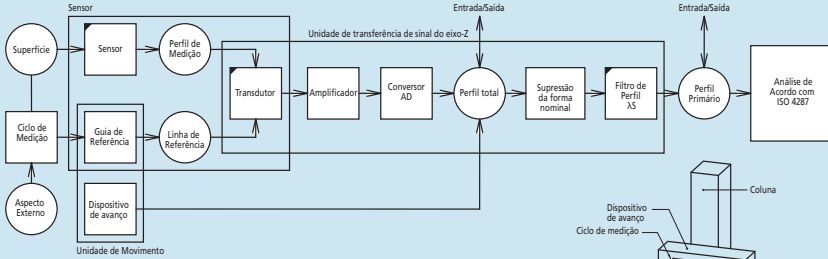
# Guia Rápido para Instrumentos de Medição de Precisão



## Surftest (Rugosímetros)

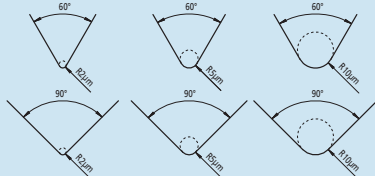
- ISO 1302: 2002 Método de Notação da Rugosidade Superficial
- ISO 4287: 1997 Especificações Geométricas de Produtos (GPS) – Textura Superficial: Método de Perfil – Termos, definições e parâmetros de rugosidade superficial
- ISO 4288: 1996 Especificações Geométricas de Produtos (GPS) – Textura Superficial: Método de Perfil – Normas e procedimentos para a avaliação da rugosidade superficial
- ISO 3274: 1996 Especificações Geométricas de Produtos (GPS) – Textura Superficial: Método de Perfil – Características nominais dos sensores de contato

### Elemento de Contato de Medição da Rugosidade Superficial



### Forma da Ponta de Contato de um Sensor

Uma forma típica de uma ponta de contato de um sensor é cônica com um raio esférico na extremidade.  
 Raio esférico da ponta = 2µm, 5µm ou 10µm  
 Ângulo do cone: 60° ou 90°  
 Comumente os rugosímetros utilizam pontas de contato com cone de 60°, a menos que seja especificado um ângulo diferente.



### Relação entre o Valor de Cutoff e o Raio da Ponta do Apalpador

A tabela que segue apresenta a relação entre o perfil de rugosidade, valor de cutoff λc, raio esférico da ponta do apalpador (rtip) e proporção de cutoff λc/λs.

λc mm	λs µm	λc/λs	r <sub>tip</sub> Máximo µm	Máximo comprimento de amostra µm
0.08	2.5	30	2	0.5
0.25	2.5	100	2	0.5
0.8	2.5	300	2 Nota 1	0.5
2.5	8	300	5 Nota 2	1.5
8	25	300	10 Nota 2	5

Nota 1: Para uma superfície com Ra=0,5µm ou Rz=3µm, um erro significativo raramente ocorrerá em uma medição ainda que aconteça r<sub>tip</sub> = 5µm.  
 Nota 2: Se um valor de corte λc for de 2,5µm ou 0,8µm, a atenuação do sinal devido ao efeito de filtrado mecânico de uma ponta com o raio recomendado aparecerá fora da banda de passo do perfil de rugosidade. Sendo assim, um erro pequeno no raio ou da forma da ponta do apalpador não afetará os valores dos parâmetros calculados das medições. No caso em que se requiera uma relação de corte específica, deve-se defini-la a relação.

### Força de Medição Estática (ISO 6051)

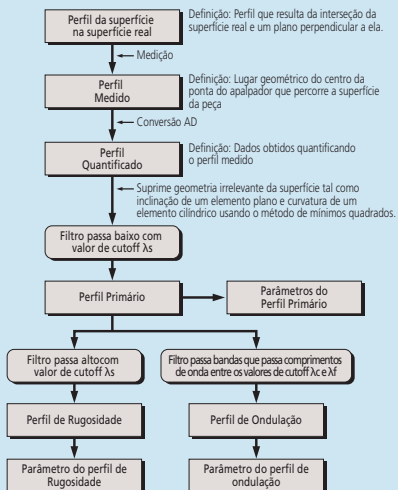
Raio nominal da ponta do apalpador: µm	Força de medição estática na posição média do apalpador: mN	Tolerância na variação da força estática: mN/µm
2	0.75	0.035
5	0.75 (4.0) Nota 1	0.2
10		

Nota 1: O valor máximo da força de medição estática na posição média de um apalpador precisa ser de 4,0mN para um apalpador de estrutura especial incluindo uma ponta substitível.

