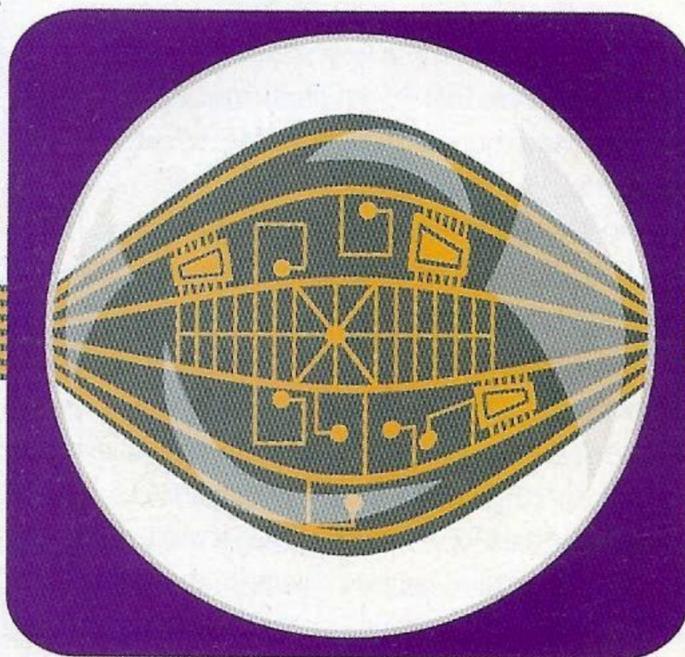


## Controle geométrico por meio da metrologia óptica

*Métodos ópticos de medição estão se tornando soluções cada vez mais atrativas para o controle geométrico de peças e componentes mecânicos. A elevada velocidade de medição,*

*os excelentes níveis de incerteza, a grande riqueza de detalhes, a flexibilidade e o nível de automação são fatores positivos que têm aproximado estas técnicas da indústria*



**A**inda pouco difundida no Brasil, a metrologia óptica ocupa um espaço cada vez maior nos países mais desenvolvidos. Princípios ópticos já são usados há muito tempo na construção de diversos sensores destinados a medir as principais grandezas químicas e físicas. Talvez os recentes avanços da metrologia óptica estejam sendo mais fortemente percebidos dentro das indústrias, principalmente na medição de grandezas no processo de fabricação, ampliando as possibilidades de inspeção e controle de qualidade.

A luz, como meio de medição, proporciona uma série de vantagens. A total ausência de contato entre o mensurando e o sistema de medição resulta em uma técnica de medição não invasiva, em que não ocorrem perturbações no mensurando provocadas pela presença do sistema de medição. Outro aspecto positivo é a velocidade de medição que, literalmente, ocorre “na velocidade da luz”, tornando possível medições extremamente rápidas e, inclusive, a medição de peças em movimento. A elevada velocidade de medição viabiliza a aquisição de um grande volume de dados em intervalos de tempo muito curtos. Os excelentes níveis de incerteza presentes, principalmente nos métodos interferométricos, produzem resultados excepcionais do ponto de vista metrológico.

Na medição de geometria, os métodos ópticos de medição se prestam para várias escalas: de macroscópica a microscópica. Os astrônomos freqüentemente determinam distâncias e dimensões de galáxias, estrelas e planetas por meio de sinais ópticos. A distância terra-lua pôde ser medida com uma incerteza menor que um palmo a partir do tempo de vôo da luz de um laser emitido da terra e refletido por um espelho deixado na lua pelos astronautas da missão Apollo. Esta mesma tecnologia torna hoje possível medir a forma 3D de relevos a partir de sistemas laser embarcados em aeronaves equipadas com Global Positioning System (GPS), o que tem permitido, por exemplo, levantar, com riqueza de detalhes, o relevo de bacias hidrográficas. A determinação da forma geométrica de navios, aeronaves e automóveis é freqüentemente realizada com técnicas ópticas de medição. São várias as aplicações de medição da geometria de componentes mecânicos de precisão por métodos ópticos, inclusive a calibração de padrões geométricos como os blocos-padrão. Na escala microscópica a metrologia óptica é fundamental para caracterizar componentes de dispositivos miniaturizados e elementos da nanotecnologia. O controle geométrico é uma das operações mais intensivamente realizadas no ambiente da produção industrial. Dimensões e formas geométricas de peças são comparadas com suas respectivas tolerâncias

e especificações técnicas. Além de serem usadas para aceitar ou refigar peças que atendam às especificações, as informações contidas nas medições de formas e dimensões são muito importantes para detectar a estabilidade do processo de produção. Por meio do controle estatístico de processo, é possível utilizar os resultados das medições para detectar tendências de um processo e agir antes que peças fora das especificações venham a ser produzidas.

