



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

# **Engenharia de Precisão**

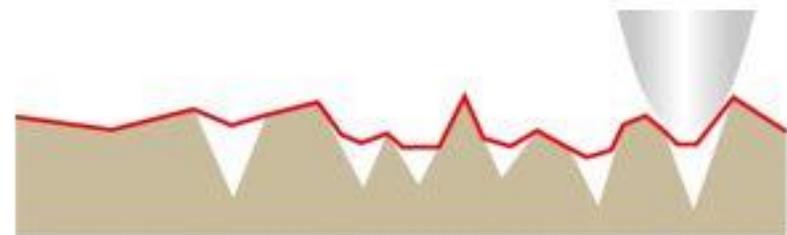
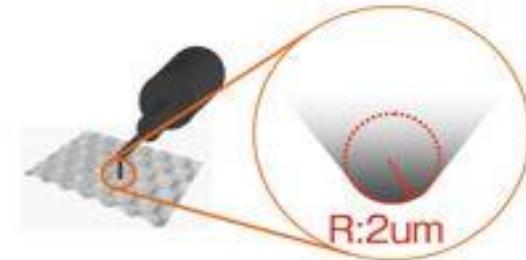
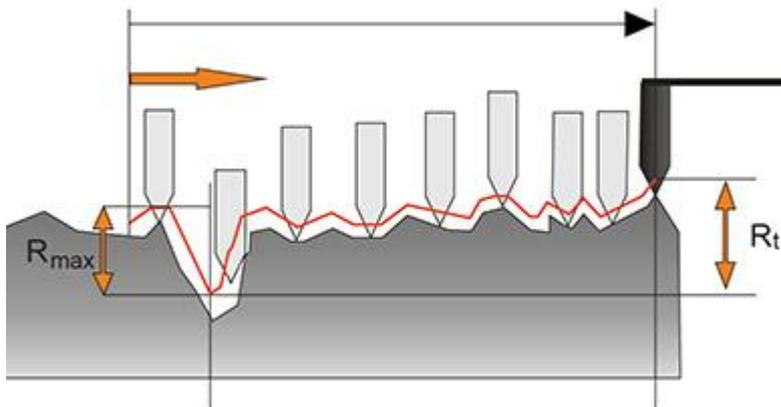
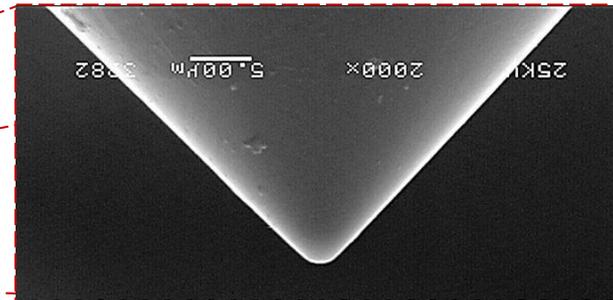
**PMR 3501 – A28**

**Caracterização de superfícies UP**

**2023.2**

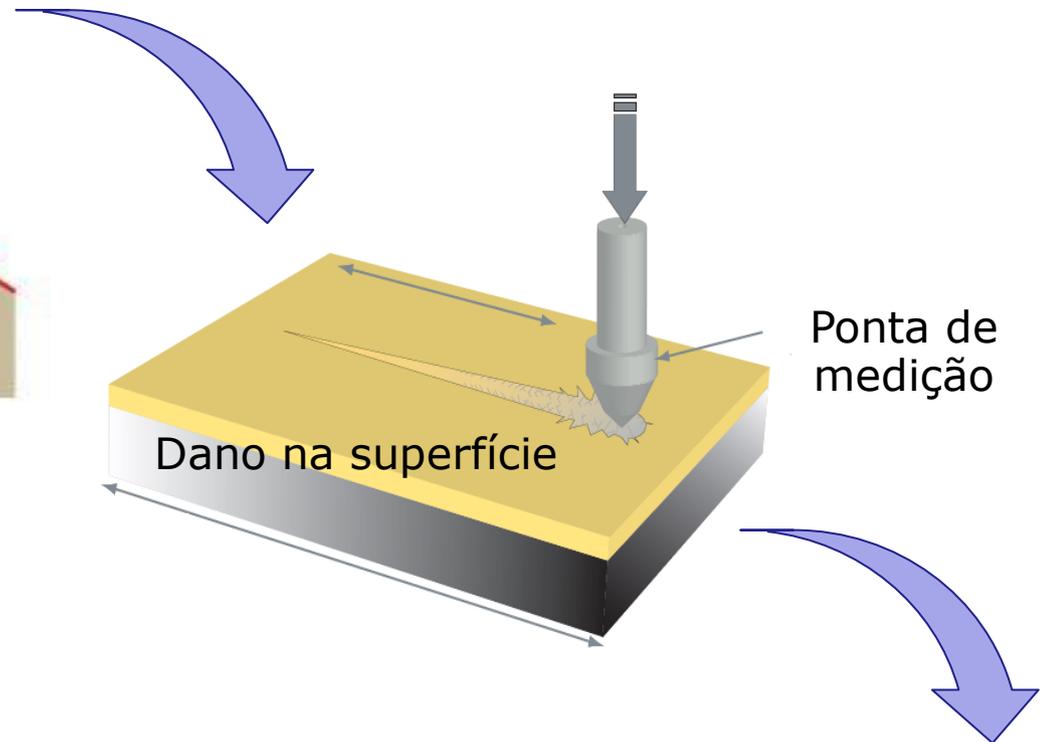
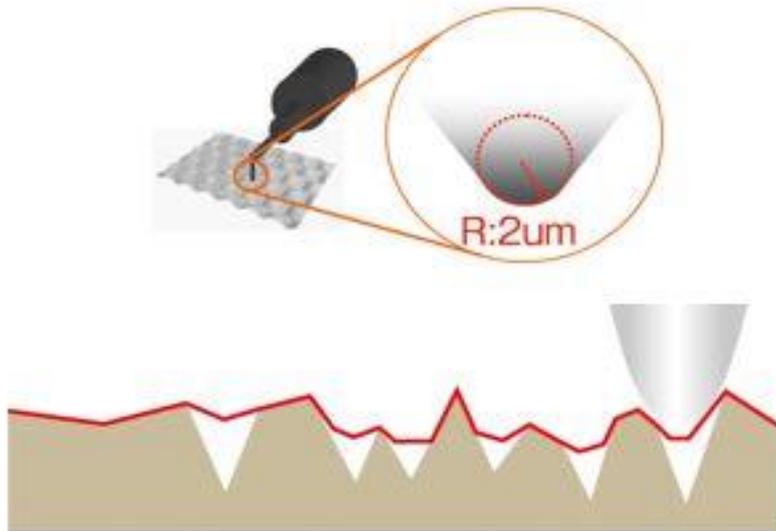


