

APLICAÇÕES DE CÁLCULO DIFERENCIAL E GEOMETRIA ANALÍTICA NA CALIBRAÇÃO DE PADRÕES POR MÉTODO ÓPTICO

Pedro Bastos Costa^{1,2}, pbcosta@inmetro.gov.br
Wellington Santos Barros², wsbarros@inmetro.gov.br

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Rua São Francisco Xavier, 526, Maracanã, , Rio de Janeiro, RJ - CEP 20550-900

²Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO, Rua nossa senhara das graças, 50 - Xerem – Duque de caxias – RJ, CEP 25250-020

***Resumo:** Atualmente, parte dos avanços relacionados à metrologia dimensional vem acontecendo na busca por resultados de alta exatidão e baixas incertezas através da calibração de padrões por métodos ópticos. Esse tipo de calibração é geralmente realizada por sistemas constituídos de algoritmos dedicados a esse tipo de função. O padrão a ser medido é posicionado em um microscópio e a imagem capturada desse padrão é enviada ao computador por intermédio de uma câmera. A análise da imagem e as medições dos padrões são realizadas, em geral, por um pacote de softwares comprados juntamente com o microscópio. Os pacotes de softwares comerciais para a medição de padrões por método óptico, são aparentemente complexos devido a grande diversidade de funções e diferentes possibilidades de medições. O Laboratório de Metrologia Dimensional do Inmetro (Lamed) desenvolveu recentemente um software destinado a esse tipo de calibração. O algoritmo criado para realizar as medições foi desenvolvido utilizando aplicações básicas de geometria analítica, para a medição de distâncias, ângulos e outros parâmetros, e ferramentas de cálculo diferencial para a detecção de bordas e extremidades. O presente trabalho descreve os conceitos utilizados, os vários tipos de padrões possíveis de serem medidos utilizando o algoritmo desenvolvido e a exatidão dos resultados utilizando essas aplicações.*

***Palavras-chave:** Metrologia Dimensional, Visão Computacional, Cálculo Diferencial e Geometria Analítica*

1. INTRODUÇÃO

A medição de padrões por métodos ópticos tem se tornado cada vez mais comum quando há a necessidade de se obter valores confiáveis em padrões de dimensões na faixa micrométrica e que requerem medições sem nenhum tipo de contato. O sistema utilizado pelo laboratório de metrologia dimensional do Inmetro (Lamed) é composto por um microscópio e uma câmera do tipo CCD (fig. 1).



Figura 1. Sistema de medição de padrões por método óptico

Neste sistema a câmera adaptada ao microscópio envia ao computador, em tempo real, a imagem do padrão posicionado no microscópio.

A imagem enviada ao computador é analisada por um software, desenvolvido pelo laboratório, para a medição de diversos parâmetros dimensionais.

A análise da imagem é realizada através da leitura dos pixels desta imagem. O pixel é a menor parte de uma imagem, que pode possuir um formato quadrangular ou retangular. As imagens capturadas pela câmera são enviadas ao computador como em um plano cartesiano, onde cada pixel (ponto) dentro da imagem ocupa um lugar dentro do plano. A representação cartesiana desses pontos é feita de forma bidimensional $f(x,y)$ da intensidade luminosa, tal que x e y podem variar de 1 até M e os valores das funções $f(x,y)$ são proporcionais ao nível de brilho em cada ponto coordenado escolhido.

2. ALGORITMO DE DETECÇÃO DE BORDAS

Após a imagem ser enviada ao computador, o programa realiza um scanamento em toda a imagem para obter todos os valores de brilho $f(x,y)$, para cada coordenada (x,y) da imagem. Os valores de $f(x,y)$ obtidos em cada ponto é utilizado para que o programa seja capaz de identificar a forma do padrão a ser medido. No algoritmo construído para a realização deste scanamento os valores de $f(x,y)$ são lidos em linhas, no eixo x , onde ao final da leitura de cada linha o programa passa a scanear a linha correspondente ao pixel do eixo y exatamente a baixo do anterior.

As linhas obtidas em cada ponto no eixo y são analisadas separadamente quanto a variação de intensidade de um pixel para o pixel seguinte a partir do perfil obtido para cada linha (fig. 2).

