

# DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA PARA MEDIÇÃO DE CADEIRAS DE ESCRITÓRIO

**Reynaldo Turquetti-Filho** *(in memoriam)*

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Depto. Engenharia Mecânica, 70910-900, Brasília, DF;

**Antonio Piratelli-Filho**

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Depto. Engenharia Mecânica, 70910-900, Brasília, DF, Tel.:+5502161 3072314; E-mail: pirateli@unb.br

**Ana Carolina Leal Firmino**

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Depto. Engenharia Mecânica, 70910-900, Brasília, DF, Tel.:+5502161 3073088; E-mail: anacaroleal@pop.com.br

**Vagner Lisoski Duarte**

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Depto. Engenharia Mecânica, 70910-900, Brasília, DF, Tel.:+5502161 3073088; E-mail: lisoliso@pop.com.br

**Resumo.** *Tendo em vista as necessidades de avaliar as características físicas e dimensionais de cadeiras de escritório, segundo a norma ABNT NBR 13962:2002, o Laboratório de Ensaio em Móveis (LabMov) da Universidade de Brasília procurou estabelecer um procedimento de medida de forma integrada e metódica que não dependesse das habilidades do técnico de medição. Assim, o objetivo deste trabalho foi projetar e construir uma máquina de medição de baixo custo com o intuito de manter a confiabilidade das medidas e a qualidade do produto. A máquina desenvolvida possui três direções de deslocamento, perpendiculares, estabelecendo um sistema de coordenadas cartesianas (X, Y, Z). Para cada direção, o deslocamento é realizado por meio de dois eixos cilíndricos, paralelos entre si e quatro mancais de rolamentos lineares, formando uma guia. O sistema de medição da máquina detecta o deslocamento nessas direções por meio de três transdutores de posição, cada um acoplado em um dos eixos. Os sinais gerados por estes transdutores são tratados e enviados a um microcomputador, sendo processados por programas computacionais para determinar as dimensões da cadeira.*

**Palavras – chave:** *ensaio de cadeiras, máquina de medir por coordenadas, qualidade do produto.*

## 1. INTRODUÇÃO

Empresários da indústria moveleira têm procurado os serviços de laboratórios ligados à área de ensaios em móveis para garantir que a qualidade de seus produtos esteja em conformidade com as normas técnicas. Essa busca recente tem a ver com a tomada de consciência da grande parte dos consumidores de móveis, principalmente órgãos públicos que, até por consulta e orientação desses mesmos laboratórios, passaram a exigir qualidade dos produtos comprados e não apenas preço baixo.

O Laboratório de Ensaio em Móveis (**LabMov**) da Universidade de Brasília foi criado

com esse fim: avaliar as características físicas, dimensionais, ergonômicas, de conforto e estética de móveis de escritório. Todas as avaliações são executadas de acordo com as especificações das normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e da *International Organization for Standardization* (ISO). Dentre os móveis avaliados destacam-se as cadeiras de escritório, cuja metodologia foi estabelecida pela norma técnica brasileira NBR 13962:2002<sup>(1)</sup>. Um dos quesitos dessa norma é verificar se as dimensões da cadeira estão dentro das tolerâncias especificadas para manter a qualidade do produto. De acordo com a norma, essas tolerâncias devem ser de  $\pm 2\text{mm}$  para as dimensões lineares e de  $\pm 1^\circ$  para as dimensões angulares.

Normalmente, a verificação dessas dimensões é feita por meio de medições indiretas com instrumentos tradicionais como régua, paquímetro, transferidor de ângulo (goniômetro), nível e esquadro. Esse procedimento depende muito da habilidade do técnico que realiza a medição, podendo provocar erros grosseiros, validando produtos fora das especificações ou invalidando produtos dentro das especificações.

Para solucionar os problemas da medição de cadeiras, existe a possibilidade de uso de Máquinas de Medir por Coordenadas (MMC) ou seu modelo de braço articulado. Entretanto, esses são equipamentos sofisticados, caros e com valores de incertezas de medição muito menores que aqueles requeridos pelas normas técnicas nas avaliações em móveis.

