

1 Introdução

1.1

Objetivos e Motivação

A década de 1990 assistiu ao surgimento de um processo de integração econômica em escala mundial que delineou o fenômeno da globalização. O grande objetivo deste processo é obter novos patamares de crescimento econômico advindos do aumento da produtividade, redução de custos e aumento da qualidade dos produtos. Com isso, normas internacionais que versam sobre Qualidade foram criadas, dentre elas as da série ISO 9000, com o objetivo de fornecer diretrizes para se obter qualidade de produtos e serviços. Estes objetivos, porém, só podem ser alcançados se houver uma convergência entre os campos da Metrologia, da Normalização e da Qualidade.

Para atender às diretrizes dessas normas em um mercado cada vez mais competitivo, grande parte da indústria de manufatura tem adotado o uso de tecnologias de ponta, procurando produzir com qualidade e rapidez. Para isso, os processos de manufatura foram automatizados, sendo introduzidas máquinas numericamente controladas (CNCs), e os itens produzidos são constantemente avaliados com o objetivo de atender aos requisitos técnicos estabelecidos para sua qualidade, o que implica na manutenção da confiabilidade metrológica de todo o processo de fabricação.

Neste contexto, as metodologias de fabricação e medição estão em crescente avanço tecnológico para o atendimento dos requisitos de qualidade cada vez mais exigentes. As máquinas-ferramenta, que exercem um papel fundamental na produção de manufatura, devem portanto ser inspecionadas quanto ao requisito de avaliação dimensional, com objetivo de minimizar o desperdício na produção e gastos com refugo.

Para se manter a confiabilidade metrológica dos produtos no que se refere a suas dimensões, na maioria das vezes eles são avaliados por máquinas de medição por coordenadas (MMCs) que representam uma importante solução devido à

agilidade e à exatidão necessária para a inspeção. Portanto, a qualificação dessas MMCs é essencial para que elas possam atingir o desempenho adequado.

Um dos principais padrões metrológicos na área de metrologia dimensional é o sistema de medição linear por interferometria laser, ou simplesmente sistema laser de medição, que é muito utilizado para avaliação de máquinas-ferramenta e MMCs devido a sua versatilidade na medição de comprimento, o que pode ser feito com grande exatidão e rapidez.

Existe uma gama muito grande de máquinas-ferramenta que existem aos milhares no País. Quanto às MMCs, estima-se que existam cerca de 1200 no parque industrial brasileiro, todas necessitando de avaliação a cada dois anos em média. Estima-se, também, que existam cerca de 150 sistemas laser de medição distribuídos entre laboratórios credenciados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) e empresas do setor metal-mecânico, que também devem ser calibrados com a mesma periodicidade. São dez os laboratórios credenciados que oferecem serviços de avaliação de máquinas-ferramenta e de MMCs, utilizando como padrão de referência um sistema laser de medição. Portanto, esse sistema é um importante padrão metrológico, responsável pela disseminação na área de metrologia dimensional, e é absolutamente necessário assegurar a sua rastreabilidade a padrões nacionais de metrologia.

O Brasil dispõe de padronização primária na grandeza comprimento, sendo sua realização, manutenção e disseminação responsabilidade do Laboratório de Interferometria (Laint) pertencente ao Inmetro. Uma das formas de disseminação da grandeza comprimento é a calibração de fontes laser por meio da comparação direta a um laser He-Ne estabilizado de referência, padrão primário do Laint. Como resultado da calibração é fornecido o comprimento de onda associado à luz laser no vácuo.

A fonte laser é parte de um sistema de medição composto por componentes ópticos e eletrônicos que possibilita a medição de comprimento por processo interferométrico. Faz parte deste sistema, também, uma unidade de compensação composta por sensores que monitoram a temperatura e umidade relativa do ar, a temperatura do objeto a calibrar e a pressão atmosférica. A finalidade dessa unidade é realizar correções dos desvios, devido às variações das condições ambientais e da temperatura do objeto a calibrar, em relação às condições

ambientais de referência. O sistema de medição é denominado sistema de medição linear por interferometria laser ou apenas, como mencionado anteriormente, sistema laser de medição.

Atualmente, no Brasil, a fonte laser e os sensores de monitoramento das condições ambientais e de temperatura do objeto a calibrar são calibrados separadamente em diferentes laboratórios, conforme ilustrado no diagrama da figura 1.1, o que torna a manutenção da rastreabilidade do sistema mais demorada e a calibração dispendiosa. Um outro problema importante é que, devido a limitações no software do fabricante, a correção dos erros sistemáticos dos sensores das condições ambientais e da temperatura do objeto a calibrar, provenientes das suas respectivas calibrações, em geral não pode ser realizada. Sendo assim, os usuários dos sistemas laser de medição apenas verificam se os erros dos sensores estão em conformidade com as especificações do fabricante ou seguem algum critério próprio de aceitação.

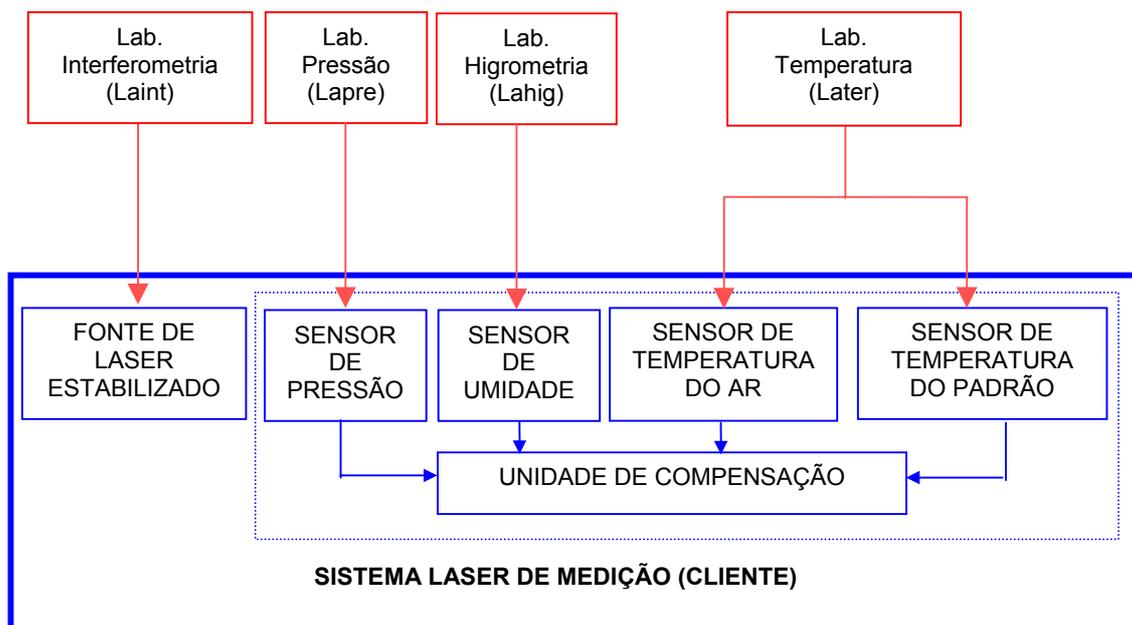


Figura 1.1 –Rastreabilidade atual dos sistemas laser de medição

O objeto desta dissertação é implementar um método de calibração alternativo que considera o sistema laser de medição como um padrão único (padrão de comprimento variável ou instrumento padrão), visto como unidade inseparável constituída de fonte laser, componentes ópticos e eletrônicos, sensores de monitoramento das condições ambientais e da temperatura do objeto a calibrar,

assegurando sua rastreabilidade de forma integrada. Sendo assim, a calibração do sistema laser de medição (aqui abreviado para sistema-objeto) é feita por comparação a um padrão similar (aqui denominado sistema laser de medição de referência e abreviado para sistema-referência).

A calibração é realizada utilizando-se uma bancada para comparação de lasers, na qual os componentes ópticos de ambos sistemas laser de medição (objeto e referência) são deslocados simultaneamente, possibilitando a comparação entre comprimentos indicados por cada um deles. Este método de comparação respeita um dos mais importantes princípios metrológicos de que qualquer padrão ou instrumento deve ser calibrado de modo mais similar possível à sua utilização rotineira [1].

O sistema-referência é composto pela fonte laser, barômetro digital, higrômetro digital e termômetros de referência, todos calibrados no Inmetro com as menores incertezas possíveis.

Através da comparação, é possível assegurar rastreabilidade ao sistema-objeto realizando apenas uma única calibração, conforme ilustrado no diagrama apresentado na figura 1.2.

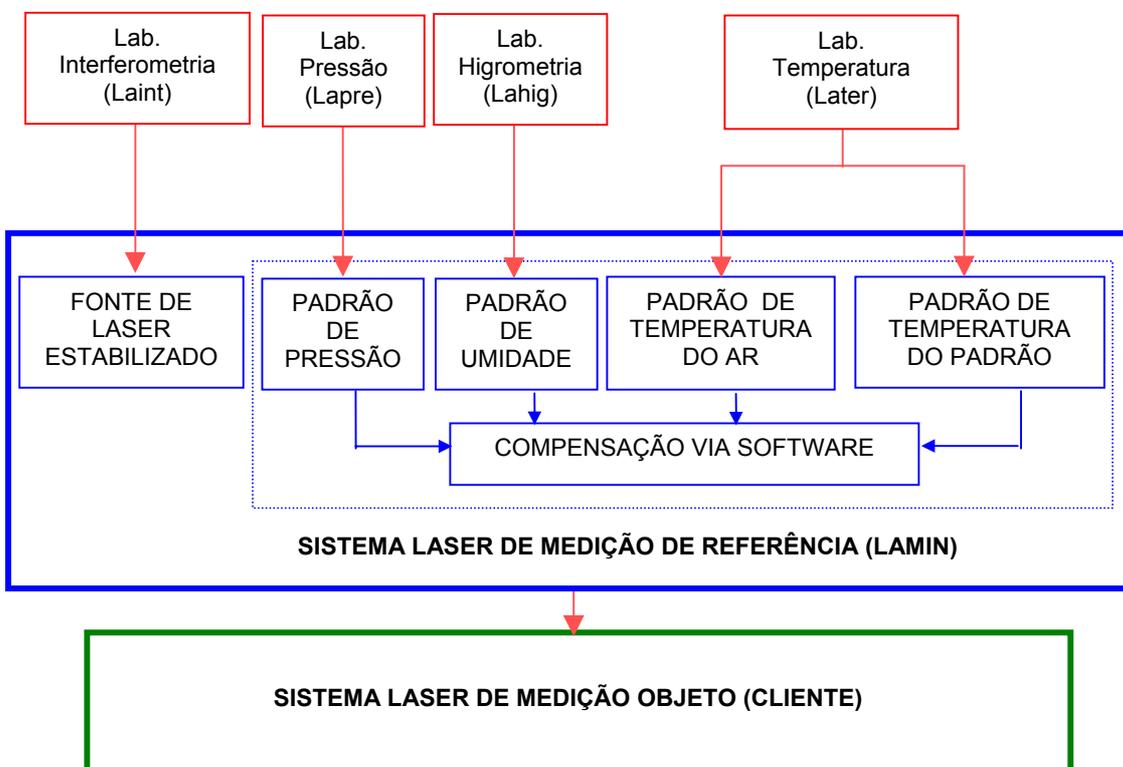


Figura 1.2 – Rastreabilidade proposta para sistemas laser.

Com a elaboração e implantação do procedimento proposto, pode-se satisfazer a crescente necessidade da indústria e dos laboratórios credenciados pelo Inmetro quanto à calibração do referido sistema laser de medição por um método alternativo, mais rápido e de custo mais baixo, mas que atenda os níveis de incerteza requeridos para suas aplicações. Esta metodologia aplica-se a sistemas laser de medição que são utilizados como padrão de referência para calibração de máquinas-ferramenta e máquinas de medição por coordenadas que, respectivamente, demandam incertezas da ordem de 5 μm e 1 μm .

1.2

Organização da Dissertação

Esta dissertação apresenta um procedimento metrológico para a calibração de sistema laser de medição, satisfazendo as recomendações de normas internacionais de metrologia no que se refere à rastreabilidade metrológica e à expressão da incerteza no resultado da calibração. A mesma encontra-se organizada da seguinte forma:

Capítulo 2 – Sistema Laser de Medição

Neste capítulo apresenta-se um breve histórico do surgimento do raio laser, a experiência de Michelson, descrição do funcionamento de sistemas lasers de medição linear, as aplicações diversas e específicas em metrologia dimensional. É apresentada também uma descrição dos sistemas lasers de medição linear utilizados para o desenvolvimento na dissertação.

Capítulo 3 – Sistema de Referência para calibração do Sistema Laser

Descrevem-se as etapas utilizadas para a implantação do sistema laser de medição linear, tais como bancada para calibração do sistema laser de medição linear, a montagem do aparato experimental, o alinhamento dos sistemas laser de medição linear, além de apresentar vários tipos de arranjos de medição com uma discussão sobre os critérios para a escolha do arranjo apresentado nesta dissertação.

Capítulo 4 – Fontes de Erros na Medição com Sistemas Laser de Medição

São apresentados os erros que ocorrem durante a medição com sistemas lasers de medição, e que podem influenciar o resultado da medição. São apresentadas também as formulações para as correções dos mesmos. A análise apresentada neste capítulo é a base para a determinação da incerteza de medição para o método de calibração desenvolvido.

Capítulo 5 - Avaliação dos Resultados das Incertezas de Medição

Apresentam-se os resultados encontrados com a realização de uma avaliação estatística sobre a repetitividade e reprodutibilidade das calibrações. É

apresentado também o modelo matemático e as estimativas para a determinação da incerteza de medição, a partir das grandezas envolvidas.

Capítulo 6 – Conclusões e Recomendações

São apresentadas as conclusões sobre os resultados, mencionando-se os aprimoramentos que podem ser realizados e sugestões para desenvolvimentos futuros.

Capítulo 7 – Apêndices

Nos apêndices são apresentados tabelas, registros de medição e gráficos ilustrativos.