### Caracterização Metrológica dos Filtros de Correção de Fase

Um filtro de perfil é um filtro de correção de fase sem retardo de fase (causa da distorção do perfil que depende do comprimento de onda). A função de ponderação de um filtro de correção de fase mostra uma distribuição (Gaussiana) norma em que a transmissão da amplitude é de 50% do comprimento de onda de corte.

### Fluxo de Processamento de dados



### Definição de Parâmetros

ISO 4287: 1997

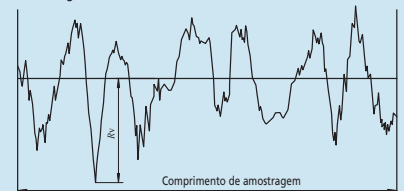
#### Parâmetros de Amplitude (altura pico – vale)

- Altura máxima do pico do perfil primário Pp
- Altura máxima do pico do perfil de rugosidade Rp
- Altura máxima do pico do perfil de ondulação Wp
- Altura do pico do perfil maior Zp dentro do comprimento de amostragem



#### Profundidade máxima do vale do perfil primário Pv

- Profundidade máxima do vale do perfil de rugosidade Rv
- Profundidade máxima do vale do perfil de ondulação Wv
- Maior profundidade do perfil de vales Zv dentro do comprimento de amostragem



#### Altura máxima do perfil primário Pz

- Altura máxima do perfil de rugosidade Rz
- Altura máxima do perfil de ondulação Wz

Soma da altura do pico mais alto e a maior profundidade do perfil de vales Zv dentro do comprimento de amostragem



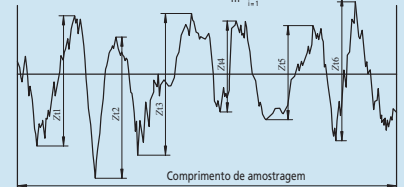
Na antiga JIS e ISO 4287-1:1984, Rz foi usada para indicar a "altura de irregularidades dos dez pontos". Deve ter-se cuidado dado que as diferenças entre os resultados obtidos de acordo às normas atuais e normas antigas não são sempre consideradas pequenas. (Assegure-se de verificar se as instruções do desenho estão de acordo com as normas atuais ou com as normas antigas).

#### Altura média dos elementos do perfil primário Pc

- Altura média dos elementos do perfil de rugosidade Rc
- Altura média dos elementos do perfil de ondulação Wc

Valor médio das alturas dos elementos do perfil Zt dentro do comprimento de amostragem

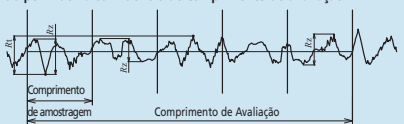
$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti}$$



#### Altura total do perfil primário Pt

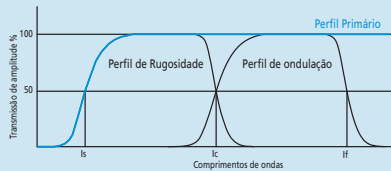
- Altura total do perfil de rugosidade Rt
- Altura total do perfil de ondulação Wt

Soma da altura maior do perfil de picos Zp e a maior profundidade do perfil de vales Zv dentro do comprimento de avaliação.



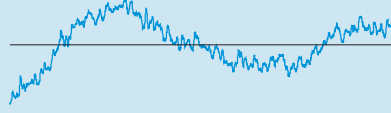
### Perfil de Rugosidade

ISO 4287: 1997



#### Perfil Primário

Perfil obtido desde o perfil medido aplicando um filtro passa baixo com valor de cutoff λs



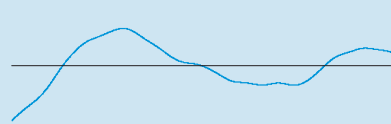
#### Perfil de Rugosidade

Perfil obtido do perfil primário suprimindo a componente de comprimento de onda mais comprido medido usando o filtro passa baixo com valor de cutoff λc.