Tendo isso em vista, o objetivo deste trabalho foi projetar e construir uma máquina de medição de baixo custo para fazer a avaliação dimensional de cadeiras de escritório proposta pela norma, de forma integrada, com confiabilidade das medidas e mantendo a qualidade do produto. A máquina desenvolvida possui uma estrutura modelo ponte móvel, com três direções de deslocamento, perpendiculares entre si que estabelecem um sistema de coordenadas cartesianas (X, Y, Z). Em cada direção, o deslocamento é feito por meio de dois eixos cilíndricos, paralelos entre si e quatro mancais de rolamentos lineares, formando uma guia. O sistema de medição da máquina detecta o deslocamento nas direções (X, Y, Z) por meio de três transdutores de posição, cada um acoplado em um dos eixos. Uma sonda tipo rígida com ponta esférica está posicionada na extremidade inferior do eixo vertical (Z). Os sinais gerados pelos transdutores, após a sonda ser posicionada no local desejado, são enviados a um microcomputador e processados por programas computacionais para determinar as dimensões da cadeira.

## **2. PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DE CADEIRA**

A avaliação dimensional de uma cadeira utilizando a máquina de medir desenvolvida segue alguns passos próprios. Primeiro a cadeira deve ser posicionada sobre o piso da mesa da máquina por meio de uma garra de fixação. Depois, a sonda da máquina, com apalpador esférico é deslocada em relação às direções (X, Y, Z) para que o sistema de coordenadas da máquina seja zerado em, pelo menos, um ponto da superfície da cadeira, estabelecido como referência. Em cadeiras giratórias, por exemplo, a norma NBR 13962:2002 estabelece dois pontos de referência, como mostra o esquema da figura 1. Nessa figura, não aparece o gabarito de carga que deve ser aplicado para simular uma pessoa sentada na cadeira.

O ponto X é estabelecido no ponto mais proeminente da superfície do encosto no plano mediano da cadeira. O ponto Z é estabelecido na superfície superior do assento, na interseção com o eixo de rotação da cadeira, eixo este que é a interseção dos planos mediano e transversal. No ponto Z, o sistema de coordenadas da máquina deve ser zerado e a partir daí, são determinados todos os outros pontos necessários para a avaliação dimensional da cadeira. Em seguida esses pontos são transformados em dimensões lineares, de raios ou angulares.

As dimensões lineares são obtidas calculando a distância entre dois pontos de coordenadas distintos.

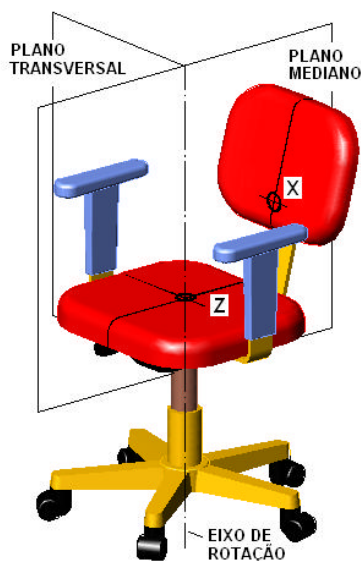


Figura 1. Posição dos pontos X e Y em cadeiras giratórias

As dimensões de raios são obtidas calculando a circunferência que passa por três pontos de coordenadas não alinhados.

As dimensões angulares são obtidas calculando o ângulo formado ou entre duas retas, sendo cada uma delas definida por dois pontos de coordenadas ou entre dois planos, sendo cada um deles definido por três pontos de coordenadas não alinhados.

### 3. ESTRUTURA DA MÁQUINA

A máquina desenvolvida foi dimensionada para alojar qualquer modelo de cadeira existente no mercado. Seus eixos de deslocamento permitem que o sensor de contato tenha um volume de medida de 800x800x1200mm, respectivamente nas direções (X, Y e Z), sendo a direção (Z) vertical. Por ser uma máquina de medição a sua estrutura precisou atender aos requisitos de resistência e rigidez. Segundo Slocum<sup>(2)</sup>, o critério principal do projeto estrutural de uma máquina desse tipo é minimizar o peso e maximizar a rigidez, apesar de usar vigas e chapas de aço como material para a construção da estrutura básica. Ele ainda descreve três regras práticas para serem seguidas nesse tipo de projeto. A primeira regra diz respeito ao afastamento máximo possível da massa principal da máquina, do seu centro de massa. Isso cria um efeito que maximiza a razão rigidez-massa. A segunda regra diz respeito ao balanceamento da rigidez entre os elementos estruturais para não haver desequilíbrio. A terceira regra diz respeito à combinação da rigidez de todos os elementos estruturais, de modo a satisfazer as exigências de projeto.

Baseando-se nesses critérios, a máquina foi construída com perfil estrutural em “L” de abas iguais (cantoneiras) e chapas de aço. A estrutura da máquina é constituída basicamente de quatro partes distintas: mesa, pórtico, carro e braço além dos mancais de rolamento linear. A figura 2 mostra uma perspectiva da máquina, onde ainda pode ser vista a estrutura de sustentação dos sensores com os cabos de conexão para o sistema de medição.

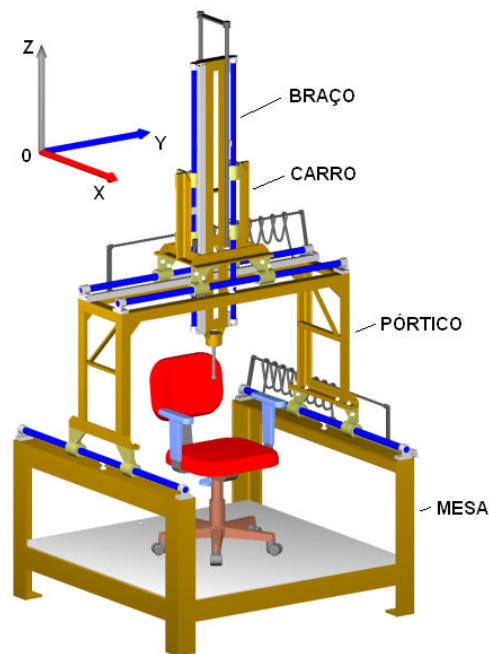


Figura 2. Estrutura da máquina para medição de cadeiras.

### 3.1. Mesa

A mesa é a base da máquina e foi construída com cantoneiras de 4" (100mm) e soldadas para formar a estrutura. Depois ela foi fixada no chão com quatro parafusos especiais. Na figura 3 podem-se ver alguns detalhes construtivos da mesa.

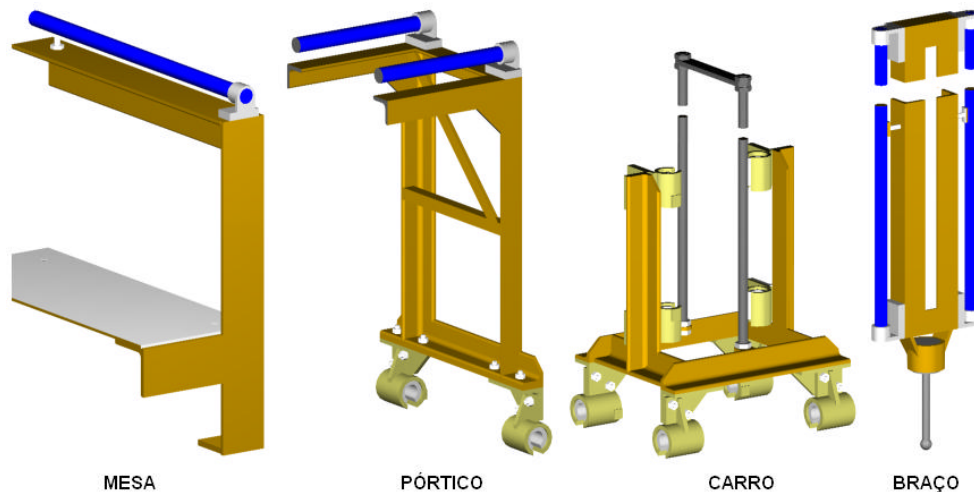


Figura 3. Detalhes construtivos da máquina.

No apoio do piso foram colocadas mais duas cantoneiras cruzadas como reforço. O piso foi construído em chapa de aço de ¼" (6,30mm) para suportar a carga máxima na medição sem sofrer flexão. Na parte superior da mesa foram colocados dois eixos na direção X para formar as guias de deslocamento do pórtico. Cada eixo foi posicionado por meio de dois suportes colocados em suas extremidades e por um apoio central para evitar riscos de flexão. A figura 4 mostra um desenho desse suporte, o qual permite regular cada extremidade do eixo em duas direções perpendiculares a sua linha de centro.

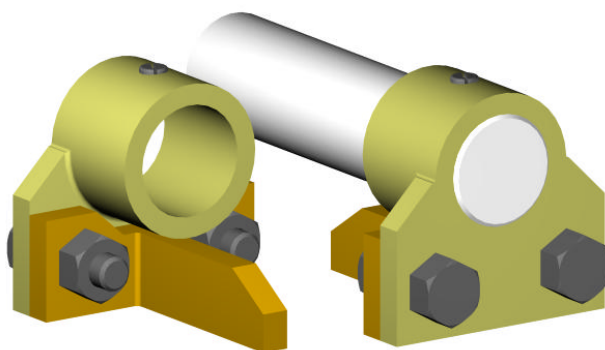


Figura 4. Suporte para fixação do eixo.

### 3.2. Pórtico

O pórtico foi construído com cantoneiras de 2" (50mm) e soldadas para formar a estrutura. Na figura 3 podem-se ver alguns detalhes construtivos do pórtico. Na parte inferior da estrutura, de cada lado, foram fixados os mancais de rolamento linear que deslizam sobre as guias na direção X. Eles foram aparafusados na estrutura de modo a permitir ajustes posteriores, se necessários. Na parte superior do pórtico foram colocados dois eixos na direção Y para formar as guias de deslocamento do carro. Cada eixo foi posicionado por meio de dois suportes iguais ao da figura 4 e por um apoio central para evitar riscos de flexão.

### 3.3. Carro

O carro foi construído com cantoneiras de 2" (50mm) e soldadas para formar a estrutura. Na figura 3 podem-se ver alguns detalhes construtivos do carro. Na parte inferior da estrutura, de cada lado, foram fixados os mancais de rolamento linear que deslizam sobre as guias na direção Y. Eles foram aparafusados na estrutura de modo a permitir ajustes posteriores, se necessários. Na parte central foram fixados os mancais de rolamento linear para o deslocamento das guias do braço na direção Z. Ainda na base do carro, foram colocadas duas barras verticais para sustentar o mecanismo de regulagem do movimento do braço. Esses mecanismo é simplesmente um sistema de roldanas que sustenta um contra peso para equilibrar o braço.

### 3.4. Braço

O braço foi construído com cantoneiras de 2" (50mm) e soldadas para formar a estrutura. Na figura 3 podem-se ver alguns detalhes construtivos do braço. Nas laterais da estrutura foram colocados dois eixos na direção Z para formar as guias de deslocamento do braço. Cada eixo foi posicionado por meio de dois suportes iguais ao da figura 4 e por dois apoios intermediários para evitar riscos de flexão. Na parte inferior da estrutura foi fixada a sonda da máquina, com apalpador esférico por meio de um suporte próprio.

### 3.5. Mancal de Rolamento Linear

Para deslocar as partes móveis da máquina, foi desenhado e construído um mancal cujo elemento de deslizamento é um rolamento linear aberto. Quatro desses mancais, juntamente com dois eixos, formam as guias de deslocamento. A figura 5 mostra um dos mancais usado para movimentar o pórtico sobre a mesa. O rolamento linear aberto é fixado na parte interna do mancal. As duas partes desse mancal são aparafusadas uma na outra e juntas permitem a

regulagem nas três direções de deslocamento.

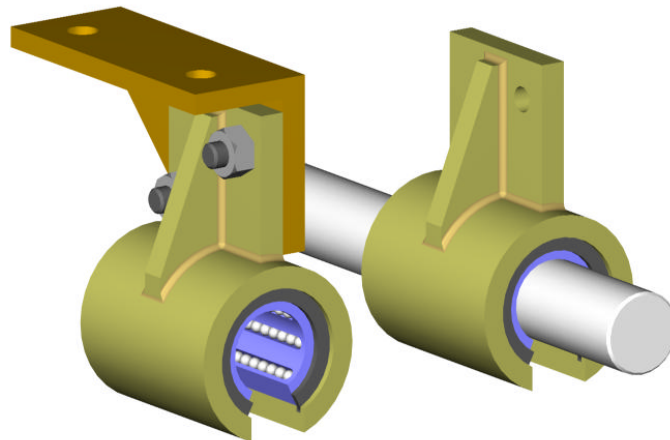


Figura 5 - Mancal de rolamento linear

#### 4. SISTEMA DE MEDIÇÃO

O sistema de medição desenvolvido está em conformidade com a parte mecânica da máquina de medir. Ele é composto por três transdutores de posição, cada um acoplado em um dos eixos da máquina. O sinal dos três transdutores é enviado para tratamento em uma interface de dados e daí para um microcomputador, figura 6.

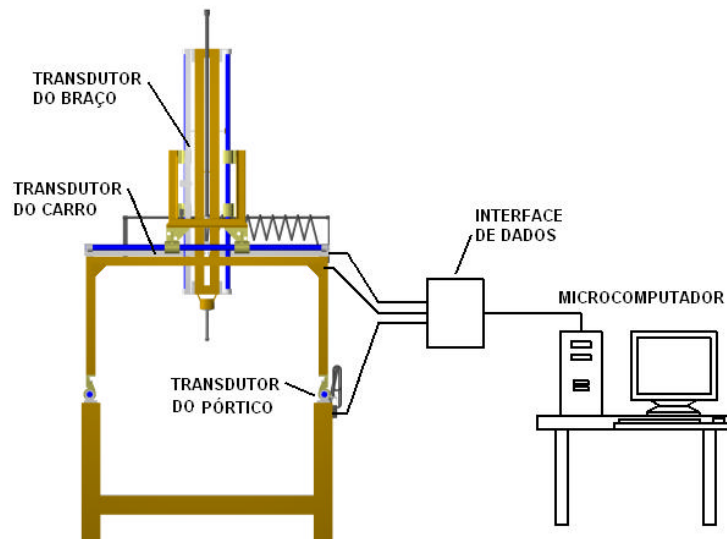


Figura 6. Sistema de medição da máquina.

##### 4.1. Transdutor de Posição

O transdutor de posição usado no sistema de medição da máquina é constituído por um encoder linear de impressora e suas especificações básicas são as seguintes:

Faixa de medição	1200 mm
Resolução	50 pulsos por milímetros
Repetibilidade	0,02% da medição
Cabo de medição	fita em aço, nylon revestido ou termoplástico.
Sensor	encoder óptico.

A figura 7 mostra um esquema desse transdutor. Ao longo do cabo de medição existem aberturas regularmente espaçadas de modo que a largura de uma abertura é igual ao espaçamento entre duas delas. Do lado esquerdo da figura 7 está mostrado o sensor ou o encoder óptico formado por dois pares de diodos, cada par com um diodo foto emissor e um diodo foto receptor.

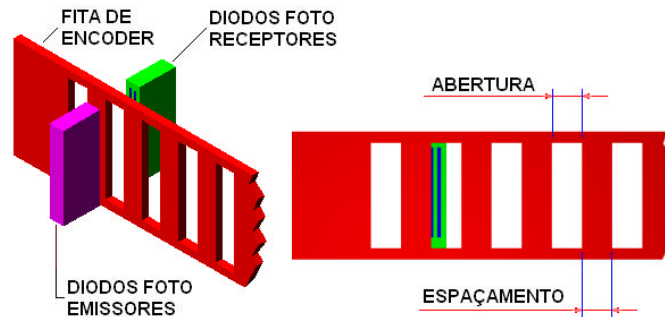


Figura 7. Esquema de funcionamento do encoder linear.

Os diodos foto emissores ficam constantemente ligados e funcionam para excitar os diodos foto receptores. Movimentando o cabo de medição entre um dos pares de diodo, nas aberturas haverá excitação do diodo receptor pelo diodo foto emissor e nos espaçamentos não haverá excitação. Ou seja, na presença de luz o diodo foto emissor conduz eletricidade, tendo o seu princípio de funcionamento semelhante ao de um interruptor, só que neste caso, a sensibilidade da luz fecha o circuito. Assim, é possível detectar os intervalos de deslocamentos e com isso, o movimento relativo entre o cabo de medição e o sensor.

O princípio de detecção de deslocamento bidirecional é feito através do método chamado de quadratura. Neste método é necessário que o espaçamento entre os dois diodos foto receptores seja menor que um quarto da abertura do cabo de medição. Isso pode ser visto do lado direito do esquema da figura 7. Devido à proximidade entre os dois diodos receptores quando ocorrer à mudança de estado em relação à passagem ou não de luz de um dos dois diodos, pode-se saber o sentido de deslocamento em relação ao cabo de medição.

Cada transdutor foi posicionado em uma direção de deslocamento da máquina, em um dos eixos guia. O cabo de medição foi estendido e fixado paralelamente ao eixo e o sensor foi fixado entre os dois mancais de rolamento desse eixo.

#### 4.2. Interface de Dados

A interface de dados faz o tratamento de sinais recebidos dos diodos receptores dos três sensores. Os sinais gerados pelos diodos podem ser de baixa amplitude, podendo acarretar erro. Para solucionar esse problema o sinal é passado através de uma inversora com “Schmitt Trigger“, a qual é uma porta inversora que mantém sinal alto se detectado até um certo nível de tensão para baixo e mantém zero se detectado de um nível de tensão para cima, retificando o sinal.

Cada direção de deslocamento da máquina de medir tem dois pares de diodos emissor-receptor que geram duas interrupções por vez. Isso totaliza seis interrupções para as três direções de deslocamento. Para tratar todas as interrupções, optou-se por usar uma controladora de interrupção que indica na porta de saída a interrupção ocorrida nas portas de entradas e em qual delas ocorreu. Além disso, ela tem a capacidade de “bufferização” (armazenamento em memória) fazendo com que não haja perda de dados. Os dados então são enviados para o microcomputador usando o padrão de interface RS-232 que é através da porta serial.

## 5. AJUSTE DOS EIXOS GUIAS

O correto desempenho da máquina para medição de cadeiras requer que os eixos que formam as guias de deslocamento estejam lineares, paralelos e ortogonais entre si. Na prática isso não acontece. O deslocamento das partes móveis sobre as guias nunca é unidirecional. Para Bosch<sup>(3)</sup>, cada parte móvel de uma Máquina de Medir por Coordenadas consiste de corpos rígidos com seis graus de liberdade com três erros de translação: um de posição e dois de retitude e três erros de rotação: *pitch*, *yaw* e *roll*, respectivamente inclinação, guinamento e rolamento. Como a máquina possui três partes móveis (pórtico, carro e braço) no total são dezoito erros geométricos. Esses erros são classificados pela ASME – B89<sup>(4)</sup> para Máquinas de Medir por Coordenadas como erros paramétricos. Esta norma apresenta ainda mais três erros não-paramétricos, que são os erros de perpendicularidade entre eixos.

Na máquina desenvolvida neste trabalho, os eixos guias foram montados em suportes que permitem regulagem. Para ajustar o paralelismo e a perpendicularidade entre eles optou-se por estabelecer planos de referência, materializados por uma mesa de desempenho, duas régua e dois esquadros padrão. A medição dos valores requeridos para os ajustes foi obtida por dois medidores de deslocamento com apalpadores indutivos.

### 5.1. Ajuste de Paralelismo

O ajuste do paralelismo entre dois eixos guias foi obtido indiretamente, tomando como referência os planos formados pela mesa de desempenho e por uma régua colocada sobre ela. Para exemplificar, a figura 8 mostra o arranjo usado para ajustar o paralelismo entre os eixos guias da mesa da máquina. Nesse caso, foram utilizadas duas régua paralelas entre si para estabelecer os planos de referência e posicionar o suporte de fixação dos apalpadores indutivos. Esses apalpadores, com sensores planos foram posicionados diametralmente sobre o eixo, um na direção horizontal e o outro na direção vertical, como pode ser visto na parte inferior da figura 8. Nota-se nessa figura, a condição de deslocamento do suporte ao longo dos planos de apoio para o ajuste de um dos eixos longitudinal. Esse ajuste foi obtido através dos suportes mostrados na figura 4, colocados nas extremidades do eixo. Para o ajuste do outro eixo, o suporte dos apalpadores foi posicionado na outra escala.