Na esmagadora maioria dos casos, o controle geométrico é realizado na indústria brasileira por meios mecânicos. Processos de medição mecânicos com contato são muito difundidos pelo seu baixo custo, por apresentarem incertezas de medição compatíveis com as necessidades básicas das indústrias e pela longa tradição.

Entretanto, esses processos de medição mecânicos não conseguem medir todas as dimensões geométricas das peças e, ainda, a sua velocidade de medição não permite ao processo de controle de qualidade acompanhar a velocidade da produção. O projeto e uso de dispositivos de medição dedicados, com comparadores, permite aos sistemas mecânicos uma operação de controle geométrico bem mais rápida, mas a diversidade de formas e flexibilidade da produção atual não motiva ao desenvolvimento de sistemas dedicados.

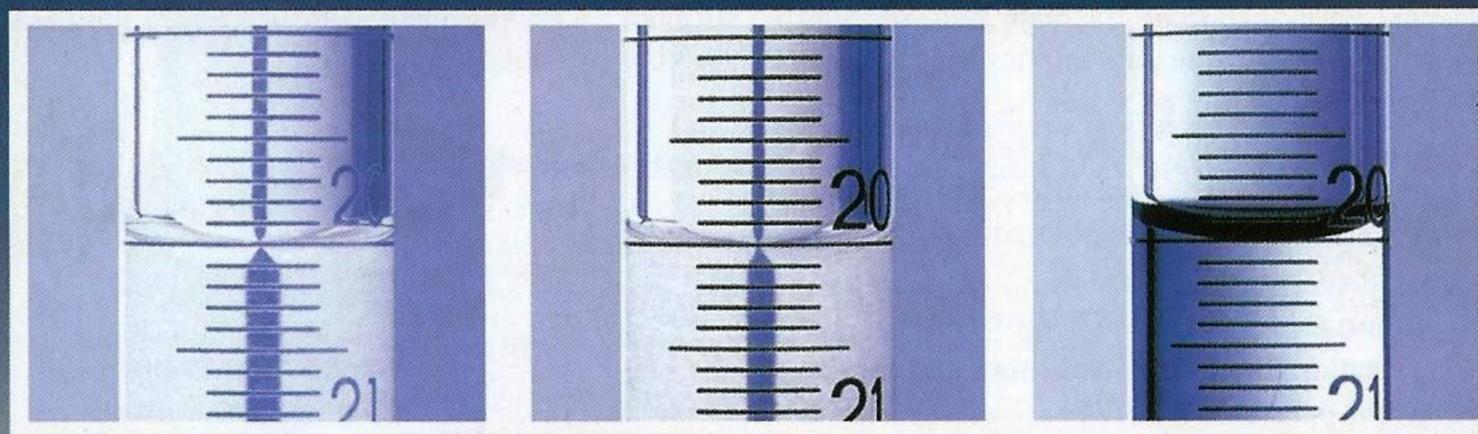
Nesse sentido, a medição por coordenadas trouxe uma revolução para o controle geométrico. São sistemas de medição flexíveis, capazes de efetuar uma imensa variedade de tipos de medições com o mesmo aparato físico. O coração desta tecnologia é o

programa de medição: embutindo algoritmos de tratamento de dados 3D permite programar máquinas de medir por coordenadas para estabelecer relações entre entidades geométricas e calcular distâncias, ângulos, posições de centros, erros de forma etc. Para medir outras peças com geometria completamente distinta é suficiente a troca do programa de medição. Incertezas da ordem de 0,01 mm ou melhores são atingidas facilmente.

No entanto, apesar dessas qualidades, o uso da máquina de medir por coordenadas não é tão massificado na indústria mecânica pelo seu elevado custo. São sistemas de medição de grande porte, envolvem elementos de precisão e agregam em seu software de medição uma parcela considerável do custo da máquina. Devem ser mantidas em ambiente climatizado e requerem manutenção e calibrações especializadas. Pela sua portabilidade, os braços de medição têm sido vistos como alternativas atrativas para a medição por coordenadas ao custo de incertezas de medição entre dez e vinte vezes piores que as incertezas obtidas por máquinas de medir por coordenadas tradicionais.

Do ponto de vista técnico, mesmo a medição por coordenadas com apalpação mecânica não é uma solução satisfatória para o controle geométrico de algumas classes de peças. Peças pequenas, com formas complexas, ou com grande quantidade de detalhes, são de difícil acesso para apalpação mecânica e/ou podem resultar em um tempo de

## CAPACITAÇÃO CERTIFICADA



### LAMEVOL - Laboratório de Metrologia Volumétrica

- Calibração de Volumes de 0,1 ml até 2 000 ml
- Fabricação e Comercialização de Vidraria Volumétrica com Certificado de Calibração
- Fabricação e Comercialização de Vidraria para Laboratório e Instalações Industriais
- Empresa associada à Rede Metrológica do Estado de São Paulo (REMESP)
- Empresa associada à Sociedade Brasileira de Metrologia (SBM)



**FGG** EQUIPAMENTOS E VIDRARIA DE LABORATÓRIO LTDA.  
IND. E COM. DE EQUIP. E VIDRARIA P/LABORATÓRIOS E INST. INDUSTRIAIS



Credenciado sob o Nº 182

Fone: (11) 6693-7101 – Fax: (11) 6694-0343 – E-mail: [vendas@fgg.com.br](mailto:vendas@fgg.com.br) – [lamevol@fgg.com.br](mailto:lamevol@fgg.com.br)

Visite a EXPOLABOR [www.expolabor.com.br](http://www.expolabor.com.br)

medição proibitivo. Em certos casos a dificuldade de medição é tamanha que certos parâmetros geométricos nem são medidos. Por falta de opção, são simplesmente desconsiderados do plano de controle, com conseqüências nem sempre muito agradáveis para o produto.

## Metrologia óptica e controle geométrico

A inserção do processamento digital de imagens nas técnicas ópticas de medição provocou uma revolução na Metrologia Óptica. A percepção de que para medir usando uma técnica óptica é necessário confiar nos aspectos subjetivos da avaliação de um operador treinado, freqüentemente submetido à fadiga visual por fixar-se muito tempo na imagem de uma ocular, faz parte do passado. Hoje, a ação de um operador de um sistema óptico de medição freqüentemente limita-se a apertar um botão e aguardar alguns segundos para receber um relatório de medição que aponta quais parâmetros estão dentro das especificações e oferece gráficos tridimensionais que revelam, com grande riqueza de detalhes, características da peça medida. [1, 2].

A flexibilidade e o elevado grau de automação, características típicas da medição por coordenadas com apalpação mecânica, também estão presentes nos métodos ópticos de medição. Algumas técnicas ópticas usadas no controle geométrico são, na sua essência, técnicas de medição por coordenadas. As coordenadas tridimensionais de centenas de milhares de pontos são adquiridas em poucos segundos, constituindo as denominadas nuvens de pontos. A ausência de contato, o grande volume de dados medidos e a elevada velocidade de medição permitem acessar, com riqueza de detalhes, características da peça medida que seriam difíceis, proibitivas ou mesmo impossíveis com a apalpação mecânica. Por exemplo, a existência de curvatura ou um defeito em uma região que deveria ser idealmente plana de uma peça medida é detectado com grande naturalidade pelo grande volume de dados obtidos de uma medição óptica.

O processamento apropriado da nuvem de pontos pode revelar uma série de características de grande interesse para o controle geométrico da peça medida. É possível associar a regiões da nuvem de pontos entidades geométricas, como planos, superfícies cilíndricas, cônicas, esféricas ou superfícies livres, e estabelecer relações geométricas entre estas, o que permite medir distâncias, ângulos, erros de forma, relações de posição como paralelismo etc. É possível descrever a tarefa de medição a partir da nuvem de pontos por meio de uma linguagem de programação, preservando a mesma flexibilidade e clareza presentes na medição por coordenadas com apalpação mecânica. [3, 4]

A seguir são descritas algumas das técnicas ópticas mais usadas no controle geométrico:

## Medição por imagens bidimensionais

Inspirados nos antigos projetores de perfis, existem hoje vários sistemas disponíveis no mercado capazes de medir

características geométricas 2D de peças a partir do processamento da imagem do seu contorno. São muito usados para o controle 2D de pequenas peças e peças planas em geral. Atualmente, a medição de imagens possui grandes recursos para a sua automatização e melhoria de exatidão. Essa evolução pode ser percebida ao se verificar a presença de Máquina de Medir óptica de vários fabricantes como Mitutoyo ([www.mitutoyo.com](http://www.mitutoyo.com)), OGP ([www.ogp.com](http://www.ogp.com)), Werth ([www.werth.com](http://www.werth.com)), dentre outros. Em todos eles um sensor de imagem de alta resolução, e uma óptica bastante evoluída, permitem a medição com grande velocidade e confiabilidade metrológica. Contornos da peça são detectados automaticamente, preservando a flexibilidade e elevado grau de automação.

## Medição 3D por fotogrametria digital

Duas imagens digitais, obtidas de ângulos ligeiramente distintos, contêm pequenas diferenças que podem ser convertidas em informações tridimensionais da geometria da peça medida. Inspirado na capacidade dos animais de perceber noções de profundidade a partir da interpretação de imagens de cada olho, este princípio é a base da fotogrametria. Algoritmos especiais identificam as posições de pontos homólogos em cada imagem e usam as informações da posição e orientação de cada câmera para calcular as coordenadas 3D de um grande conjunto de pontos sobre a peça a medir. A Figura 1 ilustra este princípio. Uma variante desta técnica, denominada de topogrametria, envolve a projeção de padrões ópticos sobre a superfície da peça a medir para melhorar a incerteza da detecção de pontos homólogos, tornando possível medir com incertezas da ordem de 0,02% do volume medido. [5, 6].

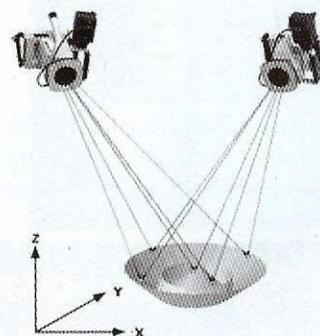


Figura 1 - Diferenças entre as imagens são a base da fotogrametria (Leica)

## Medição 3D por moire

A Figura 2 ilustra o princípio de medição de formas 3D por moire. Uma grade, formada por uma série de linhas finas, retas e paralelas impressas em uma placa de vidro, é obliquamente iluminada e projeta sua sombra sobre a superfície a medir. Uma câmera digital observa frontalmente a superfície a medir através da grade. O “batimento” entre as sombras e as próprias linhas da grade dá origem a regiões claras e escuras denominadas de franjas de moire. O processamento digital da imagem das franjas permite medir a

forma da superfície com grande riqueza de detalhes. A incerteza e a faixa de medição dependem da grade. Incertezas de 5 mm e faixa de medição de 1,5 mm são exemplos de valores encontrados em sistemas comerciais. Até 300 mil pontos são medidos em 15

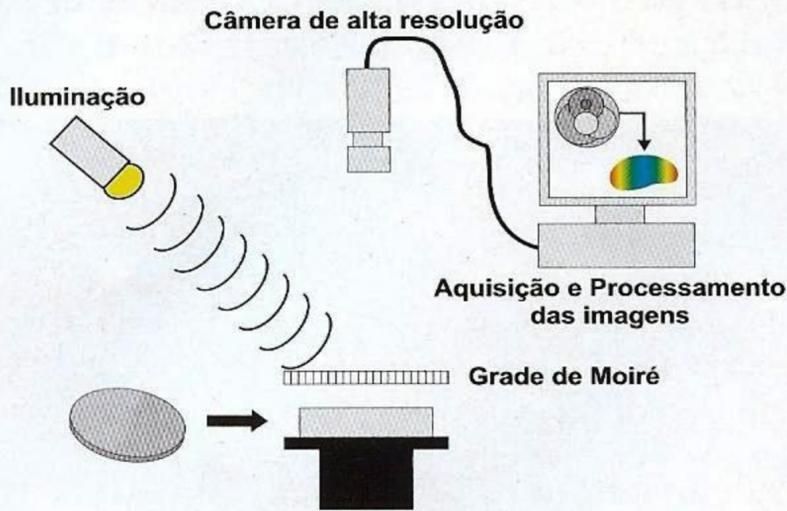


Figura 2 - Princípio de medição de formas por moiré

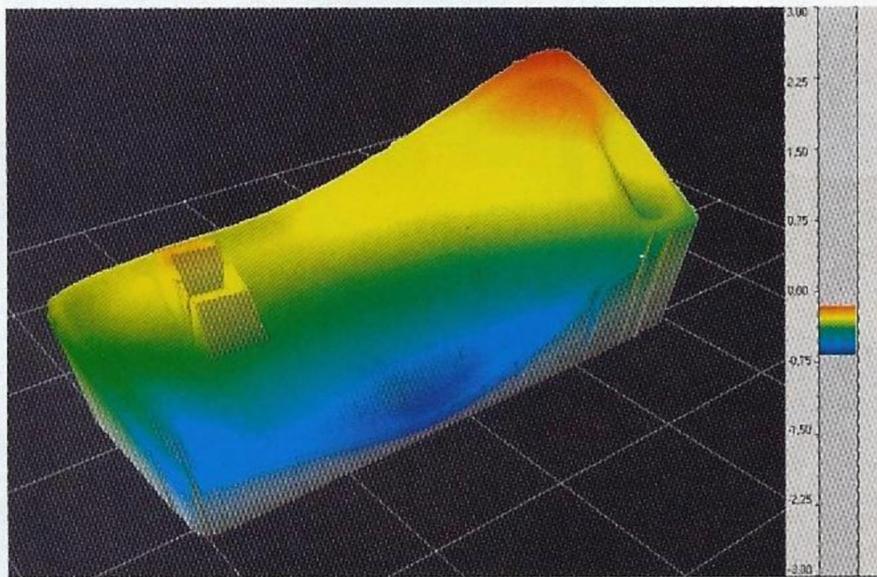
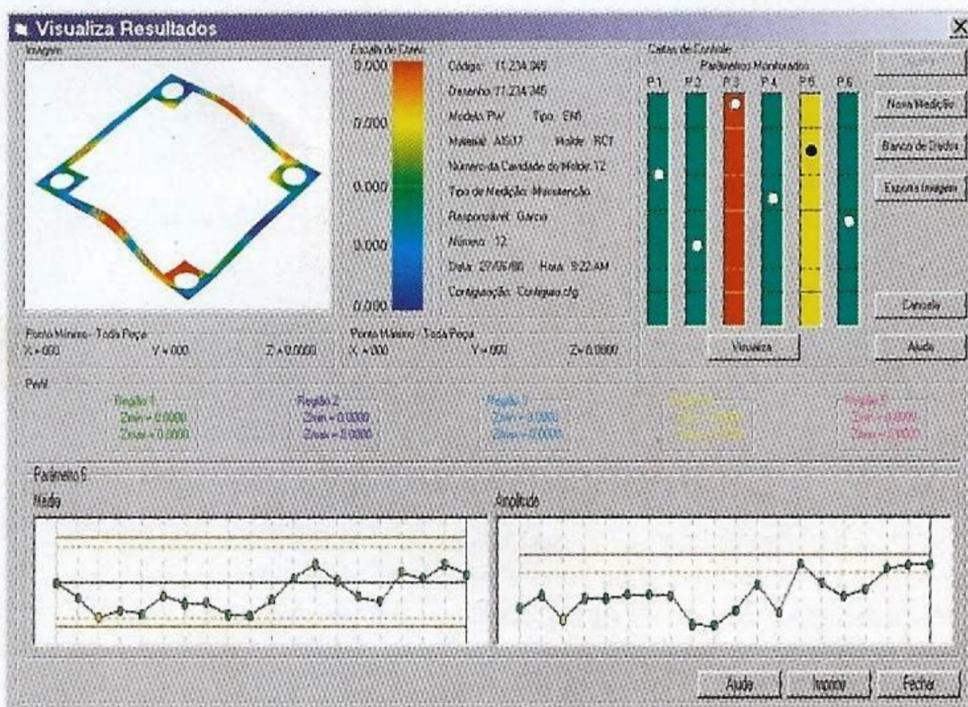


Figura 3 - Erros de forma de uma superfície de uma peça de plástico injetada (Photonita)

s. A Figura 3 mostra um exemplo de medição de uma peça de plástico supostamente plana (Photonita). [1, 2].

A Figura 4 mostra a tela de resultados da medição de uma peça e as várias possibilidades de controlar parâmetros extraídos da medição. A flexibilidade é preservada graças à possibilidade de programar a tarefa de medição a partir da nuvem de pontos.



# Calibração de Termopares

TEMPERATURA MÁXIMA  
1200 °C

Equipamento adequado aos padrões internacionais de acordo com ensaio realizado no forno

Nº: NI 15792 pelo laboratório PUC-RS/ Labelo nº T0415/2001s



**PREÇO e QUALIDADE IMBATÍVEIS**

**IRMÃOS SANCHIS & CIA. LTDA.**

Porto Alegre - RS

Fone/Fax: (51) 3342-4719/4172

e-mail: sanchis@sanchis.com.br • site: www.sanchis.com.br

## ÍNDICE DE ANUNCIANTES

Aferitec .....	37
Agilent .....	4ª Capa
Autolab .....	25
Balantec .....	34
Balitek .....	34
Beta-X .....	11
Cali .....	25
Celmar .....	35
Editora Epse .....	5/3ª Capa
Facion .....	29
FGG .....	39
Gero .....	34
Instemaq .....	29
INT .....	37
IPEI .....	27
Irmãos Sanchis .....	41
Labelo PUCRS .....	2ª Capa
Mitutoyo .....	21
MS Tecnopon .....	12
Naka .....	31
Navarro .....	12
Norberto Mischi .....	33
Peso Exato .....	31
PUC-Rio .....	7
Sartorius .....	9
Setting .....	15
Wika .....	19

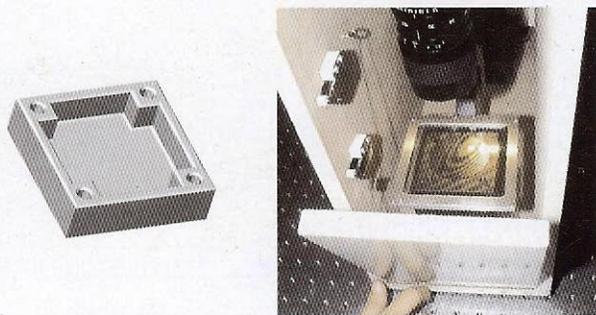


Figura 4 - Tela de resultados da medição da forma de uma peça por um método óptico (Photonita)

## Medição 3D por interferometria

Na medição por interferência a forma é determinada a partir da diferença entre os caminhos percorridos pela luz ao atingir uma superfície de referência e a peça a medir. O comprimento de onda da luz é usado como escala. Incertezas de poucos nanômetros são atingidas em ambiente de laboratório na medição de superfícies de precisão.

Uma variante da interferometria é ilustrada na Figura 5. Envolve a utilização de luz branca. A luz branca colimada é dividida em duas

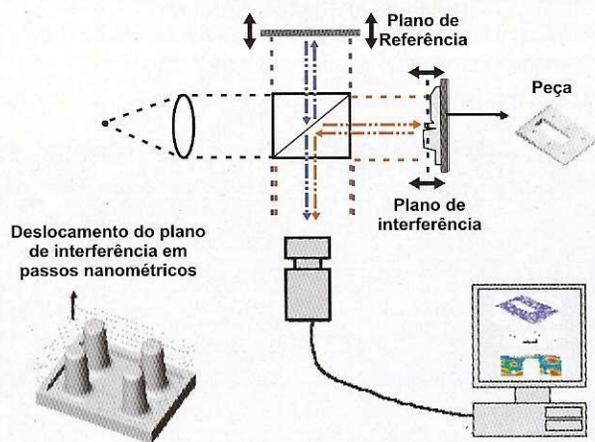


Figura 5 - Princípio de medição da interferometria de luz branca

componentes: uma atinge a superfície a medir e outra um plano de referência. Estas componentes são posteriormente recombinadas. Nos pontos em que estas distâncias são iguais uma figura de interferência é visível pela câmera. A movimentação controlada do plano de referência gera curvas de nível correspondendo a diferentes alturas. Por este processo é possível medir peças com profundidade de até 35 mm com incertezas da ordem de 1 mm. A Figura 6 mostra um exemplo de medição da forma de uma moeda de R\$ 0,50. [1, 2, 7].