#### Perfil de Ondulação

Perfil obtido aplicando um filtro passa banda ao perfil primário para eliminar os comprimentos de onda mais compridos acima de λf e os comprimentos de onda mais curtos abaixo de λc.



### Parâmetros de Amplitude (média de ordenadas)

Média aritmética dos desvios do perfil primário  $P_a$   
 Média aritmética dos desvios do perfil de rugosidade  $R_a$   
 Média aritmética dos desvios do perfil de ondulação  $W_a$   
 Média aritmética dos valores absolutos das ordenadas desvios  $Z(x)$  dentro do comprimento de amostragem

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

Com  $l$  igual a  $l_p$ ,  $l_r$  ou  $l_w$  conforme o caso

Raiz quadrada da média aritmética dos desvios do perfil primário  $P_q$   
 Raiz quadrada da média aritmética dos desvios do perfil de rugosidade  $R_q$   
 Raiz quadrada da média aritmética dos desvios do perfil de ondulação  $W_q$   
 Valor da raiz quadrada média dos valores da ordenada  $Z(x)$  dentro do comprimento de amostragem

$$P_q, R_q, W_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx}$$

Com  $l$  igual a  $l_p$ ,  $l_r$  ou  $l_w$  conforme o caso.

Orientação (Skewness) do perfil primário  $P_{sk}$   
 Orientação (Skewness) do perfil de rugosidade  $R_{sk}$   
 Orientação (Skewness) do perfil de ondulação  $W_{sk}$   
 Quociente da média do valor cúbico dos valores ordenados  $Z(x)$  e o cubo de  $P_q$ ,  $R_q$  ou  $W_q$  respectivamente, dentro do comprimento de amostragem.

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \int_0^l \frac{1}{l} Z^3(x) dx$$

A equação anterior define  $R_{sk}$ ,  $P_{sk}$  e  $W_{sk}$  são definidos de uma forma similar.  $P_{sk}$ ,  $R_{sk}$  e  $W_{sk}$  são medidas da assimetria da função de densidade de probabilidade dos valores ordenados

Kurtosis (Achatamento) do perfil primário  $P_{ku}$   
 Kurtosis (Achatamento) do perfil de rugosidade  $R_{ku}$   
 Kurtosis (Achatamento) do perfil de ondulação  $W_{ku}$   
 Proporção da média do valor à quarta potência dos valores ordenados  $Z(x)$  e a quarta potência de  $P_q$ ,  $R_q$  ou  $W_q$  respectivamente, dentro do comprimento de amostragem

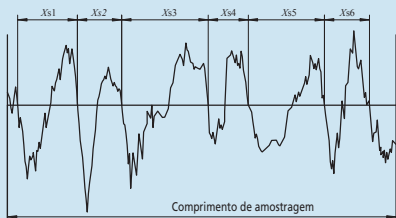
$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \int_0^l \frac{1}{l} Z^4(x) dx$$

A equação anterior define  $R_{ku}$ ,  $P_{ku}$  e  $W_{ku}$  são definidos de uma forma similar.  $P_{ku}$ ,  $R_{ku}$  e  $W_{ku}$  são medidas da assimetria da função de densidade de probabilidade dos valores ordenados.

### Parâmetros de Espaçamento

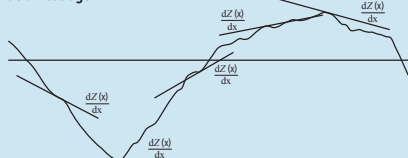
Largura média dos elementos do perfil primário  $P_{sm}$   
 Largura média dos elementos do perfil de rugosidade  $R_{sm}$   
 Largura média dos elementos do perfil de ondulação  $W_{sm}$   
 Média aritmética dos valores de largura dos elementos de perfil  $X_s$  dentro do comprimento de amostragem.

$$P_{sm}, R_{sm}, W_{sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{si}$$



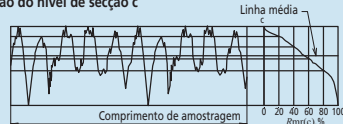
### Parâmetros Híbridos

Raiz quadrada da média das inclinações do perfil primário  $\Delta q$   
 Raiz quadrada da média das inclinações do perfil de rugosidade  $\Delta R_q$   
 Raiz quadrada da média das inclinações do perfil de ondulação  $\Delta W_q$   
 Raiz quadrada da média das inclinações  $dZ/dx$  dentro do comprimento de amostragem.