## Medição com de rugosidade com contato



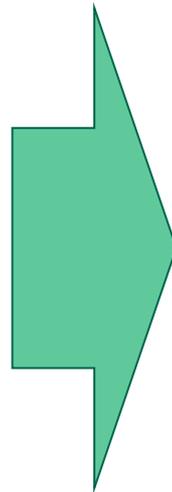


## Medição com de rugosidade com contato

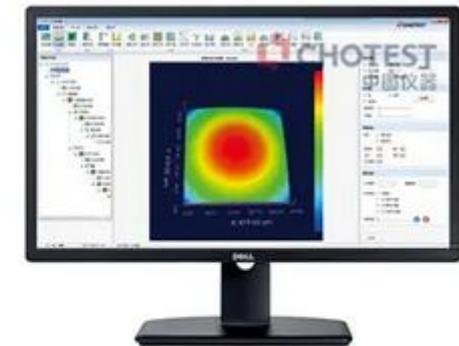




## Medição de rugosidade



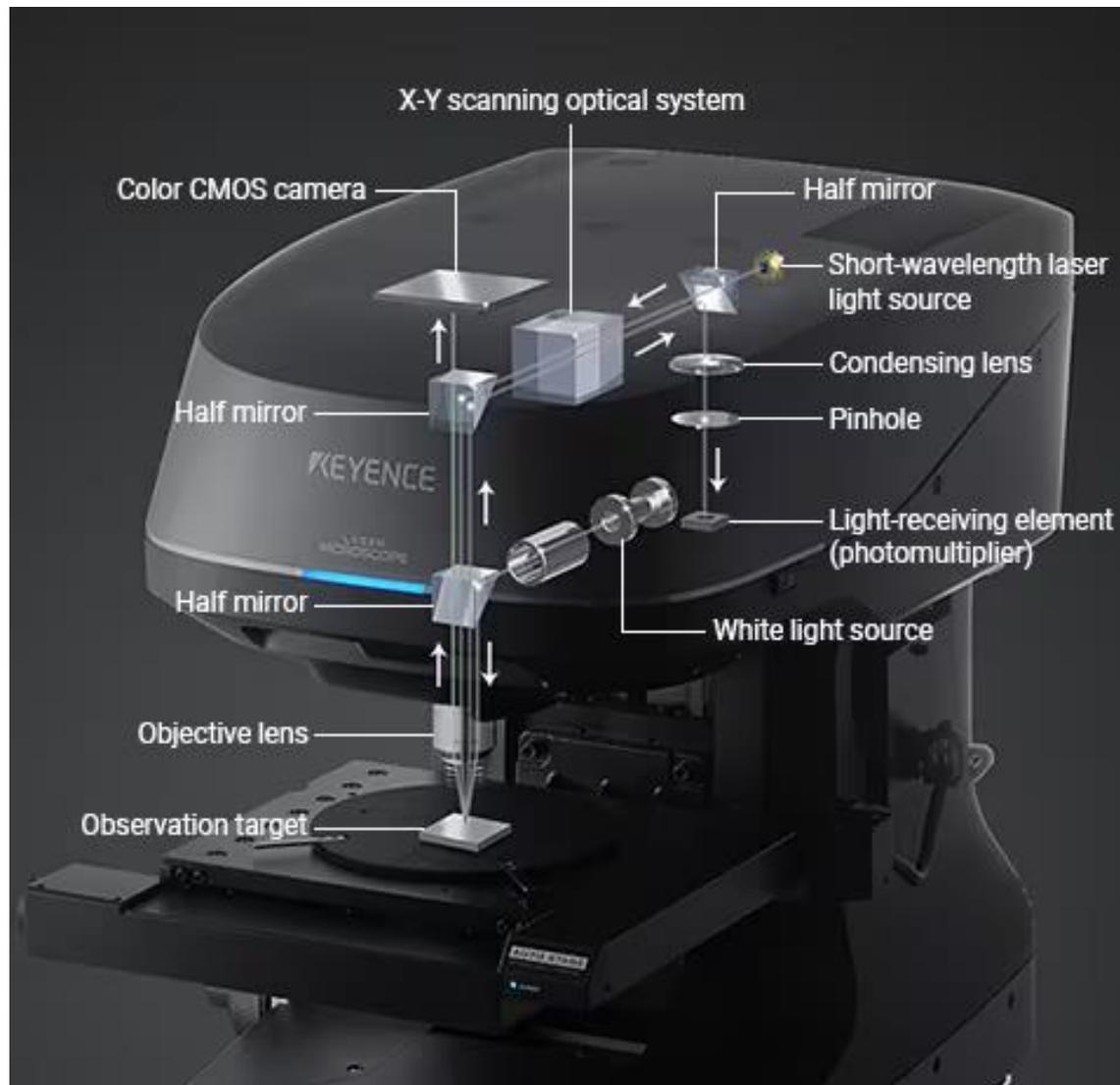
**Medição mecânica**



**Medição ótica**

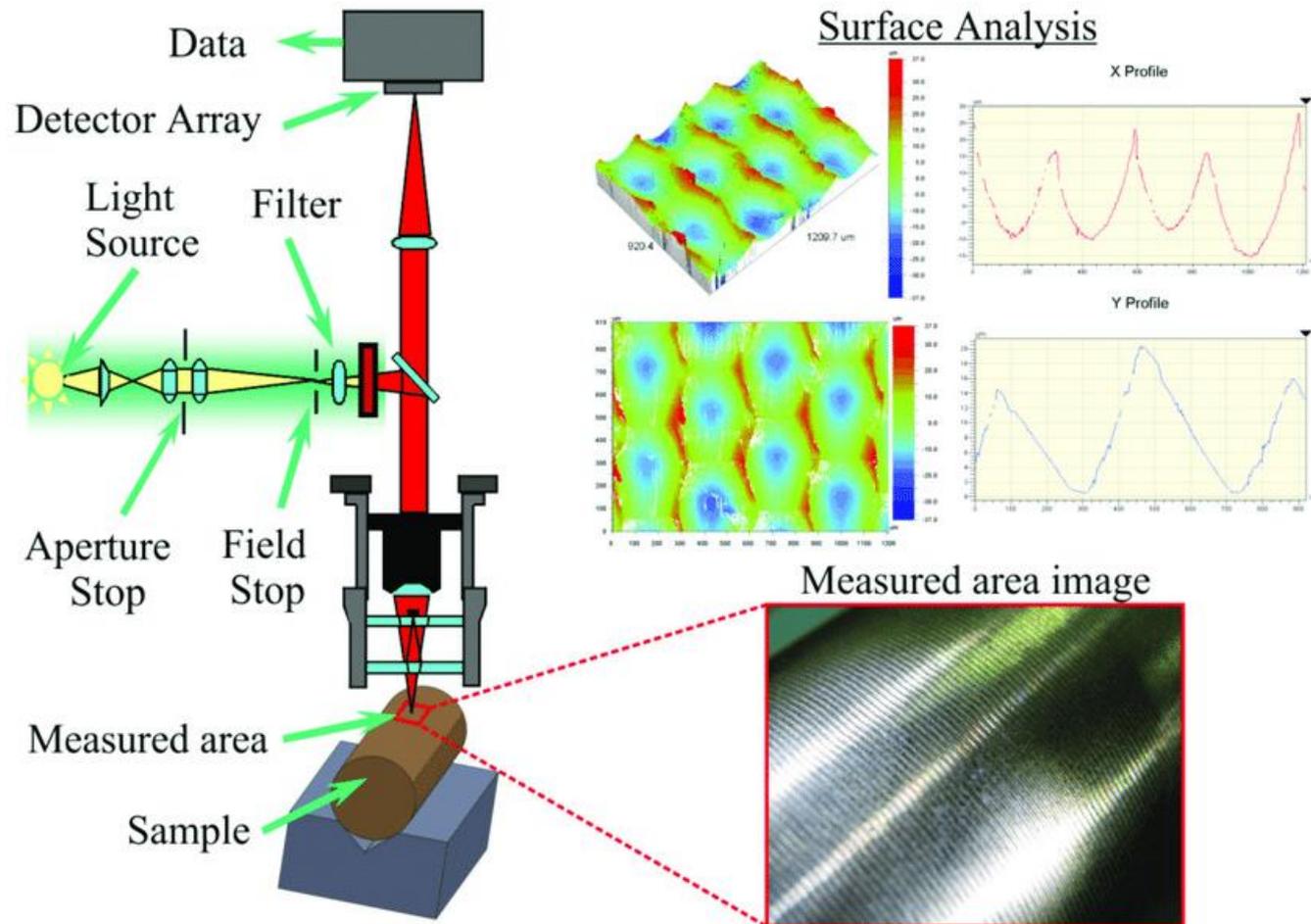


## Medição ótica de rugosidade





## Medição ótica de rugosidade

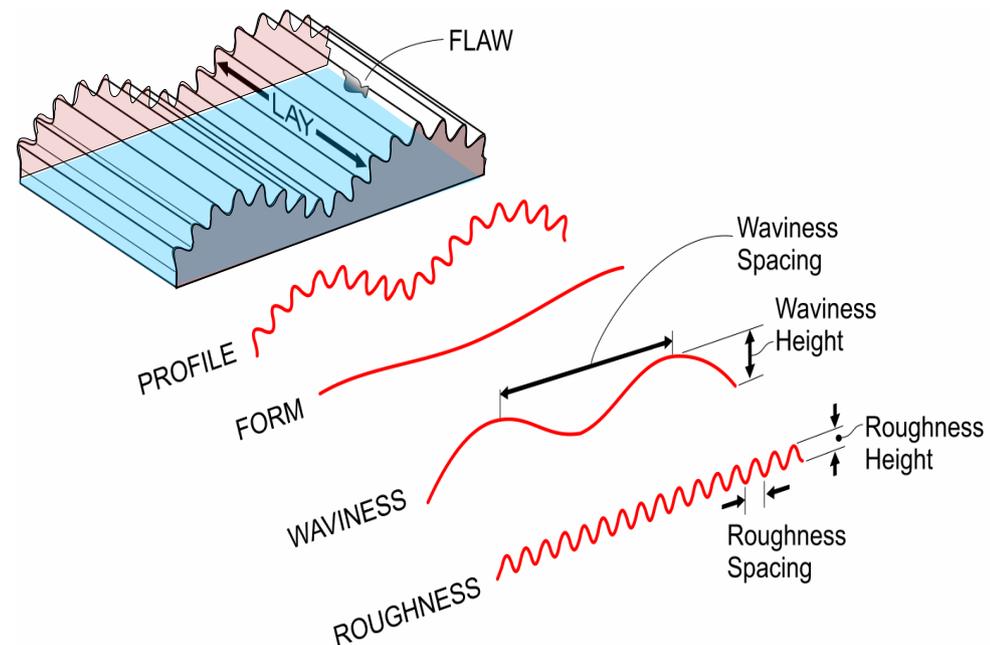




## Medição ótica de rugosidade

### Terminologia

- Direção de colocação do padrão de acabamento.
- Forma- formato geral da superfície (impreciso máquina, peça tensionada).
- Ondulação – irregularidades amplamente espaçadas (vibração, conversa).
- Rugosidade – irregularidades pouco espaçadas (ferramenta de corte marcas, grão do rebolo).





## Medição ótica de rugosidade

### Terminologia

- Área – Área de superfície tridimensional.
- Autocorrelação – Uma ferramenta matemática para encontrar repetições padrões, como a presença de um sinal periódico obscurecido pelo ruído.
- Filtro de corte – Determina o comprimento de onda no qual a superfície a estrutura é diferenciada entre rugosidade e ondulação dados. Seleção adequada do corte de filtro correto no software é fundamental para a precisão da medição. ( $\lambda_c$ ) Comprimento de avaliação – A área 2D ou 3D da qual os dados são obtido.
- Isotrópica – a superfície apresenta características idênticas independentemente da direção da medição..



## Medição ótica de rugosidade

### Terminologia

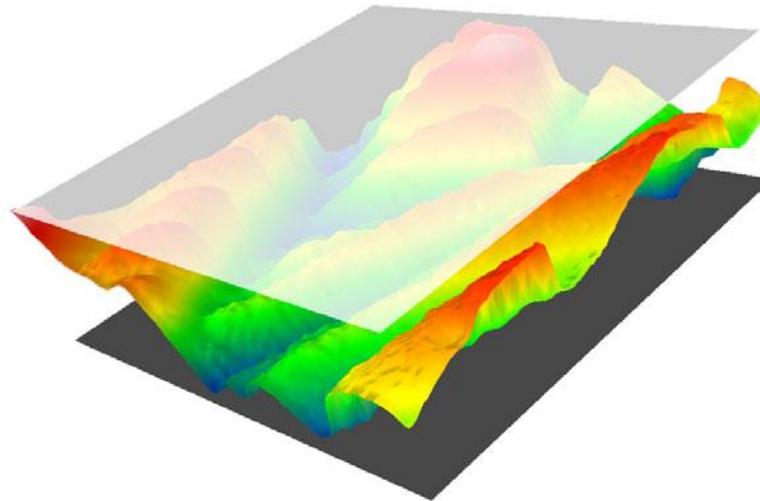
- Linha Média – Uma linha reta que é gerada pelo cálculo de uma média ponderada para cada ponto de dados resultando em áreas iguais acima e abaixo da linha. Também conhecida como linha central.
- Perfil – Uma fatia bidimensional através de uma área.
- Comprimento de Amostragem - A área selecionada para analisar tendo um corte específico; irregularidades mais espaçadas do que o comprimento de amostragem são considerados ondulação.
- Textura da Superfície – A topografia de uma superfície composta por certos desvios que são típicos da superfície real. Isto inclui rugosidade e ondulação.