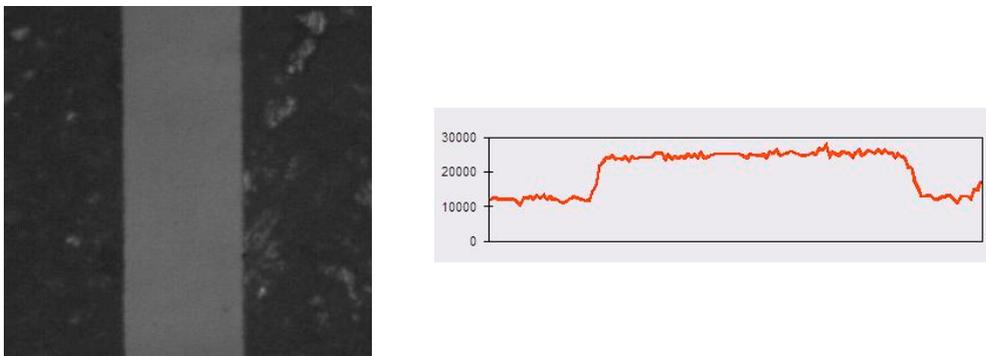


Figura 2. Gráfico obtido na leitura dos valores de $f(x,y)$ na imagem

Para tornar possível a medição de distâncias, áreas ou qualquer outro parâmetro na imagem, é necessária a identificação das bordas ou extremidades do que está sendo medido.

Analisando o perfil da linha exemplificada na figura dois, o algoritmo construído para a detecção de bordas, equaciona uma curva que melhor ajuste os pontos $f(x,y)$ obtidos (fig. 3).

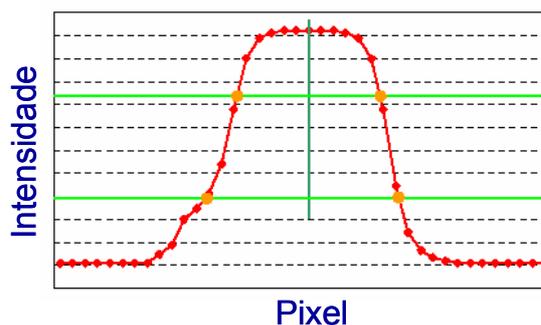


Figura 3. Curva obtida através da leitura dos níveis de brilho de uma linha

A partir da equação encontrada para os pontos de $f(x,y)$, o programa calcula os pontos de inflexão da curva, esses pontos de inflexão são considerados como início ou final de algum objeto na imagem.

Para a determinação dos pontos de inflexão da curva encontrada, é calculada a segunda derivada da função e igualada a zero para a determinação do ponto exato onde a curva muda a sua concavidade (Eq. 1).

$$f''(x) = 0 \quad (1)$$

Com a utilização desta metodologia, é possível realizar medições em diversos tipos de padrões apenas adaptando o funcionamento do algoritmo, e re-definindo as áreas na imagem a serem scaneadas.

3. MEDIÇÃO DE PADRÕES POR MÉTODO ÓPTICO

Através da implementação de um algoritmo com as características descritas no item 2, foi possível desenvolver e implementar um software, no laboratório de metrologia dimensional do Inmetro, capaz de atender as demandas e necessidades nas medições de padrões por método óptico.

As principais demandas para esse tipo de medição são de áreas como: Materiais, dureza, impacto e demais áreas que utilizam métodos de medição sem contato.

3.1. Medição de impressões de blocos de dureza

Atualmente os métodos utilizados para a medição de impressões de blocos-padrão de dureza, em grande parte dos casos, são metodologias que utilizam técnicas de visão computacional.

Para a medição da dureza de uma superfície qualquer, a peça é posicionada em um durômetro que aplica uma força sobre a peça, através de um penetrador, fazendo uma impressão sobre a superfície. As impressões podem ser circulares ou em forma de quadrados, dependendo do tipo de penetrador utilizado, penetrador Brinell (Esférico) e penetrador Vickers (Pirâmide de base quadrada).

Para se obter os valores de dureza utilizando esta metodologia, é necessária a medição das dimensões de cada impressão. São medidos dois diâmetros para a dureza Brinell (Fig. 4) e as diagonais do quadrado, para a dureza Vickers (Fig. 5).

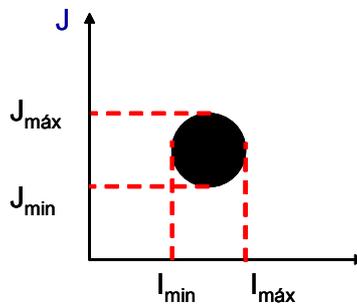


Figura 4. Medição de uma impressão de dureza Brinell

A determinação dos diâmetros das impressões de dureza Brinell são realizadas através da determinação dos pontos de máximo em cada extremidade da circunferência, e a partir da diferença entre as coordenadas de cada ponto os diâmetros são determinados. Os valores usados para o cálculo da dureza são as médias dos diâmetros da impressão nas duas direções (Eq. 2).

$$d = \frac{(I_{\max} - I_{\min}) + (J_{\max} - J_{\min})}{2} \quad (2)$$

Uma outra forma de se determinar o diâmetro da impressão é através do cálculo da área da impressão. O algoritmo determina a área da circunferência através da contagem dos pixels internos da circunferência (Eq. 3) para então obter o diâmetro da impressão (Eq. 4).

$$A = \sum_{J=1}^{J_{\max}} (I_{\max} - I_{\min}) \quad (3)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (4)$$

Para a medição das impressões de dureza Vickers é utilizado o conceito de distância entre pontos no plano cartesiano (Fig. 5), assim como na medição da impressão de dureza Brinell é calculada uma média entre as distancias nas duas direções (Eq. 5, 6 e 7).

