



Metrologia Dimensional: A Importância de Avaliar a Conformidade Dimensional e Geométrica de Componentes Técnicos

Setembro 2022

FICHA TÉCNICA

Título

Metrologia Dimensional: A Importância de Avaliar a Conformidade Dimensional e Geométrica de Componentes Técnicos

Textos

Fernando Ferreira

Hélder Guerra

Maria Fernandes

Com o apoio de

Pedro Cunha (IPS – Instituto Politécnico de Setúbal)

Este documento foi desenvolvido no âmbito do projeto “AddValue@SME - Metrology & Quality Management” com a referência LISBOA-01-0246-FEDER-000018, co-financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Programa Operacional Regional de Lisboa (LISBOA2020).

Setembro 2022

ÍNDICE

FICHA TÉCNICA	2
1. ENQUADRAMENTO	4
2. METROLOGIA E NORMALIZAÇÃO	4
2.1 Generalidades e Conceitos base	5
2.2 Normalização	6
3. METROLOGIA POR COORDENADAS.....	8
3.1 Os Diferentes Tipos de Máquinas de Medição por Coordenadas	9
3.1.1 Máquina de Medição por Coordenadas de Ponte.....	9
3.1.2 Máquina de medição por coordenadas de Braço Horizontal ou Coluna.....	10
3.1.3 Máquina de medição por coordenadas tipo Gantry ou Pórtico.....	10
3.1.4 Máquina de medição por coordenadas tipo Cantilever	11
4. AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DE AMOSTRA DE AÇO, DE ACORDO COM O REFERENCIAL NORMATIVO EN 1090-2.....	12
3. CONCLUSÕES.....	13
4. REFERÊNCIAS	14

1. ENQUADRAMENTO

O projeto ADDVALUE@SME - *Metrology & Quality Management*, aprovado pelo Programa Lisboa2020 e promovido pelo CATIM, visa a transferência de conhecimento científico e tecnológico e a sensibilização das PME, da Região de Lisboa, para a importância da metrologia industrial na garantia da qualidade e inovação de produtos, processos ou serviços, consubstanciando-se em ganhos de eficiência e níveis de competitividade e de internacionalização acrescidos para as empresas.

No âmbito deste projeto, elaborou-se um conjunto de documentos, com conteúdos técnico-científicos e normativos, relativos à temática da metrologia dimensional e a sua importância na avaliação da conformidade dimensional e geométrica de componentes técnicos e as suas especificações.

O presente documento é um dos documentos elaborados e permanecerá disponível na página web de Projetos CATIM, mesmo após a conclusão do período de vigência do projeto, assegurando, assim, a sua divulgação pública.

2. METROLOGIA E NORMALIZAÇÃO

A realização do controlo necessário para garantir processos eficientes e produtos finais de qualidade requer a utilização de equipamentos ou instrumentos de medição adequados que se deverão manter em conformidade com as especificações, permitindo a sua comparabilidade, rastreabilidade, bem como a qualidade de produtos, processos e serviços a disponibilizar nos mercados nacional e internacional. Numa sociedade em que a evolução tecnológica está a revolucionar o nosso dia a dia e a ditar as expectativas e exigências do mercado, é necessário apostar na inovação dos produtos, processos e serviços, garantindo níveis acrescidos de qualidade e assim o posicionamento estratégico num mercado cada vez mais competitivo. A Metrologia, enquanto área científica, suporta o desenvolvimento sustentado das capacidades de medição, tendo um papel fundamental, entre outros, na qualidade e inovação, constituindo uma base credível para a tomada de decisão e contribuindo para a garantia da qualidade de vida da sociedade em geral.

2.1 Generalidades e Conceitos Base

A metrologia, enquanto “*ciência da medição e suas aplicações*” [1], constitui uma ferramenta fundamental para a indústria. Através do bom desempenho do processo de medição nas organizações é possível assegurar padrões de qualidade cada vez mais exigentes. A realização do controlo necessário para garantir processos eficientes e produtos finais de qualidade requer a utilização de equipamentos e instrumentos de medição adequados que têm de se manter em conformidade com as especificações.