## Parâmetros ISO de área

### Desvio de planicidade de área

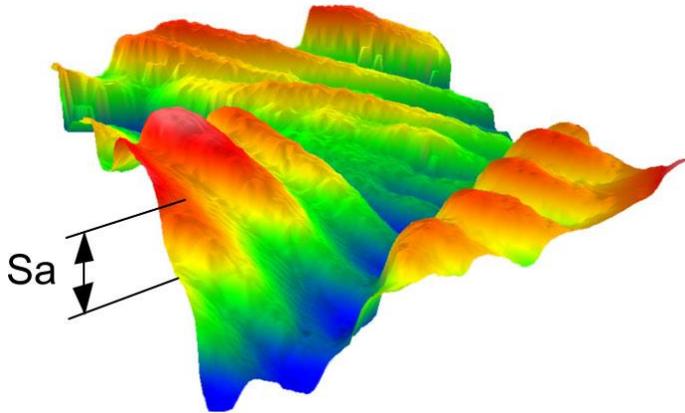
- A medida da superfície desvio de perfeitamente plano.
- É a distância entre dois planos paralelos obtidos por aplicando um ajuste de Chebychev aos dados de superfície.
- O ajuste de Chebychev é uma técnica matemática que efetivamente usa dois planos paralelos para “espremer” os pontos de dados da superfície de ambos dentro e fora, ajustando o ângulo para minimizar a distância entre os planos.





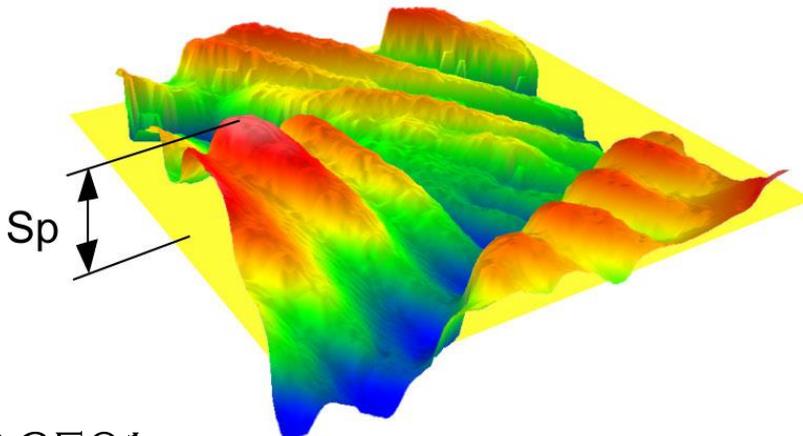
## Parâmetros ISO de área

**SA** – rugosidade média avaliada sobre a superfície 3D completa



$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |Z(x, y)| dx dy$$

**Sp** – Máxima altura de pico na área superfície.

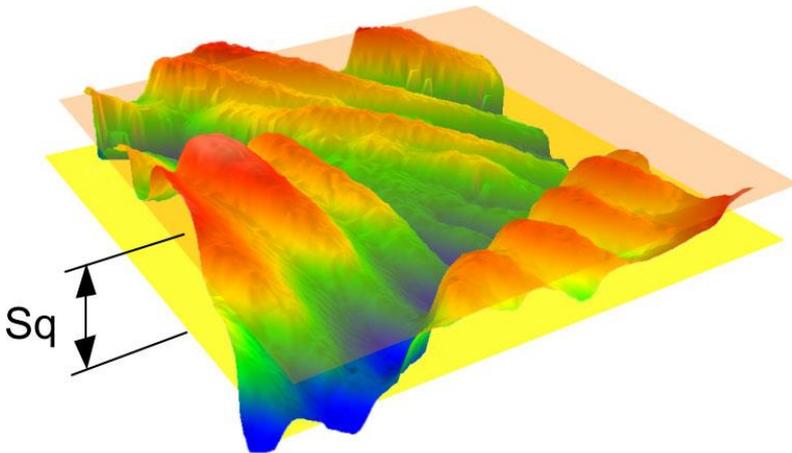


$$S_p = \max (Z(x, y))$$



## Parâmetros ISO de área

**Sq** - rugosidade média quadrática avaliada sobre a superfície 3D completa



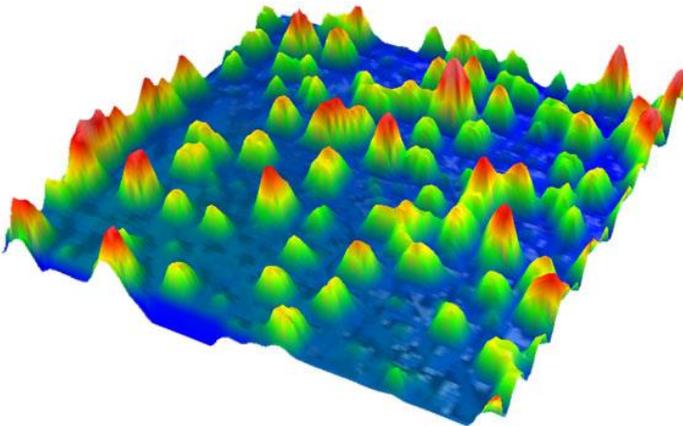
$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A Z^2(x, y) dx dy}$$



## Parâmetros ISO de área

**Sk<sub>u</sub>** - Curtose da superfície areal.

Isto indica a presença de níveis excessivamente altos picos ou vales profundos ( $Sk_u > 3,00$ ) ou falta deles ( $Sk_u < 3,00$ ) compondo a superfície.



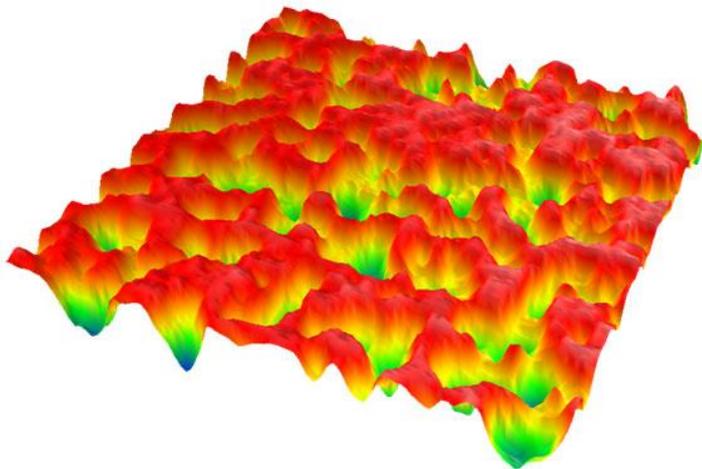
$$Sk_u = \frac{1}{S_q^4} \left[ \frac{1}{A} \iint_A (Z(x, y)^4) dx dy \right]$$



## Parâmetros ISO de área

**Ssk** - Distorção da superfície areal.

Isso representa o grau de simetria do alturas da superfície em relação ao plano médio. O sinal de Ssk indica a predominância de picos ( $Ssk > 0$ ) ou estruturas de vale ( $Ssk < 0$ ) compreendendo a superfície.