### Curvas, Função de Densidade de Probabilidade e Parâmetros Relacionados

Curva de proporção de material do perfil (curva Abbott-Firestone)  
 Curva que representa a proporção de material do perfil como uma função do nível de secção  $c$

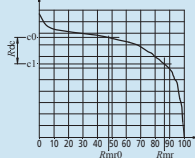


Proporção de material do perfil primário  $P_{mr}(c)$   
 Proporção de material do perfil de rugosidade  $R_{mr}(c)$   
 Proporção de material do perfil de ondulação  $W_{mr}(c)$   
 Proporção do comprimento de material dos elementos do perfil  $M(c)$  em um nível dado  $c$  ao comprimento de avaliação

$$P_{mr}(c), R_{mr}(c), W_{mr}(c) = \frac{M(c)}{l_n}$$

Diferença da altura de secção do perfil primário  $P_{dc}$   
 Diferença da altura de secção do perfil de rugosidade  $R_{dc}$   
 Diferença da altura de secção do perfil de ondulação  $W_{dc}$   
 Distância vertical entre os níveis de secção de uma proporção dada de material.

$$R_{dc} = c(R_{mr1}) - c(R_{mr2}); R_{mr1} < R_{mr2}$$

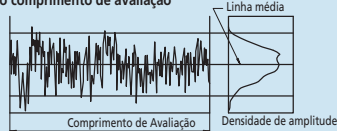


Proporção do material relativo do perfil primário  $P_{mr}$   
 Proporção do material relativo do perfil de rugosidade  $R_{mr}$   
 Proporção do material relativo do perfil de ondulação  $W_{mr}$   
 Proporção do material determinada em um nível de secção do perfil  $R_{0c}$  (ou  $P_{0c}$  ou  $W_{0c}$ ), relacionada ao nível de secção de referência  $c_0$

$$P_{mr}, R_{mr}, W_{mr} = P_{mr}(c_1), R_{mr}(c_1), W_{mr}(c_1)$$

onde  $c_1 = c_0 - R_{dc}(R_{dc}, W_{dc})$   
 $c_0 = c(P_{m0}, R_{m0}, W_{m0})$

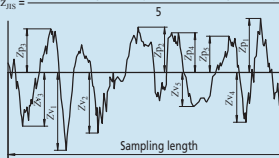
Função de densidade de probabilidade (curva de distribuição de amplitude da altura do perfil)  
 Função de densidade de probabilidade amostra da ordenada  $Z(x)$  dentro do comprimento de avaliação



### Parâmetros Específicos JIS

Altura de irregularidades dos dez pontos,  $Rz$  (JIS)  
 Média aritmética da soma absoluta dos cinco picos mais altos e a soma dos cinco vales mais profundos, medidas desde a linha média dentro do comprimento de amostragem de um perfil de rugosidade (filtrado). Este perfil é obtido desde o perfil primário usando um filtro passa banda de fase corrigida com valores de cutoff de  $\lambda c$  e  $\lambda s$

$$Rz_{JIS} = \frac{|Z_{p1} + Z_{p2} + Z_{p3} + Z_{p4} + Z_{p5}| + |Z_{v1} + Z_{v2} + Z_{v3} + Z_{v4} + Z_{v5}|}{5}$$



Símbolo	Perfil Usado
$Rz_{JIS-2}$	Perfil de superfície tal como é medido
$Rz_{JIS-94}$	Perfil de rugosidade derivado do perfil primário usando um filtro passa alto de fase corrigida