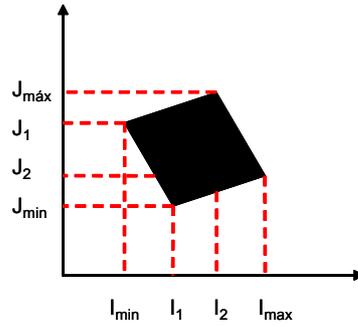


Figura 5. Medição de uma impressão de dureza Vickers

$$D_1 = \sqrt{(J_{\max} - J_{\min})^2 + (I_2 - I_1)^2} \quad (5)$$

$$D_2 = \sqrt{(I_{\max} - I_{\min})^2 + (J_1 - J_2)^2} \quad (6)$$

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (7)$$

3.2. Medição de corpos de prova de impacto

Os ensaios de impacto são utilizados para medir a energia necessária para romper um determinado material quando submetido a um impacto súbito. O material é atingido com uma determinada força onde o material se deforma até exceder a energia de coesão e se romper.

O método mais comum para esse tipo de ensaio é o ensaio Charpy, que para ser realizado necessita de um corpo de prova com dimensões conhecidas através de uma norma específica. O corpo de prova possui um entalhe, onde é feito o impacto do ensaio, um dos parâmetros necessários para o ensaio é a determinação do ângulo do entalhe de cada corpo de prova.

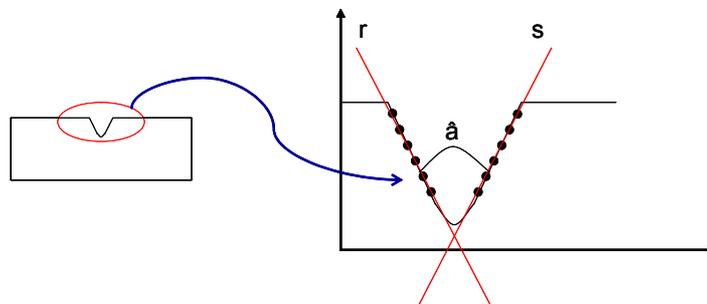


Figura 6. Detalhe do ângulo de um corpo de prova de impacto

A medição do ângulo do entalhe através do algoritmo desenvolvido é realizada através da determinação de pontos nas duas extremidades do entalhe, através do algoritmo de detecção de bordas. O programa interpola os pontos de cada extremidade obtendo duas retas do tipo $a.x+b$ e com a aplicação do cálculo de ângulo entre retas é possível a determinação do ângulo do entalhe dos corpos de prova (Eq. 8).

$$Tg(\alpha) = \left| \frac{m(s) - m(r)}{1 + m(r) \cdot m(s)} \right| \quad (8)$$

3.3. Calibração de micro escalas

As escalas graduadas são padrões materializados utilizados, na maioria dos casos, para a verificação e calibração de sistemas de medição por meio óptico (sem contato). Esse tipo de sistema de medição requer que essas escalas sejam calibradas com alto nível de exatidão. Ultimamente os institutos nacionais de metrologia têm desenvolvido e aprimorado sistemas de calibração para atender esse tipo de exigência.

A calibração de micro escalas consiste na determinação da distancia entre os centros dos traços ao longo da escala. O principal ponto melhorado com a implementação do algoritmo foi a determinação dos centros dos traços, anteriormente realizado manualmente e intuitivamente pelo operador.

O algoritmo para a detecção de bordas, descrito no item 2, é utilizado em apenas uma linha no eixo x, e em uma altura também pré-determinada no eixo y. Os dois pontos de inflexão das extremidades são determinados para encontrar o valor correspondente ao centro de cada traço (Fig. 6).

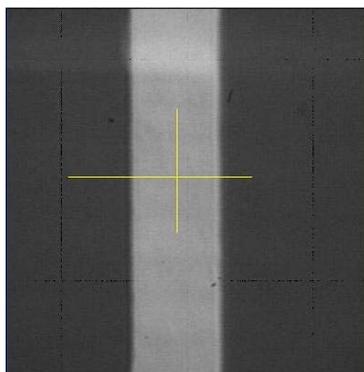


Figura 6. Determinação de centro de um traço de uma micro escala através do algoritmo implementado

4. VALIDAÇÃO DOS MÉTODOS

Como forma de avaliar as metodologias propostas e validar os algoritmos implementados, foram realizadas comparações entre os resultados utilizando os algoritmos e métodos já conhecidos para medição dos padrões de dureza, corpos de prova de impacto e micro escalas.