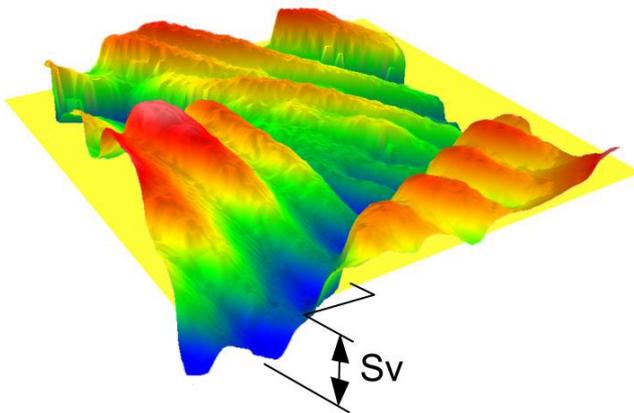


$$Ssk = \frac{1}{S_q^3} \left[ \frac{1}{A} \iint_A (Z(x, y)^3) dx dy \right]$$



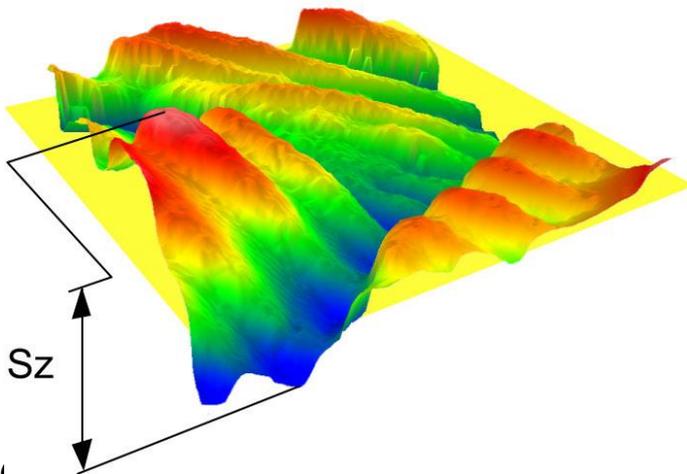
## Parâmetros ISO de área

**S<sub>v</sub>** - Máxima profundidade de vale na área da superfície.



$$S_v = \min (Z(x, y))$$

**S<sub>z</sub>** - Máximo tamanho da altura de a área superfície. Isto é o pico para vale altura.



$$S_z = S_p + S_v$$



## Parâmetros ISO de área

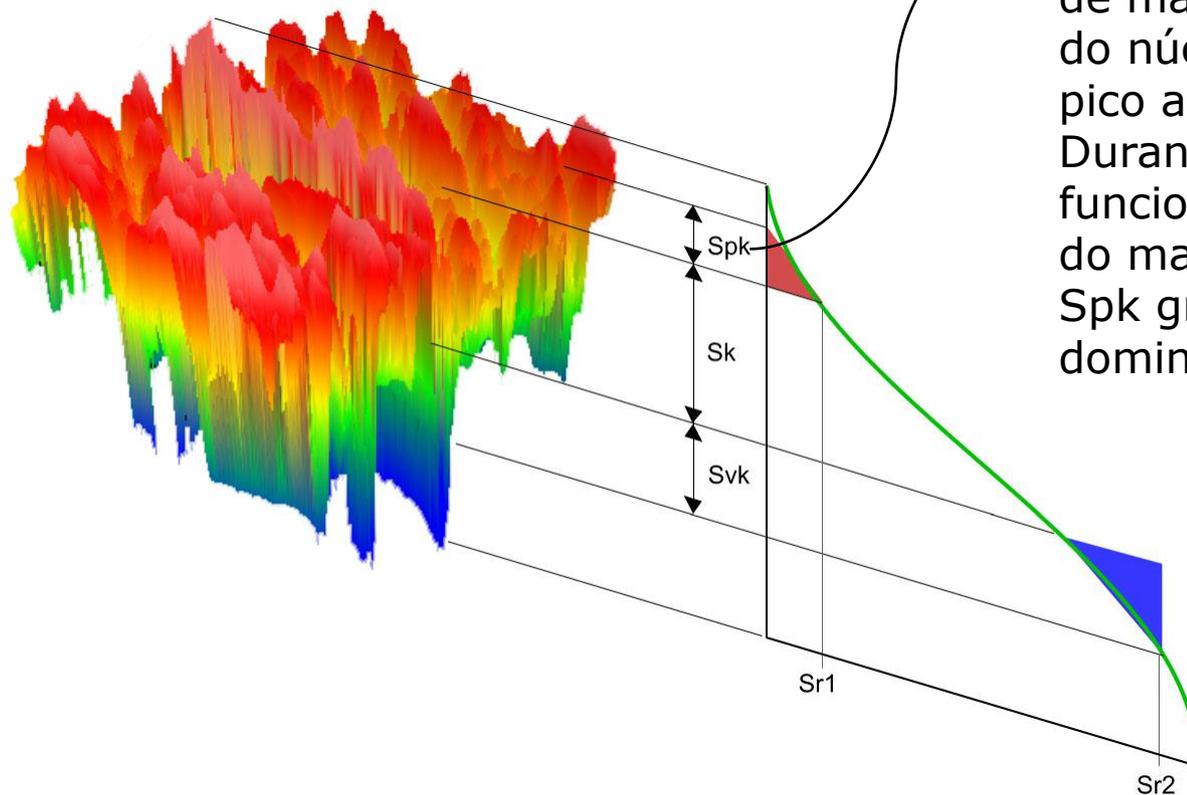
Os parâmetros de área são usados para avaliar tribologicamente o desempenho de uma superfície estruturada em platô 3D.

- **Smq** - proporção de material na qual a linha se ajusta a duas regiões lineares características do material curva de probabilidade se cruzam.
- **Spq** - média quadrática média da altura desvios na porção de pico ou platô do Gráfico de probabilidade material.
- **Svq** - média quadrática dos desvios médios de altura média na porção de vale do Material. Este resultado é útil como preditor da rugosidade da superfície original
- **Sxp** - Altura extrema do pico.



## Parâmetros funcionais ISO de área (proporção de material)

Parâmetros funcionais ISO de área baseado na ISO 25178

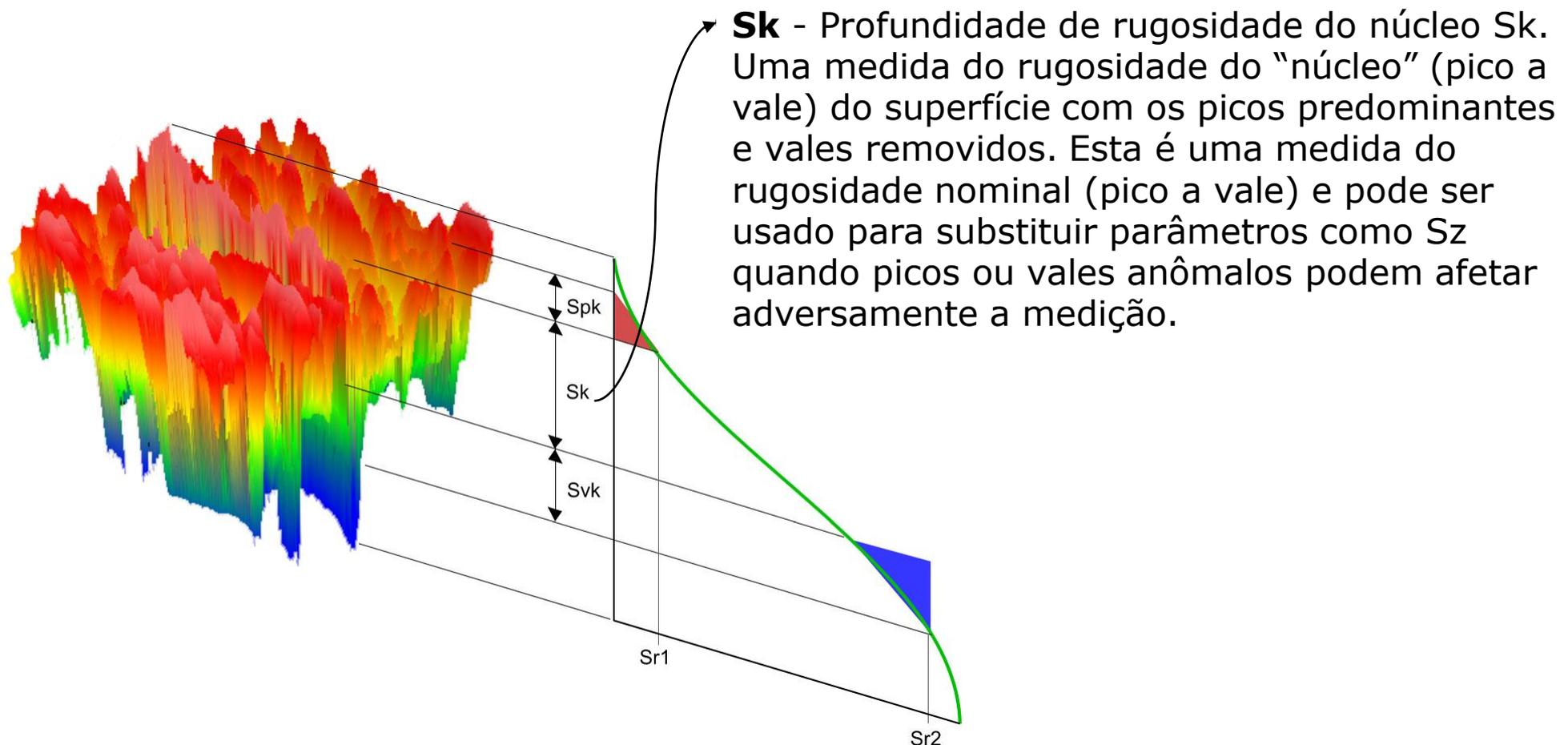


**Spk** - Altura de pico reduzida. A área acima do região da curva de proporção de material que delimita a rugosidade do núcleo. Uma medida de a altura do pico acima da rugosidade do núcleo. Durante uma operação em funcionamento, Spk é o altura nominal do material que pode ser removido. Um Spk grande implica um pico superfície dominante.



## Parâmetros funcionais ISO de área (proporção de material)

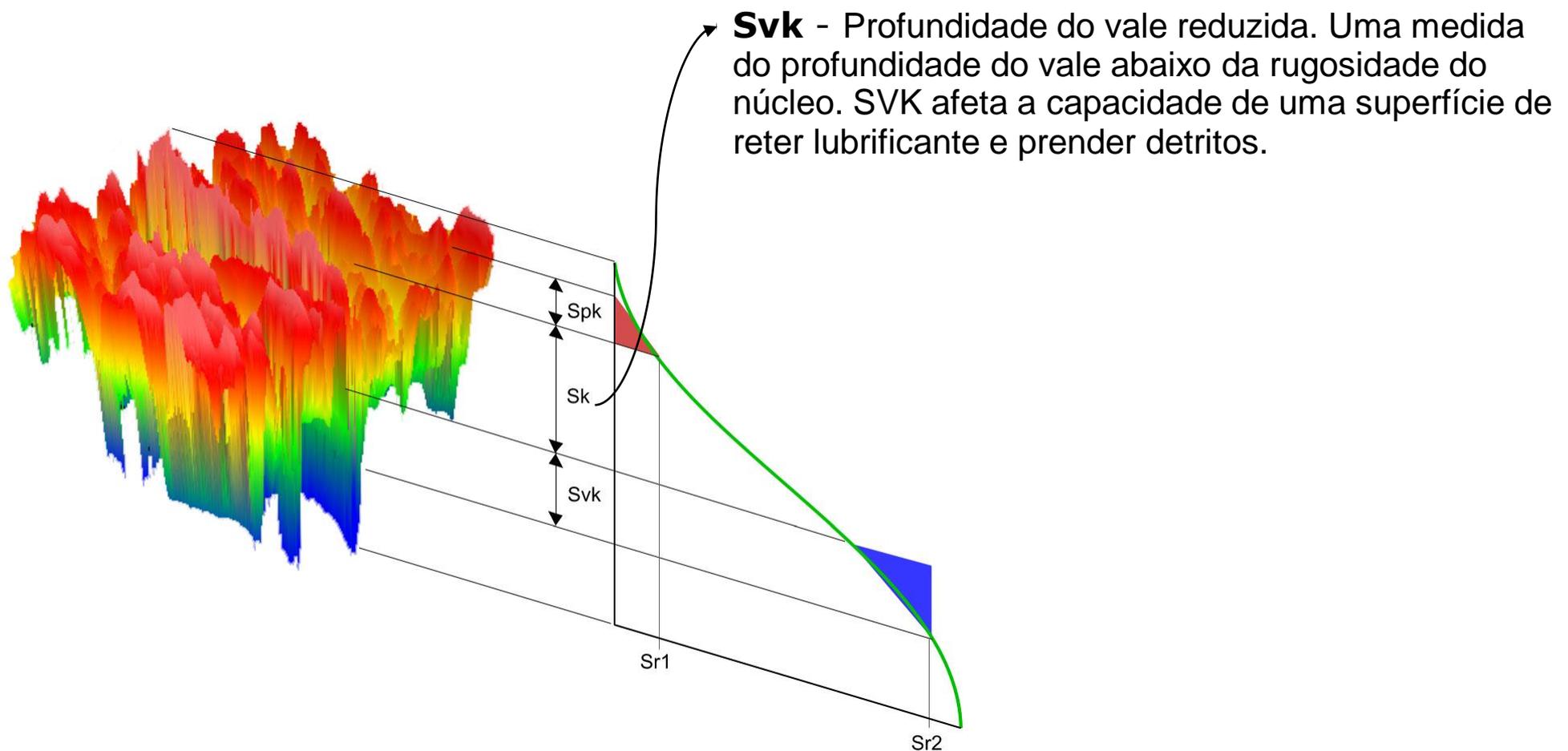
Parâmetros funcionais ISO de área baseado na ISO 25178