Para se quantificar o valor de uma grandeza é necessário considerar uma unidade para essa grandeza. Definindo uma unidade, é possível quantificar o valor da grandeza que se pretende medir. Desta forma torna-se fundamental a existência de um sistema métrico decimal universal - Sistema Internacional de Unidades (SI) - estabelecido e adotado durante o tratado “A Convenção do Metro”. Este tratado decorreu no dia 20 de maio de 1875, onde 17 governos (incluindo Portugal) avançaram com a criação do BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*), uma organização intergovernamental, com aproximadamente quarenta e cinco físicos e técnicos que efetuam investigação científica, comparações internacionais das realizações das unidades de medida e verificações de padrões [2,3]. Este momento marcou a criação dos atuais Laboratórios Nacionais de Metrologia (LNM), os quais funcionam sob a vigilância exclusiva do CIPM (*Comité International des Poids et Mesures*) ele próprio sob a autoridade da CGPM (*Conférence Générale des Poids et Mesures*). A data deste tratado assinalou o Dia Mundial da Metrologia, que é comemorado anualmente.

Em 1999, os países signatários da “A Convenção do Metro” assinaram um "Acordo de Reconhecimento Mútuo dos Padrões Metrológicos Nacionais e dos Certificados de Calibração e de Medição” emitidos pelos Laboratórios Nacionais de Metrologia (CIPM-MRA), tendo em vista estabelecer os termos de equivalência dos padrões nacionais e o reconhecimento mútuo dos certificados de calibração e medição, emitidos pelos LNM de cada país. Este acordo estabelece vínculo com os LNM dos países signatários, que os leva a participarem em comparações internacionais de padrões e a implementarem um sistema da qualidade de demonstração de competência. Em Portugal, é o Instituto Português da Qualidade (IPQ) que representa o país no BIPM e na Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML). O IPQ, enquanto Organismo Nacional de Normalização, representa Portugal nas organizações internacionais e europeias de

normalização, nomeadamente a ISO, a *International Electrotechnical Commission* (IEC), o *European Committee for Standardization* (CEN), o *European Committee for Electrotechnical Standardization* (CENELEC) e o *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI). No âmbito da Metrologia Aplicada, o IPQ promove a disseminação dos valores das unidades do SI, garantindo a rastreabilidade aos padrões nacionais, consistindo as atividades desenvolvidas, fundamentalmente, no seguinte:

- Calibração de padrões de referência, em particular dos laboratórios acreditados;
- Preparação e certificação de materiais de referência;
- Operações de controlo metrológico, incluindo a aprovação de modelos e a verificação de instrumentos de medição;
- Realizar eventos e ações de informação e formação, assistência técnica no domínio metrológico;
- Coordenação técnica de comparações de padrões e instrumentos de medição.

Segundo o Relatório Anual de Atividades relativo ao ano 2020, e apesar das dificuldades associadas à pandemia de Covid-19, foi efetuado um total de 2968 trabalhos laboratoriais, referentes às operações de Metrologia Aplicada, dos quais destaca-se a calibração e a verificação de instrumentos de medição no âmbito do controlo metrológico legal (alcoólímetros, cinemómetros radar, medidas materializadas de comprimento, contadores de água e contadores de gás), com 1028 trabalhos laboratoriais [4]. Em comparação com o ano 2019, verificou-se um decréscimo do número de trabalhos laboratoriais efetuados em 2020, cujo valor relativo é da ordem de 10 %, o que se explica pelo contexto pandémico [4].

2.2 Normalização

A normalização tem como objetivo formular e implementar normas, que proporcionam a redução de custos e que aumentam a transparência nos mercados, sendo um meio para garantir ao consumidor que os produtos e serviços tem um grau de qualidade apropriado, segurança e respeitam o ambiente. Em Portugal o organismo nacional de normalização é o IPQ, sendo da sua responsabilidade qualificar os organismos de normalização setorial, criar as comissões técnicas de normalização, promover a elaboração, a aprovação e a homologação dos documentos

normativos portugueses e a adoção dos documentos normativos europeus [5]. O IPQ também é responsável pela atualização do acervo normativo nacional e por promover o ajuste da legislação nacional sobre produtos às normas internacionais [5].

A normalização tem 6 princípios fundamentais [5]:

- Transparência
- Abertura e paridade
- Representatividade
- Imparcialidade e consenso
- Efetividade e relevância
- Coerência

Os princípios enumerados são fundamentais para que o processo de normalização tenha regras e procedimentos simples, transmitindo confiança e credibilidade, permitindo a elaboração de normas. Normas estas, que facilitam o dia a dia e promovem o progresso.

As normas, enquanto documentos técnicos, são de caráter voluntário e aprovados por um organismo de normalização reconhecido, resultam de um consenso, estabelecem regras e linhas de orientação ou características de produtos e/ou serviços, baseados em resultados consolidados que visam a otimização dos produtos e processos.

As vantagens da normalização são importantes para o aumento da competitividade, da compatibilidade e interoperabilidade, do controlo sobre a variedade e utilização eficiente dos materiais, energia e recursos humanos, da economia de matérias-primas e dos tempos de produção, da redução dos desperdícios, da eliminação das barreiras ao comércio, da facilidade de entrada em novos mercados, da proteção dos consumidores e dos interesses da comunidade, da redução do grau de incerteza do mercado, garantir a segurança, saúde, proteção da vida e do ambiente, da simplificação da grande variedade de produtos e procedimentos na vida quotidiana e do reflexo da investigação, desenvolvimento e inovação [5].

Para a norma NP EN 45020, a normalização é a atividade destinada a estabelecer, face a problemas reais ou potenciais, disposições de utilização comum e repetida, tendo em vista a obtenção do grau ótimo de ordem, num determinado contexto [6].

Reconhece-se à atividade de normalização o esforço por tornar a vida quotidiana mais clara e simples, e simultaneamente alavancar o desenvolvimento sustentado.

3. METROLOGIA POR COORDENADAS

Ao longo dos tempos, a necessidade de controlar a complexidade das peças produzidas, através da realização de ensaios dimensionais e geométricos, impulsionou a metrologia por coordenadas para a utilização de máquinas de medição por coordenadas de última geração, que utilizando um sistema cartesiano para aquisição das coordenadas ($x, y, z,$) de um ou vários pontos num sistema ortogonal, usam a informação adquirida para avaliação das especificações técnicas de uma peça ou componente.

Após o surgimento, em 1959, da primeira máquina de medição por coordenadas, desenvolvida pela *Ferranti, Ltd. Of Dalkeith*, na Escócia, assistiu-se a um esforço para introduzir na indústria esta tecnologia com processamento relativamente rápido, procurando replicar o ritmo de produção das máquinas automatizadas, algo que os equipamentos de medição convencionais existentes já não conseguiam acompanhar.

O desenvolvimento deste tipo de máquinas de medição por coordenadas foi favorecido pela evolução dos sistemas de medição de deslocamento eletrónico, o que resultou em melhorias na flexibilidade e na exatidão metrológica, resultando em diminuições de tempo e custo das medições, tornando-se um interessante recurso para o controlo dimensional de peças cujas formas e/ou dimensões não podem ser medidas com outro tipo de tecnologia.

O crescente e exigente ambiente industrial, em que a avaliação da conformidade de componentes técnicos produzidos é um requisito, as máquinas de medição por coordenadas, cuja utilização se tem generalizado nos diferentes setores da indústria, têm desempenhado um importante papel no desenvolvimento de programas e metodologias de medição no âmbito da metrologia dimensional, afirmando-se como um dos mais importantes recursos no suporte à validação dos processos produtivos e no controlo da complexidade dos componentes produzidos, através da validação das especificações dimensionais e geométricas dos componentes técnicos, evitando não conformidades no produto final.

Pelas extraordinárias capacidades (boa exatidão, flexibilidade e de controlo automatizado), as máquinas atuais de medição por coordenadas são consideradas indispensáveis no suporte aos

processos produtivos e parte integrante dos sistemas de controlo da qualidade, contribuindo para o bom desempenho da função metrológica dentro das organizações.

Na atualidade, estes recursos encontram-se já integrados nos sistemas automatizados de fabricação e controlo, apresentando-se como meios de medição sofisticados que acompanham a efetividade dos mais recentes sistemas de produção alinhados com as exigências da Indústria 4.0, o novo paradigma das empresas, utilizando tecnologia de informação que promove a realização de inspeções fáceis e rápidas, com aquisição de grande volume de dados, assegurando uma eficiente interação com todo o processo produtivo.

3.1 Os Diferentes Tipos de Máquinas de Medição por Coordenadas

3.1.1 Máquina de Medição por Coordenadas de Ponte

As máquinas de medição por coordenadas mais utilizadas na indústria, laboratórios e centros de investigação são as de ponte móvel e de mesa fixa. Este tipo de máquina de medição por coordenadas, materializa um sistema de coordenadas cartesiano com três eixos (X , Y e Z) lineares e perpendiculares entre si, que se movem ao longo de guias, e cujo sistema de apalpação encontra-se agregado ao eixo (Z) que se move verticalmente.

As vantagens deste tipo de máquinas são a robustez, alto grau de estabilidade, boa capacidade de carga da mesa, um bom volume útil de medição associado a uma boa exatidão (baixa incerteza de medição devido à construção) e uma vez que a mesa é fixa facilita a troca entre peças pesadas. A desvantagem mais evidente resulta do facto das duas colunas moverem-se em diferentes zonas da máquina, o que pode causar torção da ponte.

O estado da arte para este tipo de máquinas apresenta-se com erros máximos admissíveis relativamente baixos, como é o caso da máquina de medição por coordenadas de marca ZEISS e modelo UPMC Ultra, cujo $MPE(1/2D) = 0,3+L/1000 \mu\text{m}$ (com L (comprimento) em mm).



Figura 1. Máquina de medição por coordenadas de Ponte.

3.1.2 Máquina de medição por coordenadas de Braço Horizontal ou Coluna

Este tipo de máquina de medição por coordenadas apresentam uma configuração considerada ideal para a medição de peças de grandes dimensões, uma vez que têm grandes faixas de medição, acesso livre ao volume de medição, boa velocidade de deslocamento e baixa rigidez.



Figura 2. Máquina de medição por coordenadas de Braço Horizontal ou Coluna.

3.1.3 Máquina de medição por coordenadas tipo Gantry ou Pórtico

Estas máquinas de medição por coordenadas são adequadas para peças de grande volume e encontram-se muitas vezes associadas à indústria automóvel e aeronáutica. Entre as principais vantagens destas máquinas estão a medição de peças e/ou componentes técnicos de grande volume e fácil acesso a todas as partes das peças. Entre as desvantagens, destaca-se o facto de ser uma máquina de grande dimensão e como tal a incerteza de medição pode ser afetada por desvios

da temperatura resultantes das condições ambientais do espaço onde a mesma se encontrar instalada.



Figura 3. Máquina de medição por coordenadas tipo Gantry ou Pórtico

3.1.4 Máquina de medição por coordenadas tipo Cantilever

As máquinas de medição por coordenadas tipo Cantilever possuem um sistema de apalpação suportado por um braço que permite efetuar movimentos no sentido positivo e negativo num dos eixos. Este tipo de máquina de medição por coordenadas pode ter duas configurações diferentes, mesa fixa ou mesa móvel.



Figura 4. Máquina de medição por coordenadas tipo Cantilever.

4. AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DE AMOSTRA DE AÇO, DE ACORDO COM O REFERENCIAL NORMATIVO EN 1090-2

O referencial normativo EN 1090 estabelece quais os requisitos técnicos para execução de estruturas de aço, procurando garantir adequada resistência mecânica, estabilidade, facilidade de manutenção e durabilidade, bem como o exigente controlo de produção em fábrica.

No caso particular da parte 2 do referencial normativo 1090, a mesma define que a capacidade relativa aos processos de corte térmico deve ser controlada anualmente através de um conjunto de ensaios para avaliação do referido processo de corte [7].

Entre diferentes ensaios, o ponto 6.6.1 da norma refere a importância do controlo da furação através da avaliação da dimensão e geometria dos furos, sendo que este ponto aplica-se à realização de furos para conexões com fixadores mecânicos e pinos em amostras, ou seja, a avaliação do processo é realizada através da avaliação da conformidade da amostra (provete) sujeita a ensaio dimensional. Para realização do ensaio dimensional e geométrico à furação, deste tipo de amostras, geralmente é utilizada uma máquina de medição por coordenadas de marca ZEISS e modelo Contura G2, com sistema de apalpação VAST XXT que possibilita alternar entre o modo de medição ponto a ponto ou modo de medição *scanning* dinâmico.

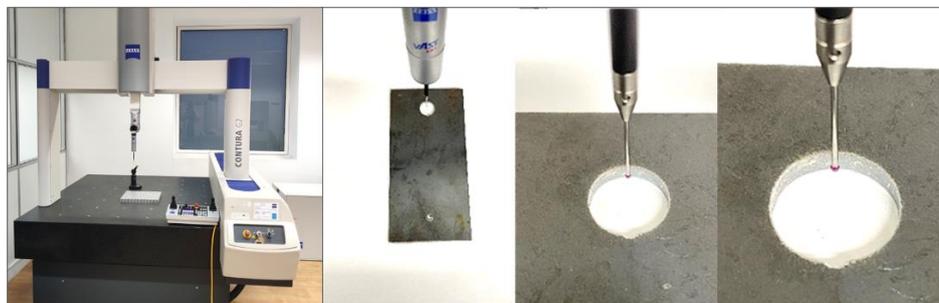


Figura 5. Máquina de medição por coordenadas ZEISS Gontura G2 e respetiva amostra (provete).