4.1. Medição de impressões de dureza

Como forma de validar o algoritmo implementado para a medição de impressões de dureza foi realizada uma comparação entre resultados de medição de blocos de referência de dureza obtidos pelos sistemas Galvision/LTF S.p.a./Itália, do Laboratório de Força (Lafor), e o sistema implementado.

Foram utilizados seis blocos de referência de dureza (três blocos de dureza Vickers e três blocos de dureza Brinell). Os blocos utilizados foram separados em baixa, média e alta dureza por escala. Os blocos de referência selecionados para baixa dureza foram os de identificação BD 227 e BD 268, para média dureza BD 228 e BD 238, para alta dureza BD 229 e BD 239, Brinell e Vickers respectivamente.

Tabela 1. Resultados da comparação entre o sistema Galvision e o algoritmo implementado

	Novo algoritmo		Galvision		EN
	dm (mm)	U (μ m)	dm (mm)	U (μ m)	
BD 227	1,3043	1,4	1,2832	1,3	1,1
BD 268	0,6432	1,6	0,6422	10,2	0,1
BD 228	0,9511	7,2	0,9529	6,1	0,2
BD 238	0,3506	2,2	0,3493	3,7	0,3
BD 229	0,6311	7,8	0,6236	1,9	0,9
BD 239	0,2557	2,1	0,2530	3,9	0,6

4.2. Calibração de micro escalas

Na validação do algoritmo implementado para a calibração de micro escalas, foram comparadas as medições realizadas com o novo algoritmo e o certificado de calibração da escala, que foi medido com uma metodologia onde a determinação dos centros dos traços era feita manualmente.

Foi utilizada uma escala de 1 mm para a validação.

Tabela 2. Comparação entre os resultados de uma escala de 1 mm

Valor nominal (mm)	Certificado anterior		Novo algoritmo		
	Valores médios (mm)	U (μm)	Valores médios (mm)	U (μm)	EN
0,0	0,00000	0,10	0,00000	0,06	0,0
0,1	0,09991	0,10	0,09999	0,08	0,6
0,2	0,19988	0,10	0,19998	0,07	0,8
0,3	0,29995	0,10	0,29998	0,07	0,3
0,4	0,39998	0,10	0,40002	0,08	0,4
0,5	0,49995	0,20	0,50003	0,08	0,4
0,6	0,59983	0,20	0,59993	0,08	0,5
0,7	0,69979	0,20	0,69993	0,07	0,7
0,8	0,79970	0,30	0,80000	0,08	1,0
0,9	0,89994	0,30	0,89994	0,07	0,0
1,0	0,99988	0,40	0,99999	0,08	0,3

Através dos resultados obtidos na medição de uma micro escala com os dois sistemas podemos concluir que os valores são compatíveis, pois os valores obtidos no cálculo do erro normalizado (EN) foi menor ou igual a um. Garantindo assim a confiabilidade dos resultados com a nova metodologia

5. CONCLUSÕES

Tendo em vista a crescente necessidade, na área metrologica, de se obter resultados cada vez mais confiáveis e com alta exatidão, a calibração de padrões por métodos ópticos surge como uma ferramenta de grande importância. Através deste trabalho pode-se concluir que com aplicações simples, para a construção de algoritmos, utilizando conceitos de cálculo diferencial e geometria analítica, é possível obter resultados confiáveis e com grande exatidão para as medições de padrões por método óptico, o que foi comprovado através das validações realizadas.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao corpo técnico da Divisão de Metrologia Mecânica do Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial – DIMEC / INMETRO

7. REFERÊNCIAS

- A. Lassila, E. Ikonen, K. Riski. - Interferometric line scale calibrator with a moving CCD camera as a line detector. Verein Deutscher Ingenieure (VDI) Berichte N°1118, p105-110. 1994.
- A. Lassila. - Software of line scale interferometer of MIKES. Presentation from Length workshop at Dublin. EUROMET. 2003.
- Beers, J. S. and Penzes, B. P. – The NIST Length Scale Interferometer. Journal of the NIST, Vol.104, N°3, p225-252. 1999.
- G. Lipinski, F. Larssonier. - Calibration of the line standards at the BNM-LNE. 1st EUSPEN Topical Conference on the Fabrication and Metrology in Nanotechnology, Copenhagen, Denmark, 28-30 May 2000.
- Leta, F.R., Mendes, V.B., Mello, J.C.S., “Medição De Identações De Dureza Com Algoritmos De Visão Computacional E Técnicas De Decisão Com Incertezas”, ENGEVISTA, v. 6, n. 2, p. 15-35, agosto. 2004.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho