

CONSTRUÇÃO DE UM APARATO PARA MEDIÇÃO DE DESVIOS DE PLANEZA POR INTERFEROMETRIA COM PLANO ÓPTICO

Í. C. Angelim¹ & L. S. Junior²

¹Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: italocruz@hotmail.com; ²Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba. Professor adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará. Coordenador do Laboratório de Metrologia Mecânica da UFC. Coordenador do Grupo de Pesquisa em Metrologia e Fabricação – GMef. E-mail: lsj@gmail.com

Artigo submetido em Agosto/2015 e aceito em Dezembro/2015

RESUMO

Desvios de planeza estão presentes nos componentes mecânicos devido as imperfeições inerentes ao processo de fabricação. Sua medição deve ser realizada com base na tolerância especificada de projeto. Neste trabalho, um aparato para medição de desvios de planeza utilizando o princípio da formação de franjas por interferometria foi construído. O aparato possui uma lâmpada de vapor de sódio, que emite radiação na faixa do visível e comprimento de onda conhecido. A formação das franjas

se dá pela interação entre a luz refletida pela superfície a ser medida e a luz refletida pelo plano óptico. O número e a forma das franjas qualificam a planeza da superfície. O aparato foi testado na avaliação de planeza das superfícies de contato de um micrômetro externo, conforme a norma NBR NM-ISO 3611. Ele se mostrou de fácil manuseio e confiabilidade, com franjas monocromáticas nítidas e o nível de iluminação adequada para o metrologista.

PALAVRAS-CHAVE: Planeza. Franjas de interferência. Plano óptico.

CONSTRUCTION OF AN APPARATUS FOR MEASURING FLATNESS DEVIATIONS BY INTERFEROMETRY WITH OPTICAL PLAN

ABSTRACT

Flatness deviations are present to a greater or lesser extent, on the pieces or mechanical components due to inherent imperfections in the manufacturing process. When the flatness is a functional requirement of the project, its control should be carried out in order to assess compliance with specified tolerance. There are several principles of measurement to assess the flatness deviations, including the interferometric. This work was designed and built an apparatus for

measuring flatness deviation using the principle of formation of fringes by interferometry. The apparatus consists of a wooden box where inside there is a sodium vapor lamp that emits radiation in the visible range and known wavelength. The formation of the fringes is given by the interaction between light reflected by the surface to be measured and the light reflected by the optical plane. The number and shape of the fringes qualify the flatness of the surface.

KEYWORDS: Flatness. Interference Fringes. Optical flat.

INTRODUÇÃO

Desvios de forma são definidos como o grau de variação de uma determinada superfície real com relação às geometrias ideais que as definem. Do ponto de vista das tolerâncias de forma, o bom funcionamento de um sistema mecânico ocorre quando o grau de conformidade das formas reais equivale às geometrias ideais, dentro da tolerância especificada.

A tolerância especificada é consequência do fato de nenhum processo de fabricação obter uma superfície plana perfeita, ou seja, isenta de desvios geométricos. De acordo com a norma ABNT NBR 6409 (1997) a tolerância de planeza é a condição pela qual toda superfície deve estar limitada pela zona de tolerância “t”, compreendida entre dois planos paralelos, distantes de “t”. Na figura 1 consta a representação do conceito de planeza.

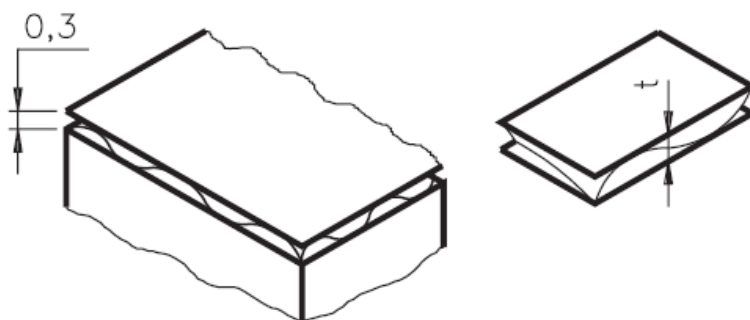


Fig. 1 - Tolerância de planeza.
Fonte: ABNT 6409 (1997)

O controle dos desvios de planeza é de fundamental importância para o desempenho adequado do produto ou componente em diversas áreas, tais como, medicina, astronomia, odontologia e principalmente na área de fabricação mecânica. Nessa área, em especial, o controle da planeza é usado no encaixe de peças, guias de máquinas ferramentas, mesas de montagem e ajuste, elementos de máquinas e instrumentos ou sistema de medição.

Especificamente, este trabalho foca na avaliação de desvio de planeza em superfícies planas lapidadas de micrômetros. Essa avaliação é um requisito de calibração para esses instrumentos e um desafio para medir, uma vez que a área da superfície do micrômetro é bastante pequena. Outro desafio foi desenvolver um aparato de baixo custo e com nível de incerteza de medição menor que o praticado atualmente no Laboratório de Metrologia da UFC que servirá para as atividades extensionistas (prestação de serviços para as empresas) e para atividades didáticas nas disciplinas da engenharia mecânica e engenharia de produção mecânica.

2 MICRÔMETROS: DESVIOS DE PLANEZA, FRANJAS DE INTERFERÊNCIA E PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO

2.1 PLANEZA EM SUPERFÍCIE DE MICRÔMETRO

Segundo a norma ABNT NM - ISO 3611 (1997), o desvio de planeza das superfícies de medição é verificado separadamente com um plano ótico ou paralelo ótico. Este dispositivo indica o desvio de planeza através de franjas de interferência. A norma estabelece que, caso sejam visualizadas mais de quatro franjas de mesma cor, o desvio ultrapassa a tolerância aceitável de 0,001 mm ou 1 μ m. Além da norma ABNT NM - ISO 3611, outra norma que trata do assunto é a DIN 863 (Alemanha).

A forma e a quantidade de franjas observadas pelo metrologista indicam o grau de planeza da face do micrômetro. Na Figura 2, consta um exemplo da avaliação de planeza utilizando-se plano ótico.

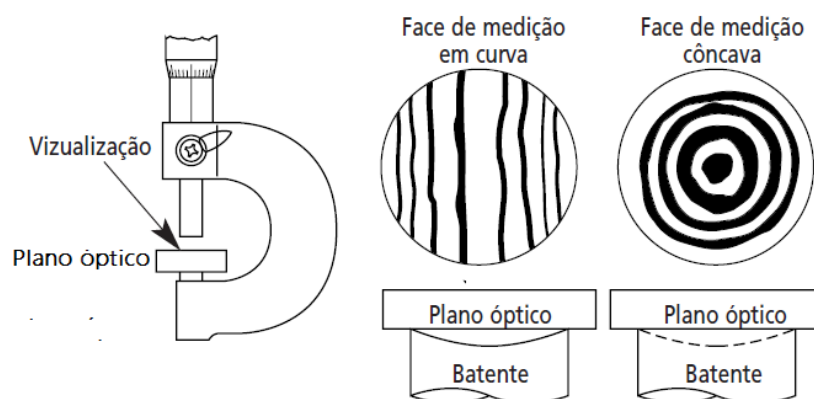


Fig. 2 – Avaliação de planeza.
Fonte: Adaptado do catálogo Mitutoyo (2015)

2.2 FRANJAS DE INTERFERÊNCIA

A luz, por possuir caráter ondulatório, possibilita um encontro de “ondas de luz”. Essas ondas podem estar em concordância de fase (ângulo de defasagem será de 0°), formando uma nova onda de maior intensidade. Neste caso, ocorrerá uma interferência construtiva. Caso não exista tal concordância, a intensidade da onda resultante será menor e possuirá variação do ângulo de defasagem. Quando este ângulo for de 180°, as duas oscilações se anularão deixando um ponto escuro, ocorrendo então uma interferência destrutiva. Dessa forma, as franjas de interferência são

formadas por interferometria luminosa, quando uma fonte de luz incide sobre o plano óptico e uma superfície de teste.

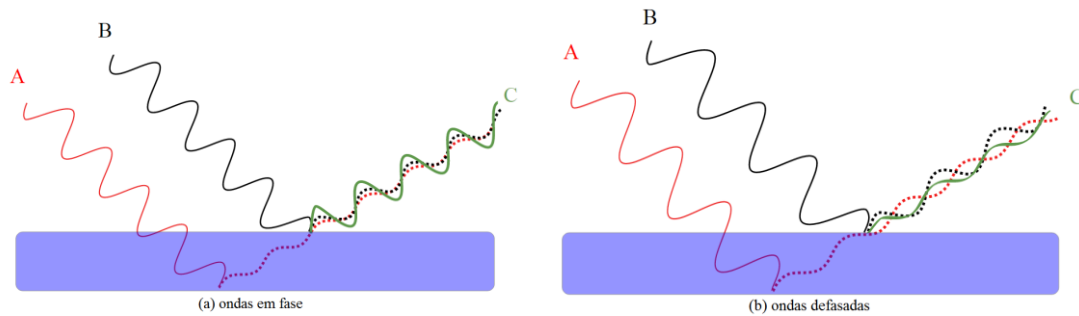


Fig. 3 – Tipos de interferência.
Fonte: Wikipédia (2015)

Segundo IRIGOYEN (1995), o raio luminoso mostrado na Figura 4, irradiado a partir do feixe “AB”, incide em “C” (ponto referente ao plano óptico) e divide-se em dois outros pontos, parte desse raio se reflete em direção ao ponto “G” e outra parte sofre refração atravessando o plano óptico, indo se refletir na superfície da peça de estudo no ponto “F”. Os dois feixes DE e HJ diferem em fase por causa da CFG, referente à distância extra, percorrida por HJ.

Se o intervalo de ar entre a parte inferior do plano óptico e a superfície de teste é indicado por “h”, sendo o ângulo θ muito pequeno, têm-se que, para feixes incidentes verticalmente, $h = CF = FG = (\lambda / 4)$, onde λ é o comprimento de onda da fonte de luz e, assim, o feixe HJ fica por trás do feixe DE por “2h”. Quando este atraso é a metade do comprimento de onda, os dois feixes DE HJ estarão em fases opostas e as franjas escuras serão criadas, ou seja, em todos os pontos onde o espaço de ar está presente, as franjas escuras se formarão. A análise dessa combinação torna possível avaliar qual o grau de planeza da superfície da peça em estudo.

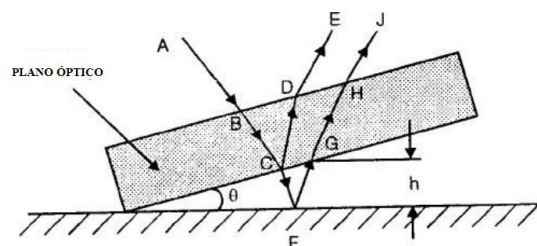


Fig. 4 - Caminho óptico em um plano.
Fonte: IRIGOYEN (1995)

Nas áreas em que a diferença no comprimento do caminho entre os raios que incidem na peça e os refletidos for igual a um múltiplo da metade do comprimento de onda da luz ($\lambda / 2$), as

ondas refletidas estarão em fase, assim, os vales e picos das ondas coincidem. Nessa área, será observada a formação de franjas claras.

Por outro lado, se a diferença do comprimento entre os raios for igual a um múltiplo ímpar da metade do comprimento de onda da luz, as ondas refletidas estarão 180° fora de fase, o que resultará na formação de franjas escuras. Essas franjas escuras aparecerão sempre que a distância entre o plano óptico e a peça for igual a um quarto ($\lambda / 4$) do comprimento de onda da luz monocromática utilizada.

Na Figura 5 consta um esquema explicativo para a formação das franjas.

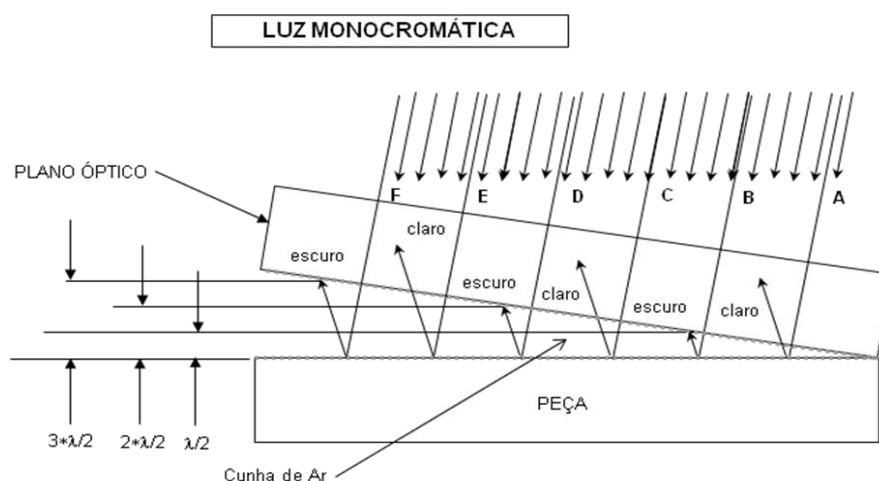


Fig. 5 - Formação das franjas de interferência.
Fonte: IRIGOYEN (1995)

A equação 1 relaciona-se com a interferência construtiva, sendo essa responsável pela formação de franjas claras. Com essa fórmula, pode-se calcular a localização dessas franjas em um plano.

$$d \operatorname{sen}\theta = m\lambda \quad (1)$$

A equação 2 é usada no cálculo da localização das franjas escuras, ou seja, formadas por interferência destrutiva.

$$d \operatorname{sen}\theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \quad (2)$$

É válido ressaltar que nas fórmulas citadas, “d” representa a distância entre a superfície do plano óptico e da peça de estudo; “m”, a ordem da franja (observado na figura 5) e λ , o comprimento de onda da luz utilizada durante a prática.

2.2.1 Avaliação Qualitativa

A avaliação qualitativa se dá de acordo com o formato da superfície de estudo. Se a superfície for plana, não se formam franjas de interferência. No entanto, aparecem linhas paralelas e igualmente espaçadas. Em uma superfície cilíndrica, sendo ela convexa ou côncava, as franjas são retas e paralelas ou curvas, mas não equidistantes. Já numa superfície esférica, as franjas de interferências produzidas são circulares e concêntricas e não equidistantes. No caso de superfícies irregulares, as franjas que aparecem são as curvas de nível.

Pode-se observar na Figura 6, um resumo de como se classificam qualitativamente alguns exemplos de franjas de interferência.


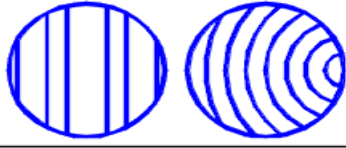
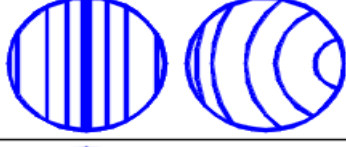


SUPERFÍCIE PLANA	
SUPERFÍCIE CILÍNDRICA CONVEXA	
SUPERFÍCIE CILÍNDRICA CÔNCAVA	
SUPERFÍCIE ESFÉRICA	
SUPERFÍCIE IRREGULAR	

Fig. 6 - Formato das Franjas de interferência.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Para visualizar as franjas corretamente, precisam ser levados em conta vários fatores, como o ângulo de incidência (30° ou 45°) entre a luz e o observador, e a homogeneidade da fonte de luz refletida quando fora do vidro. Como é de conhecimento, o formato e o número de franjas indicam o grau de planeza da superfície que neste caso, varia de acordo com a tolerância adotada. Para as faces de medição de um micrômetro, por exemplo, com tolerância de $1 \mu\text{m}$, não poderão ser visíveis mais que quatro franjas da mesma cor em cada face, no caso da verificação se der por

meio de uma luz comum. O uso da luz monocromática serve justamente para que as franjas sejam confirmadas da forma mais distinta possível.

A interpretação das franjas de interferência no plano óptico é realizada apenas quando ambas as superfícies da peça e do plano óptico estão absolutamente limpas. Posicionando o plano óptico cuidadosamente na parte superior da peça, não deslizando para os lados com os dois planos fixados e a luz incidindo sobre eles, as franjas aparecem através do plano.

2.2.2 Avaliação Quantitativa

Os desvios de planeza também podem ser avaliados quantitativamente. O comprimento de onda é um fator importante para a determinação desses valores, pois, em caso de verificação em laboratório da planeza, o comprimento de onda da luz (λ) deve ser conhecido. Para o vapor de sódio, o comprimento médio de $\lambda \cong 0,59 \mu\text{m}$ e, para a própria luz natural, o valor médio de $\lambda \cong 0,64 \mu\text{m}$. Na utilização de luz natural (policromática) as franjas formadas serão coloridas, prejudicando um pouco a visualização e análise das franjas. Daí, a importância da utilização da luz monocromática, como o vapor de sódio.

O desnível total de uma superfície é determinado pela equação 3:

$$h = \left(\frac{h_1}{d_1} + \frac{h_2}{d_2} \right) \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

Onde o “h” significa o desnível total e “d” representa a distância entre duas franjas.

Conforme apresentado em 2.2, a distância entre duas franjas será sempre o comprimento de onda da luz utilizada dividido por 2. A observação do padrão formado das franjas de interferência é de fundamental importância para se calcular o desvio de planeza. A franja de maior curvatura é a responsável por indicar quantitativamente esse desvio, pois se deve analisar e perceber quantas vezes tal curvatura corresponde à distância entre as franjas. Essa afirmação é utilizada tanto no cálculo do desnível parcial (do centro até a borda) e no desnível geral (do centro até a extremidade).

Um exemplo prático dessa medição pode ser observado na Figura 7, onde a maior curvatura da franja corresponde a 2,3 vezes a distância normal entre duas franjas de interferência. Observa-se, também, que a peça estudada é côncava e cilíndrica, características qualitativas.

A fórmula do cálculo do desvio de planeza resume-se a multiplicação entre a curvatura e a distância entre franjas, logo:

$$h = \text{curvatura} * \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

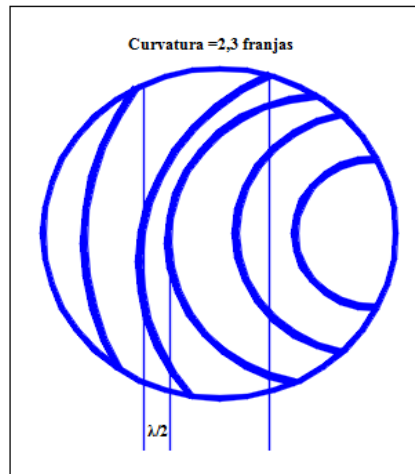


Fig. 7 – Análise visual da franja
Fonte: Elaborada pelos autores.

Utilizando-se a radiação da luz natural ($\lambda \cong 0,64\mu\text{m}$), o desvio de planeza da superfície do exemplo apresentado seria $0,74\mu\text{m}$. No uso de uma luz monocromática de vapor de sódio ($\lambda \cong 0,59\mu\text{m}$), o erro da planeza será de $0,68\mu\text{m}$.

3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi projetar e construir um aparato de baixo custo, baseado no princípio do interferômetro para avaliação de desvios de planeza de peças planas polidas. Para avaliar o desempenho do aparato, foi realizada a avaliação de planeza das superfícies de contato de um micrômetro externo, conforme a norma NBR NM-ISO 3611 (1997).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada iniciou-se com a realização de uma pesquisa bibliográfica sobre desvios de planeza avaliados pelo método de interferometria, para a construção do equipamento. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Metrologia Mecânica da UFC (LAMETRO).

Cada etapa realizada durante a execução do trabalho está descrita a seguir.

4.1. CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO

Baseado no interferômetro de Fizeau projetou-se a unidade de luz monocromática, de acordo com o desenho ilustrado na Figura 8. Utilizou-se o software AutoCAD para a idealização do projeto. As dimensões lineares no desenho da Figura 8 estão em milímetros.

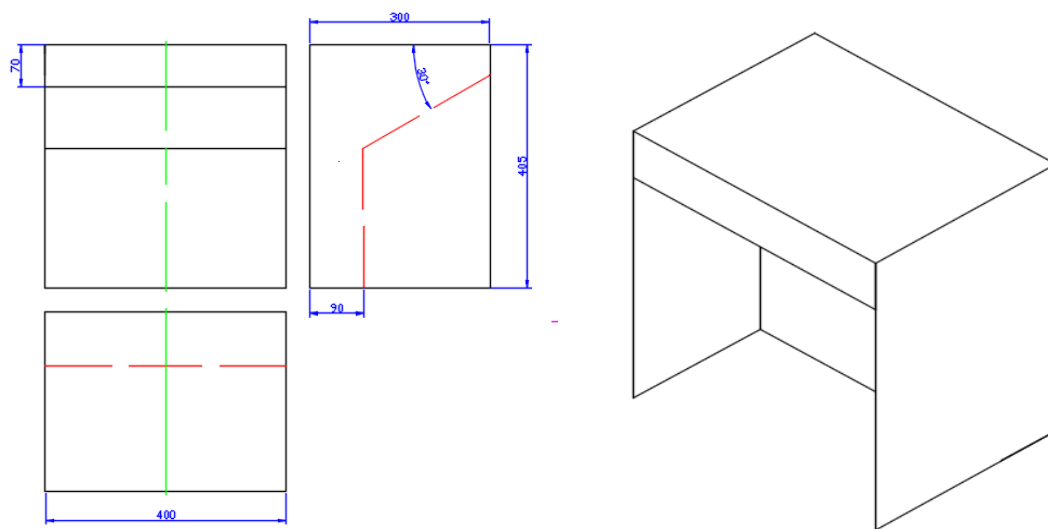


Fig. 8 - Desenho técnico e sua perspectiva.
Fonte: Elaborada pelos autores.

4.2 MATERIAL UTILIZADO

Os materiais foram escolhidos visando a obtenção de um equipamento resistente e de qualidade, sendo financeiramente viável. Foram:

- Madeira MDF;
- Laminado Decorativo de alta pressão (branco e preto);
- Vidro fosco (4 mm x 250 mm x 410 mm);
- Reator e ignitor de vapor metálico 70 W/220 W interno;
- Lâmpada de vapor de sódio tubular GOLDEN AP 70 W.

A lâmpada utilizada de vapor de sódio de 70 W da marca GOLDEN possui comprimento de onda médio de 589,3 nm e é classificada como de descarga de alta pressão, isso significa, segundo o manual de tipos de lâmpadas da UNICAMP (2015), que o tubo de descarga dessa lâmpada possui um excesso de sódio para dar melhor condição de saturação do vapor quando a lâmpada funciona.

No projeto original, a lâmpada possuía uma potência de 35 W, mas seu preço é 10 vezes maior do que o de uma lâmpada de 70 W. Optou-se por uma lâmpada de 70 W com o uso de papel vegetal de 90 g/m² sobre o vidro translúcido para amenizar a intensidade luminosa. Esse papel não

altera nenhuma propriedade da luz irradiada. Sua translucência, de acordo com a Norma ISO 2469:2014 (*Paper, board and pulps - Measurement of diffuse radiance factor “diffuse reflectance factor”*), é, em média, de 75% (setenta e cinco por cento), podendo variar cinco pontos percentuais para cima ou para baixo.

A necessidade de um ignitor no projeto se relaciona à produção de um pico de tensão para gerar o acendimento da lâmpada, pois somente a corrente não é suficiente para dar a partida na lâmpada. O uso de um reator se explica ao fato da necessidade de limitar a corrente no tubo de arco da lâmpada, evitando, assim, o aumento da corrente até estourar a lâmpada. É importante frisar que todo o projeto foi pensado e executado para possuir funcionamento pleno em uma rede de 220 V.

O equipamento foi projetado no intuito didático e por, essa razão, suas dimensões foram pensadas para que houvesse portabilidade, a fim de levá-lo para a sala de aula ou até mesmo para apresentações em eventos na área.



Fig. 9 – Vista frontal do aparato ligado.
Fonte: Elaborada pelos autores.

5 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado no LAMETRO no mês de setembro de 2015. Utilizou-se um micrômetro externo digital da marca Mitutoyo, com capacidade de medição de 25 mm e resolução de 0,001 mm. Foi utilizado um paralelo óptico calibrado da Mitutoyo, da série 157, com valor nominal de espessura de 12,25 mm, com desvio máximo de planeza de 1 μ m. Um termômetro digital Testo, com resolução de 0,1 $^{\circ}$ C calibrado, foi utilizado para a verificação da temperatura durante a prática. A temperatura média foi de 20,9 $^{\circ}$ C e a umidade relativa do ar de 50,4%.

Antes do início da prática, limpou-se o paralelo óptico e as faces de medição do micrômetro, sendo de fundamental importância este processo antes de qualquer prática de calibração, pois, caso contrário, o resultado final poderia ser afetado. O plano óptico foi posto sobre a superfície da face fixa e depois da móvel do micrômetro, com o cuidado de minimizar a camada de ar entre as superfícies do micrômetro e do paralelo óptico. Na Figura 10 consta a montagem do experimento.

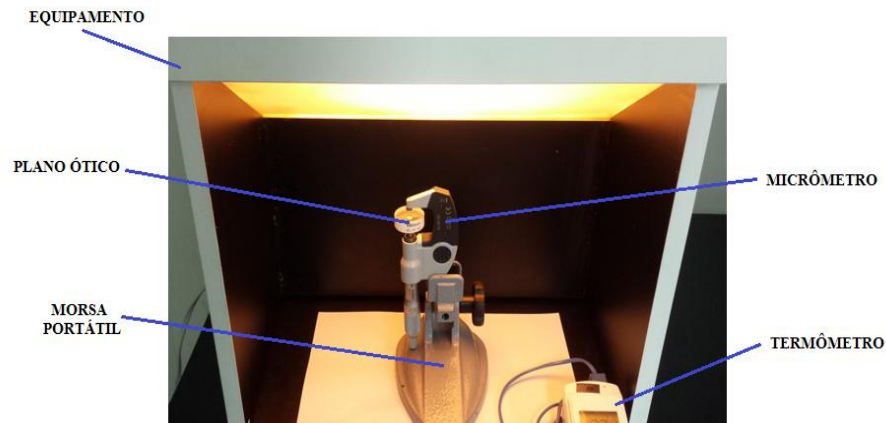


Fig. 10 - Montagem da prática.
Fonte: Elaborada pelos autores.

A análise qualitativa de ambas as faces revelou padrões de franjas de interferências diferentes. Em relação à face móvel (Figura a), pode-se observar a formação de franjas de interferência relacionadas a um perfil côncavo, com curvatura aproximada de uma franja. Para a face fixa (Figura b), verificou-se franjas equidistantes e retas, significando curvatura zero e erro de planeza inexistente ou imperceptível.

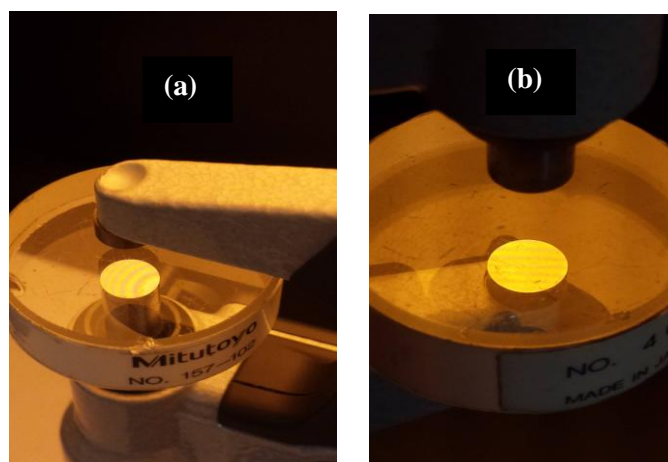


Figura 11 - Franjas formadas na face móvel (a) e na face fixa(b).
Fonte: Elaborada pelos autores.

6 PARCERIA

Este trabalho foi realizado em parceria com a Associação Técnico-Científica Eng.º Paulo de Frontin (ASTEF), e com o apoio operacional de Francisco Robson Alencar, Técnico do LAMETRO.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o estudo de caso, verifica-se que o padrão observado na superfície do fuso do micrômetro externo (face móvel) difere-se do padrão de uma superfície plana. Uma causa provável é que a superfície é rotativa e, em contato com a peça a medir, se desgasta por atrito.

A curvatura calculada para a face móvel corresponde a uma distância de franja, o que multiplicada pela metade do comprimento de onda da luz de vapor de sódio ($\lambda/2 \cong 0,295 \mu\text{m}$), tem como resultado o desvio da planeza de $0,29 \mu\text{m}$. Em relação à face fixa do micrômetro, pode-se observar a curvatura da franja igual à zero, ou seja, a superfície é considerada plana com desvio de planeza considerado nulo.

Apesar de não ser foco abordar o cálculo de incerteza de medição neste trabalho, uma avaliação inicial foi realizada considerando o ISO GUM - Guia para a Expressão de Incerteza de Medição (ABNT/Inmetro, 2008). As fontes de incerteza consideradas na avaliação do desvio de planeza foram a incerteza associada ao paralelo óptico e ao comprimento de onda de luz utilizada na medição. A incerteza do paralelo óptico é informada no certificado de calibração como sendo de $0,025 \mu\text{m}$ (68%) e a incerteza do comprimento de onda é da ordem de $0,0002 \mu\text{m}$ (68%).

$$U_c = \sqrt{ua^2 + ub^2} \times 2 \cong 0,03 \mu\text{m} \quad (5)$$

Onde:

U_c – Incerteza expandida (95%);

ua – incerteza padrão do paralelo óptico;

ub - incerteza padrão do comprimento de onda do vapor de sódio;

2 é o fator de abrangência k pra um nível da confiança de aproximadamente 95%.

Uma comparação entre o método atualmente utilizado no LAMETRO e o método proposto com luz monocromática tem aspectos vantajosos e estão sintetizados no quadro 1. Os aspectos selecionados para análise foram: técnico, operacional e didático.

Quadro 1 – Comparação dos aspectos gerais

Aspectos	Método existente no LAMETRO	Aparato desenvolvido
Técnico	Incerteza na ordem de 0,04 μm	Incerteza na ordem de 0,03 μm
Operacional	Dificuldade na visualização das franjas por meio de luz policromática, pois é um espectro de várias cores.	Facilidade na visualização das franjas por meio da luz monocromática. Apenas cores escuras e claras.
Didático	Limitação na demonstração das franjas de interferência no laboratório por conta de espaço para acomodação dos alunos e visualização.	Demonstração prática das franjas de interferência devido à portabilidade do aparato. Fácil transporte para sala de aula.

Fonte: Elaborada pelos autores

A diferença entre os aspectos encontrados dá-se pelo fato que o uso da luz natural dificulta a visualização das franjas e aumenta a zona de erro na classificação qualitativa das mesmas. Isso é facilitado pelo aparato, solução de baixo custo em relação a interferômetros já existentes, pois seu custo total deu-se em torno de R\$ 300,00. Este valor equivale a 5% do valor total de um interferômetro encontrado no mercado (um interferômetro de dimensões equivalentes possui o valor total aproximado de R\$ 6.000,00).

8 CONCLUSÃO

A construção da unidade de luz monocromática mostrou-se eficaz na verificação e avaliação dos desvios de planeza em relação ao micrômetro testado, comparados com resultados obtidos através do interferômetro de Fizeau. Os resultados dos padrões de franjas de interferência obtidos do micrômetro indicam que o mesmo está aprovado, considerando os limites definidos na norma NBR NM-ISO 3611 (1997).

O aparato foi testado em condição real pelo pessoal do laboratório, que aprovou seu uso como instrumento auxiliar no procedimento de calibração de micrômetro no LAMETRO e na avaliação de peças com superfícies planas e polidas. O aparato será também utilizado em sala de aula ou aplicado no laboratório para práticas com os alunos das engenharias do Centro de Tecnologia.

REFERÊNCIAS

ABNT/INMETRO. **Avaliação de dados de medição: guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008**. Rio de Janeiro: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 2469**: Paper, board and pulps -- Measurement of diffuse radiance factor (diffuse reflectance factor). 2014. 19 páginas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6409**: Tolerâncias geométricas - Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento - Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho. Rio de Janeiro, 1997. 19 páginas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-ISO 3611**: Micrômetro para medições externas. Rio de Janeiro, 1997. 12 páginas.

DIN 863. **Mebsschrauben**. Bügelmebschrauben Normalausführung: Begriffe, Anforderungen, Prüfung.

GOLDEN. **Ficha técnica da lâmpada de vapor de sódio tubular AP 70 w**. Disponível em: <<http://www.lampadasgolden.com.br/pt/produtos/sodio/3520>> Acesso em: 25 de ago. 2015.

MITUTOYO. **Catálogo Geral de Produtos (PG705)**. Disponível em: <<http://www.mitutoyo.com.br/site/produtos/pdf/catalogo.pdf>> Acesso em: 14 de out. 2015.

SANTOS JR., M. J; IRIGOYEN, E. R. C. **Metrologia dimensional**: teoria e prática. Editora da Universidade – UFRGS, 1995.

UNICAMP. **Tipos de lâmpadas**. Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/Fontes_Lumin.pdf> Acesso em: 25 de ago. 2015.

WIKIPÉDIA. Desenvolvido pela Wikimedia Foundation. Apresenta conteúdo enciclopédico. **Thin-film interference**. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_interference> Acesso em: 14 de out. 2015.