Diversas técnicas ópticas de medição têm sido usadas com sucesso em países mais desenvolvidos, para efetuar o controle geométrico de peças em geral. Os excelentes níveis de incerteza, o grande volume de dados medidos e a riqueza de detalhes têm permitido que múltiplos parâmetros sejam verificados com grande velocidade. A flexibilidade e o elevado nível de automação proporcionados pela especificação da tarefa de medição, por meio de linguagens de medição concebidas para medir a partir de nuvens de pontos, tornam estas técnicas extremamente atrativas para uso em ambientes de laboratório e junto à linha de produção. Ao

contrário do que possa parecer, no Brasil há empresas que desenvolvem tecnologia própria para a Metrologia Óptica, dentre estas a Optoeletrônica S.A. ([www.opto.com.br](http://www.opto.com.br)) em São Carlos (SP), a Pollux ([www.pollux.com.br](http://www.pollux.com.br)) em Joinville (SC) e a Photonita ([www.photonita.com.br](http://www.photonita.com.br)) em Florianópolis (SC), e estão em condições de atender às principais demandas da indústria nacional. ■

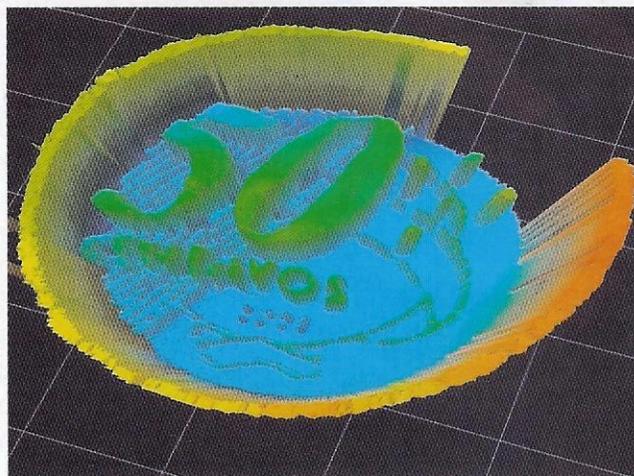


Figura 6 - Exemplo de medição da forma geométrica de uma moeda de R\$ 0,50 (Photonita)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Huntley, J. M.**, "Optical shape measurement technology: past, present, and future" – Proc. SPIE Vol. 4076, p. 162-173, Optical Diagnostics for Industrial Applications; Neil A. Halliwell; Ed., Aug 2000.
2. **Chen, F., Brown, G. M., Song, M.**, "Overview of 3-D shape measurement using optical methods", Optical Engineering 39(01), p. 10-22, Roger A. Lessard; Ed., Jan 2000.
3. **Kujawinska, M., Sitnik, R.**, "Quality assessment of reverse engineering process based on full-field true-3D optical measurements" – Proc. SPIE Vol. 4076, p. 201-209, Optical Diagnostics for Industrial Applications; Neil A. Halliwell; Ed., Aug 2000.
4. **Albertazzi, A. e Pezzotta, C. A.**, "Desenvolvimento de uma linguagem para extração de características geométricas de nuvem de pontos" – Anais do III Congresso Brasileiro de Metrologia, Recife, setembro de 2003.
5. **Sitnik, R., Kujawinska, M., Woznicki, J. M.**, "Digital fringe projection system for large-volume 360-deg shape measurement" – Optical Engineering 41(02), p. 443-449, Donald C. O'Shea; Ed., Feb 2002.
6. **Reich, C., Ritter, R., Thesing, J.**, "3-D shape measurement of complex objects by combining photogrammetry and fringe projection" – Optical Engineering 39(01), p. 224-231, Roger A. Lessard; Ed., Jan 2000.
7. **Osten, W.**, "Application of optical shape measurement for the nondestructive evaluation of complex objects" – Optical Engineering 39(01), p. 232-243, Roger A. Lessard; Ed., Jan 2000.

**Albertazzi A.** é do Laboratório de Metrologia e Automação do Departamento de Eng. Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina; **Sousa A.** é do Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina; e **Pezzotta C.** é do Photonical Instruments for Technical Applications LTDA. (Photonita) – [www.photonita.com.br](http://www.photonita.com.br)