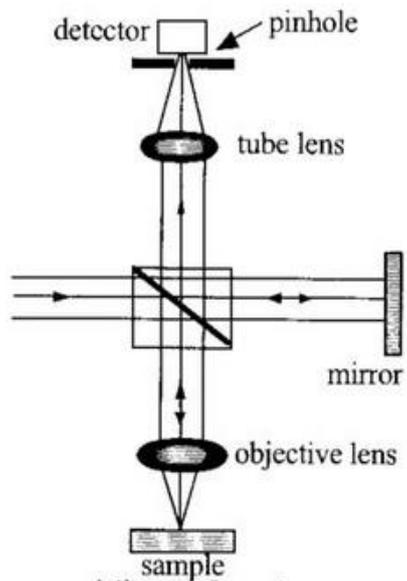
## Parâmetros funcionais ISO de área (proporção de material)

Parâmetros funcionais ISO de área baseado na ISO 25178

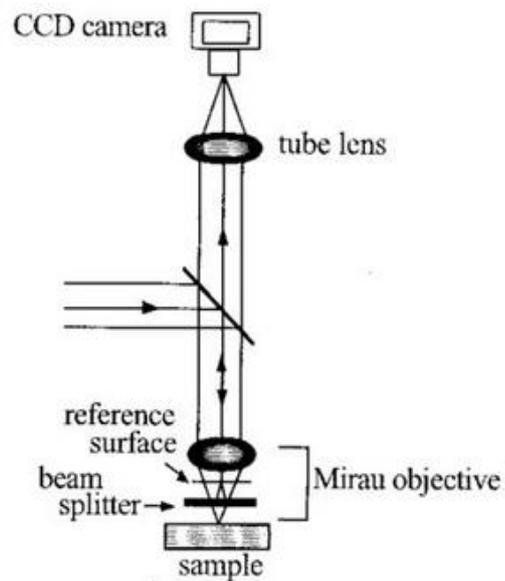




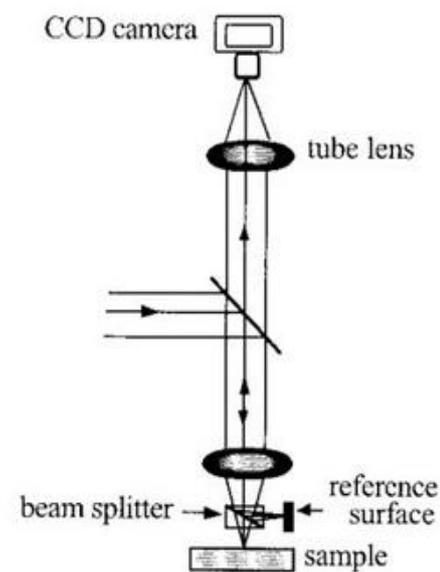
## Princípios de medição



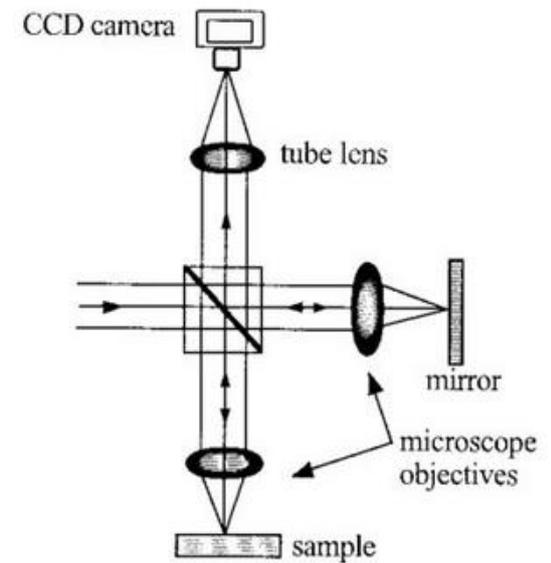
**Cofocal**



**Mirau**



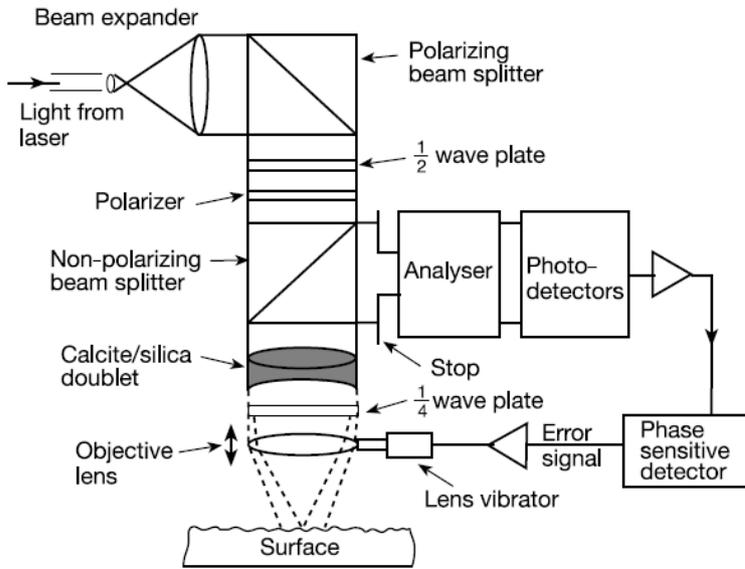
**Michelson**



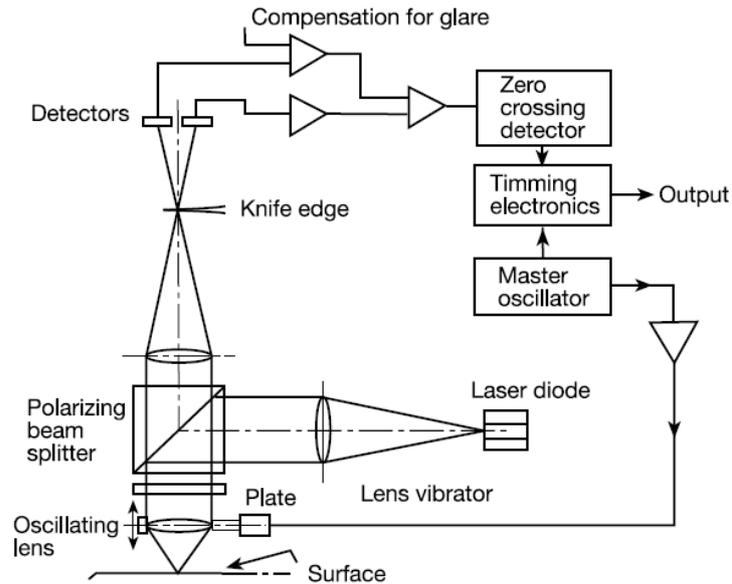
**Linnik**



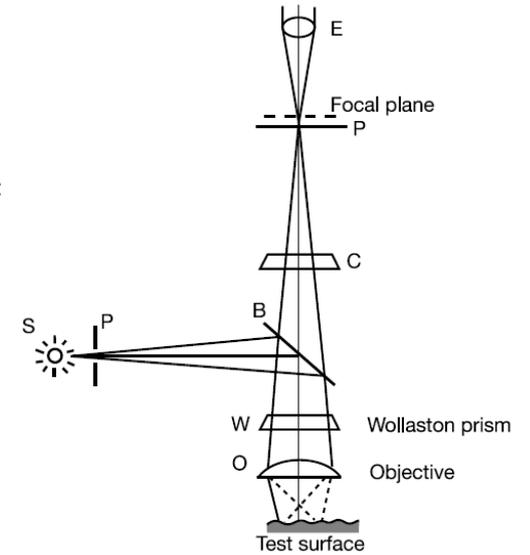
## Princípios de medição



**Dupuy's optical follower**



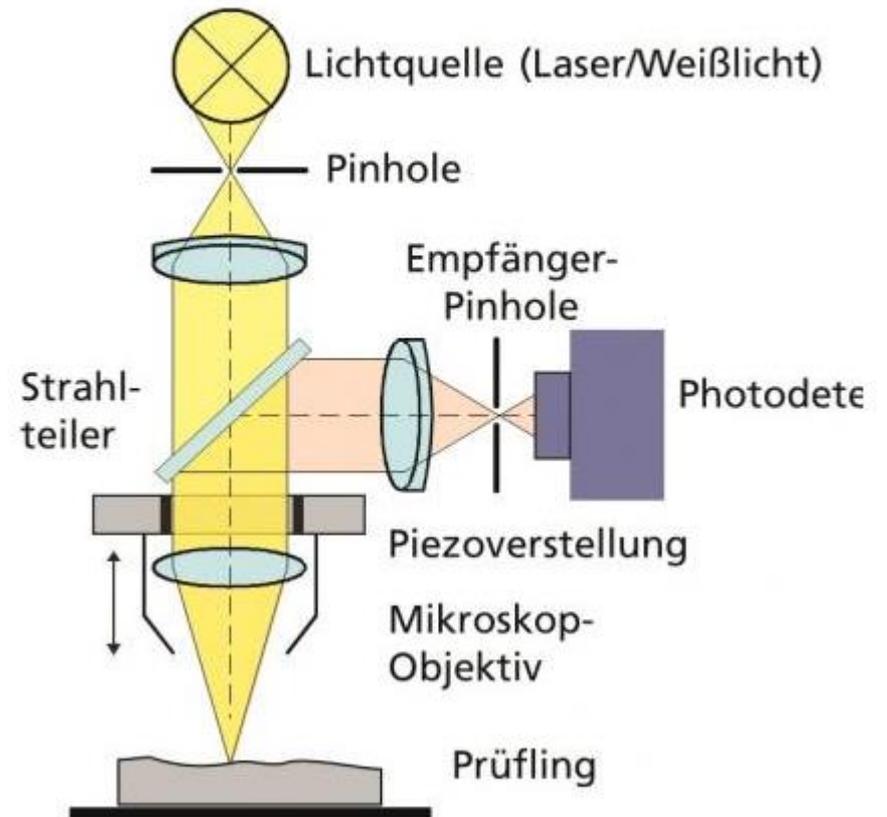
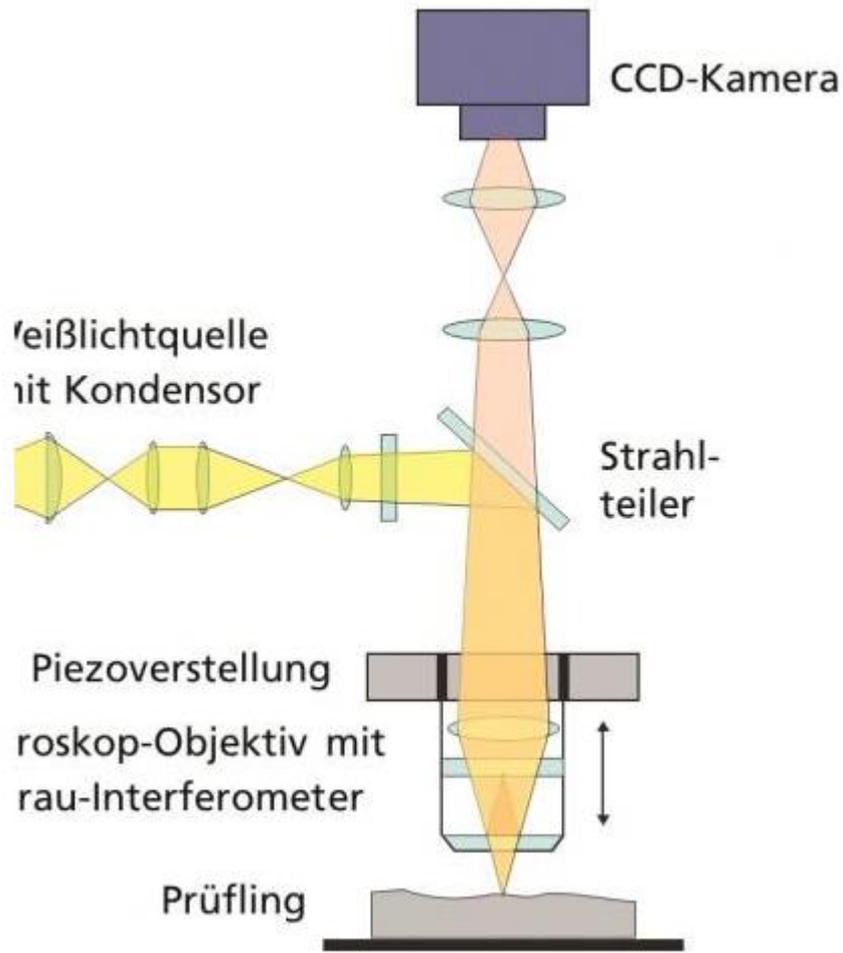
**heterodyne follower**



**Nomarski**



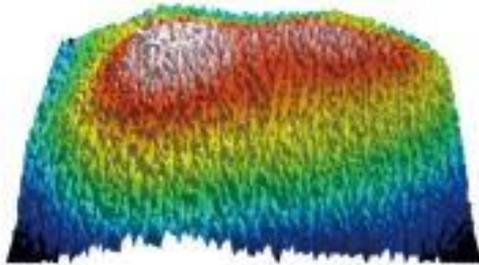
## Princípios de medição



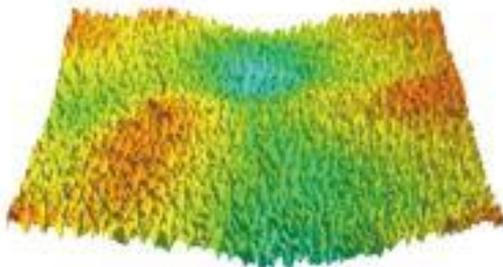


## Vantagens

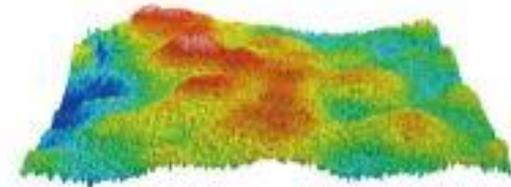
### Remoção de erros de ordem superiores



Elimination of spherical Features



Elimination of small Features



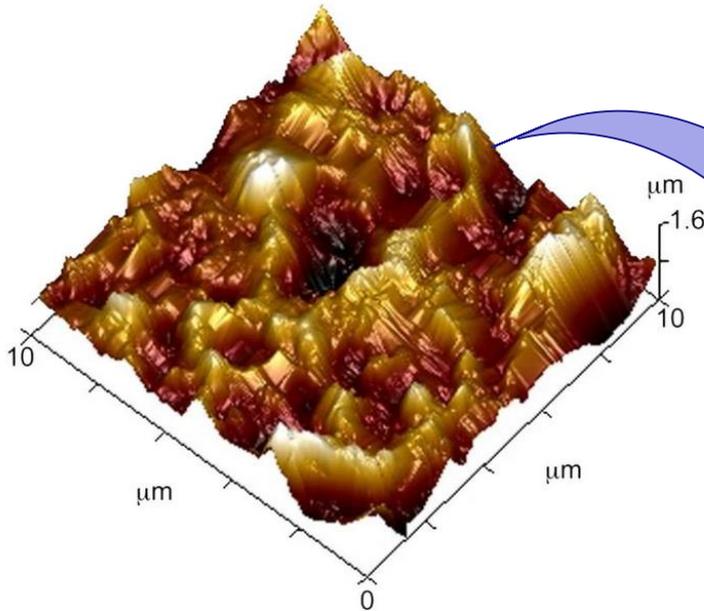
Elimination of waviness features





## Vantagens

### Manipulação da imagem



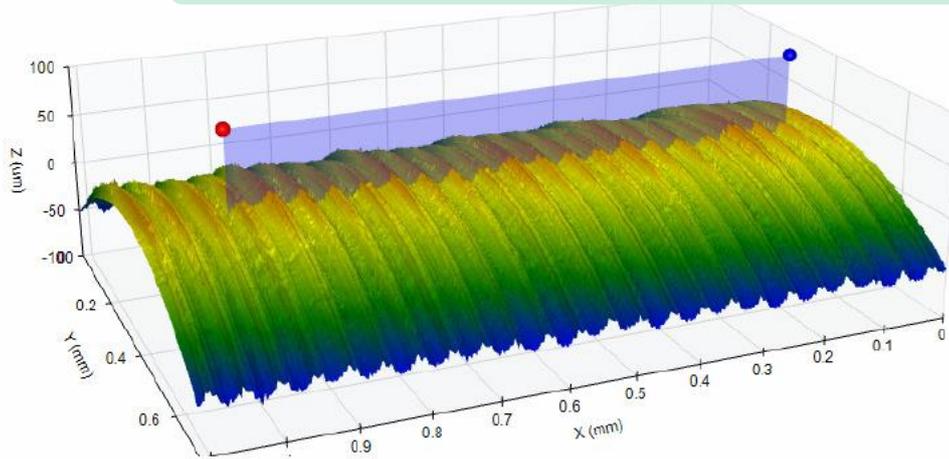
**Cada pixel tem associado  
uma coordenada espacial  
X, Y, Z**

**A imagem é 3D**



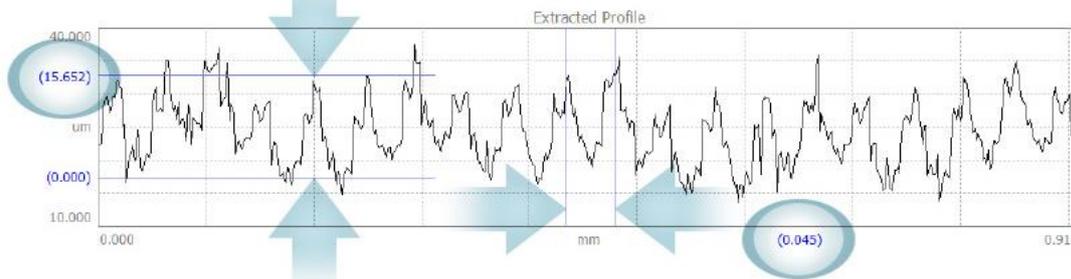
## Vantagens

### Análise do perfil 2D



3D

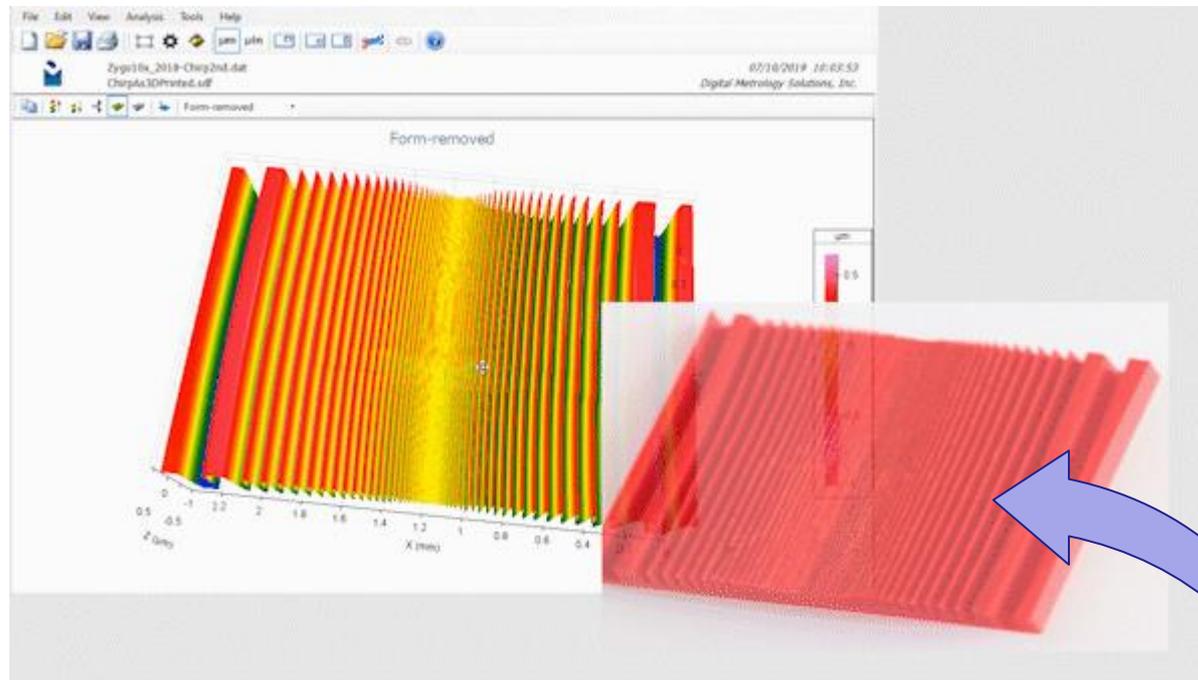
2D





## Vantagens

### Manipulação da imagem

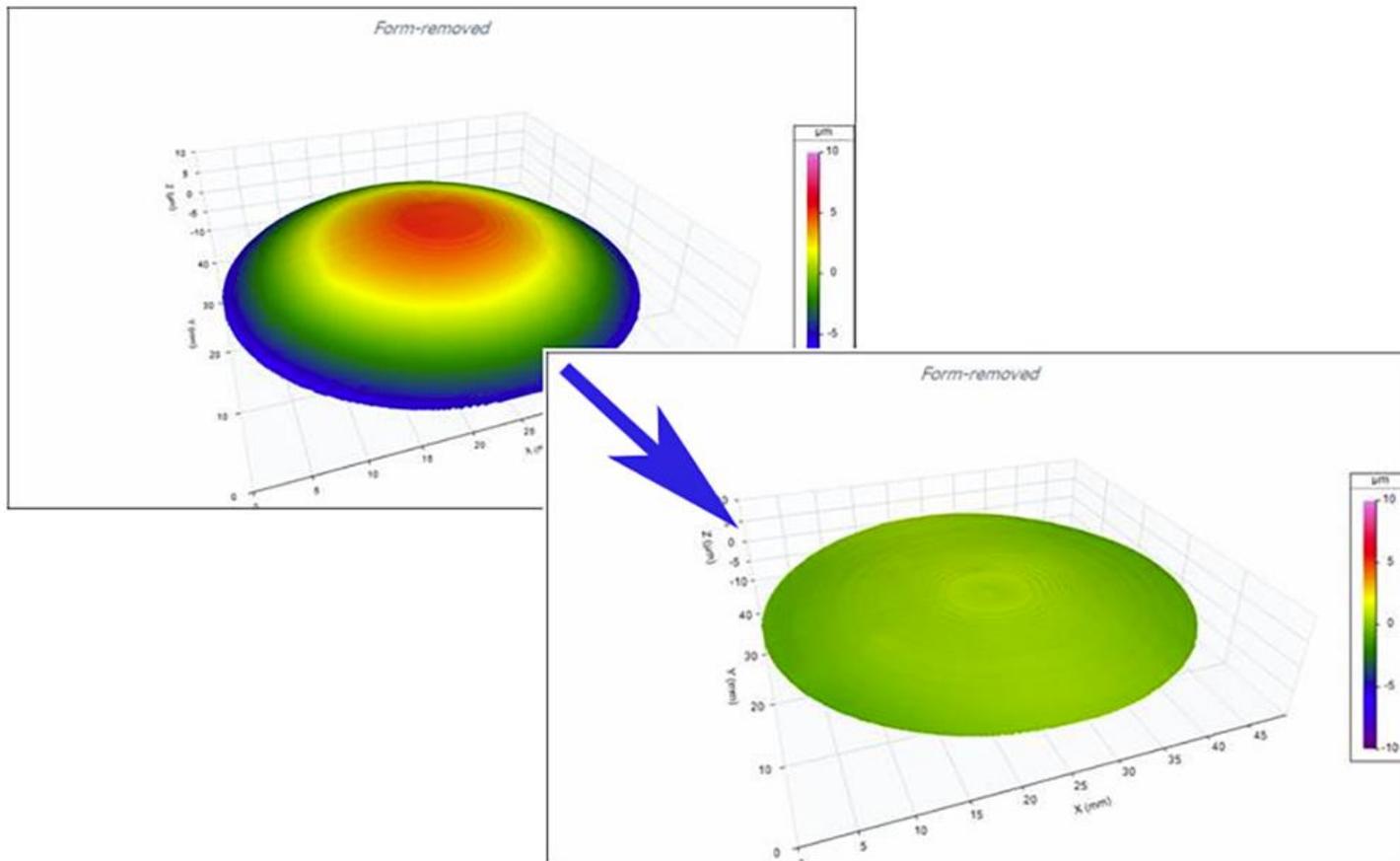


**Superfície impressa 3D**



## Vantagens

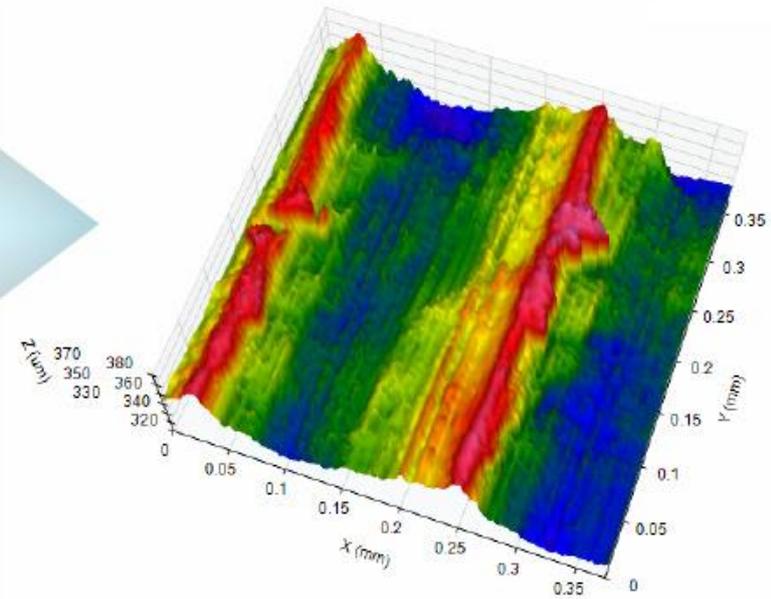
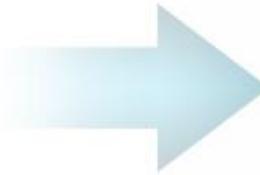
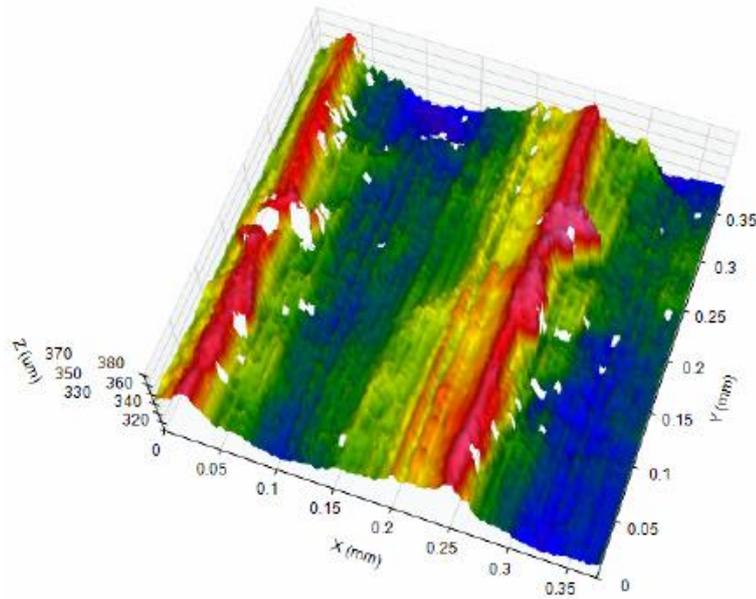
### Remoção de forma





## Vantagens

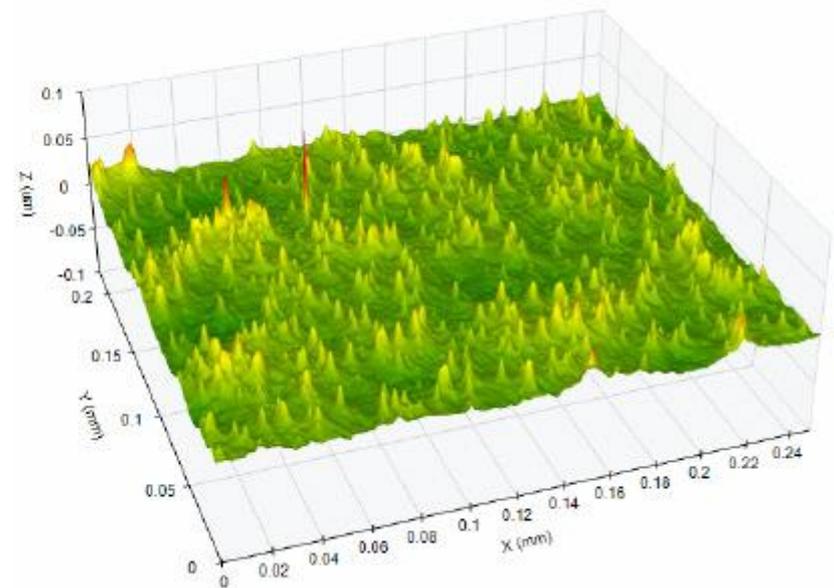
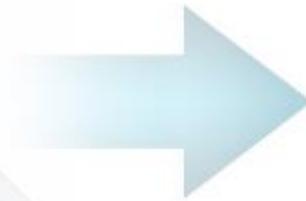
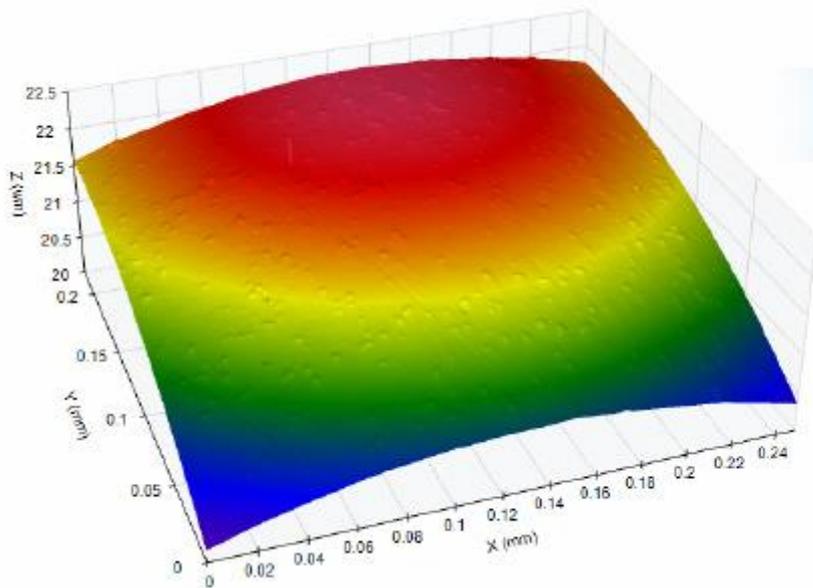
### Preenchimento dos pontos não medidos





## Vantagens

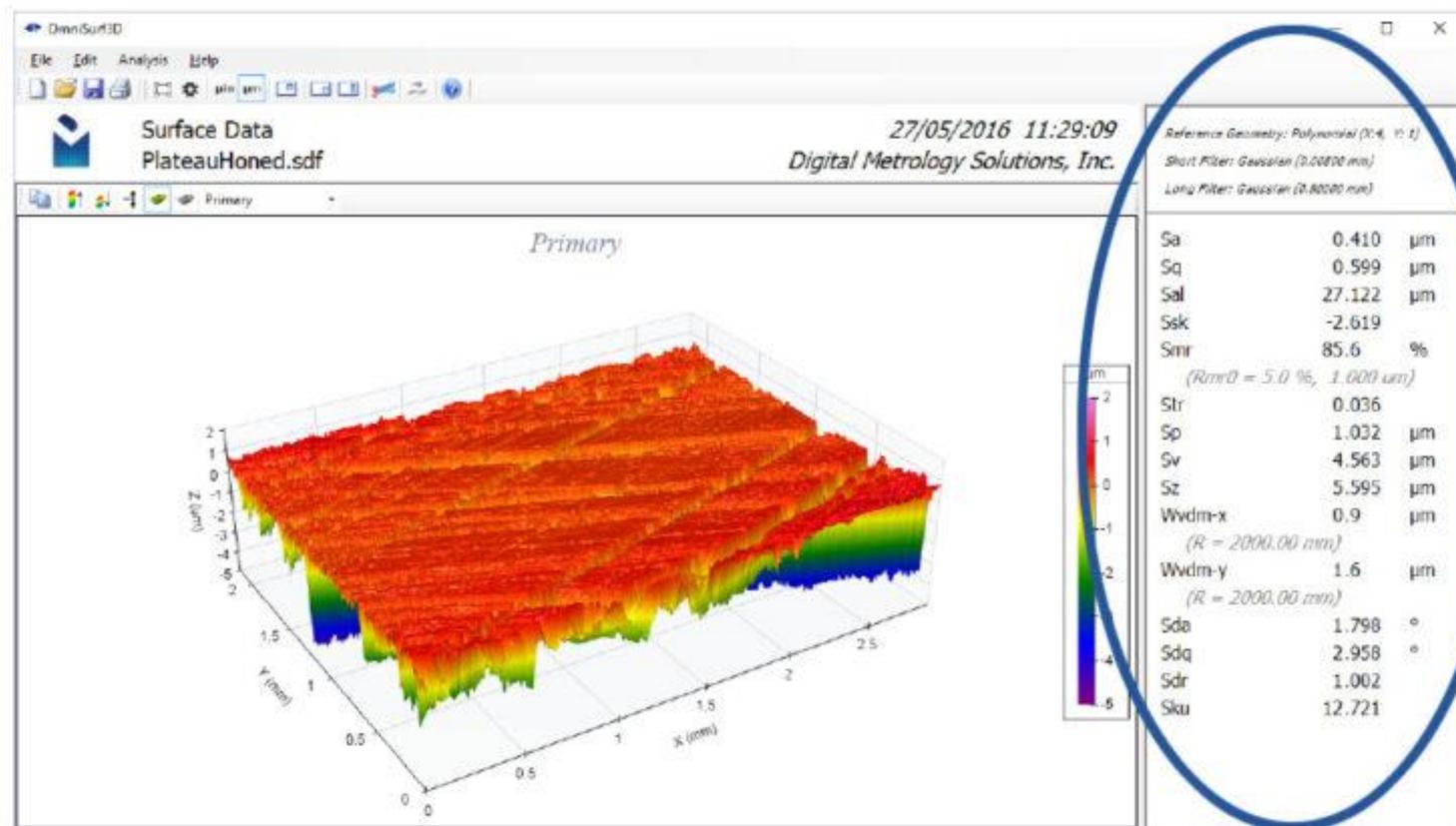
### Remoção de erros de ordem superiores





## Vantagens

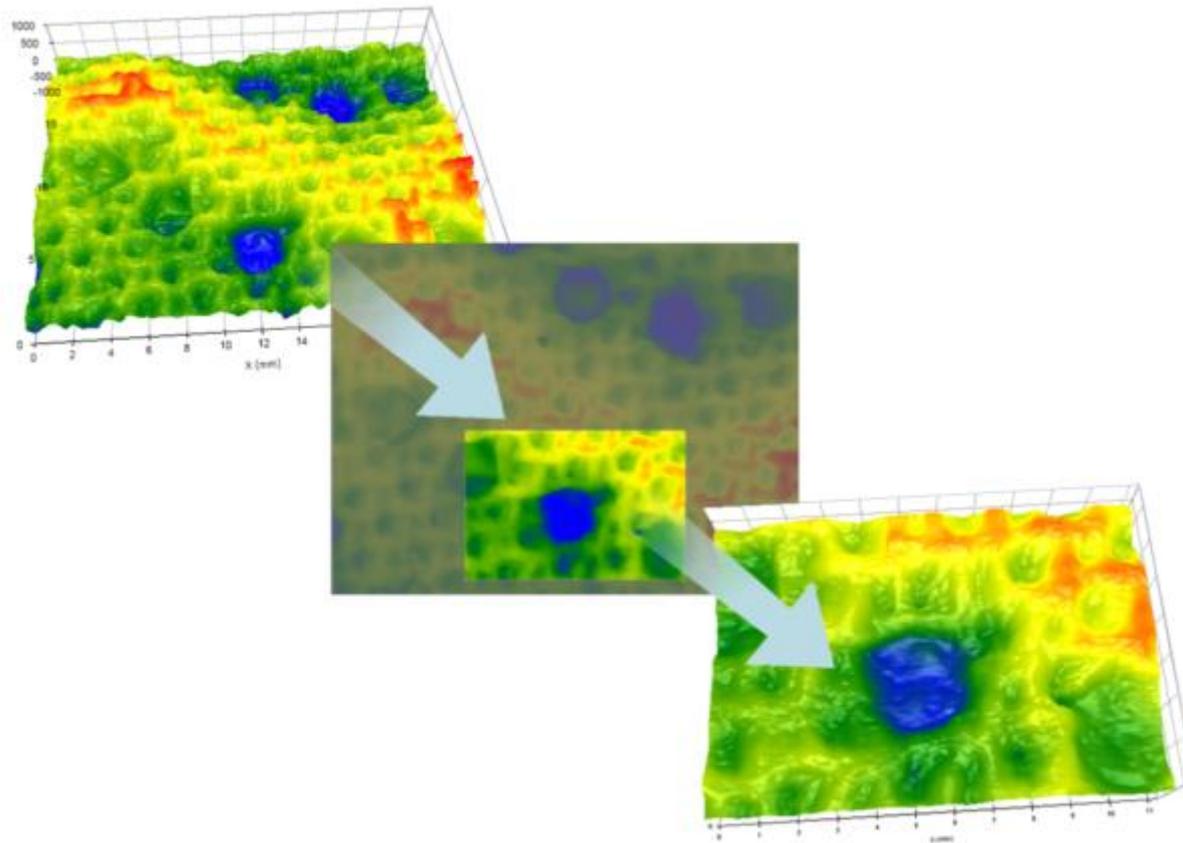
### Dados de controle e análise





## Vantagens

### Análise de detalhes





**FIM DA AULA**