Média aritmética do desvio do perfil  $Ra_{75}$   
 Média aritmética dos valores absolutos dos desvios do perfil desde a linha média dentro do comprimento de amostragem do perfil de rugosidade (75%). Este perfil é obtido a partir da medição de um perfil usando um filtro análogo passa alto com um fator de atenuação de 12db/oct e um valor de cutoff de  $\lambda c$

$$Ra_{75} = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

### Comprimento de amostragem para Parâmetros de Rugosidade Superficial

ISO 4288: 1996 (JIS B 0633: 2001)

Tabela 1: Comprimento de amostragem para parâmetros do perfil de rugosidade não periódico ( $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_{sk}$ ,  $R_{ku}$ ,  $R_{\Delta q}$ ) curva de proporção de material, função de densidade de probabilidade e parâmetros relacionados

$R_a$ $\mu m$	Comprimento da Amostragem $l_r$ mm	Comprim. Avaliação $l_n$ mm
$(0.006) < R_a \leq 0.02$	0.08	0.4
$0.02 < R_a \leq 0.1$	0.25	1.25
$0.1 < R_a \leq 2$	0.8	4
$2 < R_a \leq 10$	2.5	12.5
$10 < R_a \leq 80$	8	40

Tabela 2: Comprimento de amostragem para parâmetros do perfil de rugosidade não periódico ( $R_z$ ,  $R_v$ ,  $R_{sk}$ ,  $R_p$ ,  $R_c$ ,  $R_t$ ).

$R_z$ $R_z l_{max}$ $\mu m$	Comp. da Amostragem $l_r$ mm	Comprim. Avaliação $l_n$ mm
$(0.025) < R_z, R_z l_{max} \leq 0.1$	0.08	0.4
$0.1 < R_z, R_z l_{max} \leq 0.5$	0.25	1.25
$0.5 < R_z, R_z l_{max} \leq 10$	0.8	4
$10 < R_z, R_z l_{max} \leq 50$	2.5	12.5
$50 < R_z, R_z l_{max} \leq 200$	8	40

Tabela 3: Comprimentos de amostragem para medição de parâmetros do perfil de rugosidade periódico e parâmetros RSm de perfil periódico e não-periódico

Rsm mm	Comp. da Amostragem $l_r$ mm	Comprim. Avaliação $l_n$ mm
$0.013 < R_{sm} \leq 0.04$	0.08	0.4
$0.04 < R_{sm} \leq 0.13$	0.25	1.25
$0.13 < R_{sm} \leq 0.4$	0.8	4
$0.4 < R_{sm} \leq 1.3$	2.5	12.5
$1.3 < R_{sm} \leq 4$	8	40

### Procedimento para determinação do comprimento de amostragem quando não está especificado

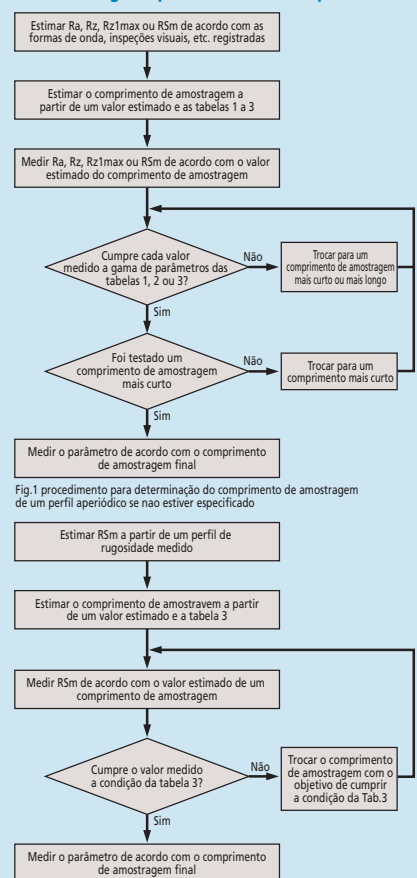


Fig.1 procedimento para determinação do comprimento de amostragem de um perfil aperiódico se não estiver especificado

Fig.2 procedimento para determinação do comprimento de amostragem de um perfil periódico se não estiver especificado