O ensaio dimensional e geométrico à furação deste tipo de amostras consiste na avaliação de um conjunto de características relativas ao furo como as dimensões, o ângulo e a perpendicularidade, conforme imagem abaixo, em que o recurso a uma máquina de medição por coordenadas torna o controlo mais rigoroso e detalhado.

Cada amostra tem um ou mais furos, sendo que as tolerâncias variam em função do diâmetro de cada furo. A avaliação de conformidade do processo é efetuada de acordo com os resultados obtidos por cada amostra e de acordo com o cumprimento das especificações estabelecidas.

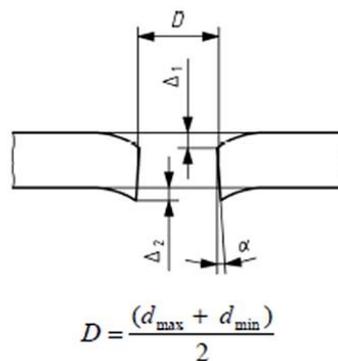


Figura 6. – Características a avaliar, de acordo com a EN 1090-2.

3. CONCLUSÕES

Nas empresas, a necessidade de garantir a fiabilidade do processo produtivo, garantindo conformidade dimensional e geométrica dos componentes técnicos produzidos, exige à metrologia recursos técnicos cada vez mais sofisticados.

A crescente necessidade de avaliação da conformidade de processos e produtos tem gerado uma maior cultura metrológica de apoio e suporte ao desenvolvimento tecnológico dentro das organizações.

De uma forma geral, em ambiente industrial, os processos produtivos e os processos de controlo da qualidade estão sujeitos a uma variedade de fatores que podem afetar de forma mais ou menos significativa o cumprimento das especificações técnicas estabelecidas.

Neste ambiente, a metrologia, reconhecida como uma das mais importantes áreas do conhecimento tem revelado importante função nos processos de suporte à inovação, assegurando simultaneamente que fatores, como condições ambientais, exatidão dos equipamentos de medição e qualificação de operadores, não influenciam o cumprimento das especificações técnicas dos processos e produtos.

Desta forma, e perante a necessidade de garantir a conformidade das especificações dimensionais e geométricas dos componentes técnicos, o recurso à tecnologia de medição por coordenadas, para avaliação da conformidade de amostras de aço, de acordo com o referencial normativo EN 1090-2, permite que o controlo das referidas especificações seja realizado de forma relativamente rápida, completa e contribui para incrementar a melhoria da qualidade dos processos e do produto final, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico das empresas, aumentando a sua competitividade e sustentabilidade.

4. REFERÊNCIAS

- [1] I. Godinho, M. Ferreira, O. Pellegrino, VOCABULÁRIO INTERNACIONAL, Termos de METROLOGIA LEGAL - VIML, IPQ. 1 (2017) 1–40. www.ipq.pt (accessed May 12, 2022).
- [2] Metrologia, (n.d.). <http://www1.ipq.pt/pt/metrologia/apresentacao/Pages/Metrologia.aspx> (accessed May 16, 2022).
- [3] O. Pellegrino, S. Gentil, Uma introdução às Regras de escrita das Unidades de medida e Grandezas segundo o SI, Gaz. Física - Sociedade Port. Da Física. 42 (2019). www.bipm.org, (accessed May 16, 2022).
- [4] R. Anual De Atividades, Relatório de Atividades IPQ 2020, (n.d.).
- [5] Normalizacao, (n.d.). <http://www1.ipq.pt/PT/Normalizacao/Pages/Normalizacao.aspx> (accessed December 20, 2022).
- [6] BS EN 45020:2007 Standardization and related activities. General vocabulary - European Standards, (n.d.). <https://www.en-standard.eu/bs-en-45020-2007-standardization-and-related-activities-general-vocabulary/> (accessed December 20, 2022).
- [7] EN 1090-2:2018 - Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical, (n.d.). <https://standards.itih.ai/catalog/standards/cen/dace6bce-f81f-496e-9d3e-fc539c2dd8b6/en-1090-2-2018> (accessed December 20, 2022).