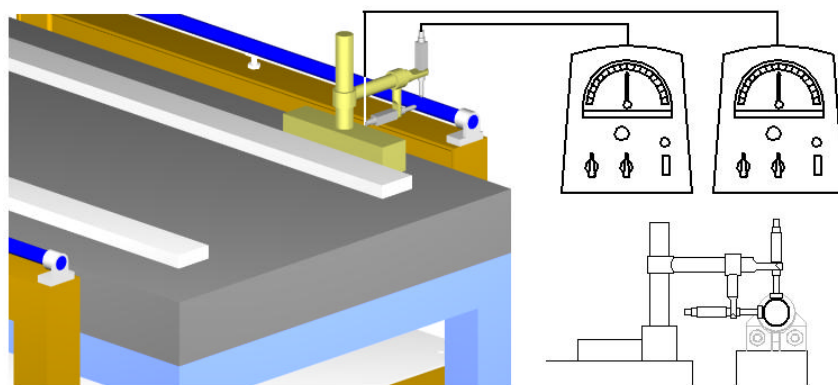


Figura 8. Ajuste do paralelismo entre os eixos guias da mesa.

O procedimento para ajustar o paralelismo entre os eixos guias do pórtico e entre os eixos guias do braço foi o mesmo seguido anteriormente. A diferença é que tanto o pórtico quanto o braço foram apoiados sobre a mesa de desempenho.



## 5.2. Ajuste de Perpendicularidade

O ajuste da perpendicularidade entre os eixos guias da mesa e do pórtico também foi obtido indiretamente, tomando como referência os planos formados pela mesa de desempenho e pelas régua e esquadros colocados sobre ela. A figura 9 mostra o arranjo usado para esse ajuste.

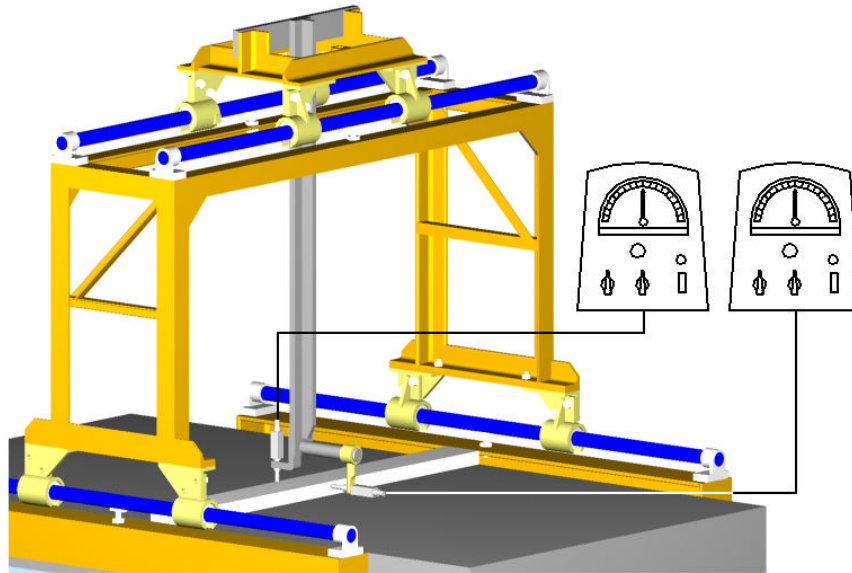


Figura 9. Ajuste da perpendicularidade entre os eixos guias da mesa e do pórtico

O pórtico foi montado sobre os seus suportes e travado em uma posição para evitar deslocamento. O carro foi montado sobre os seus suportes, permitindo o deslocamento ao longo dos eixos guias. Os apalpadores indutivos foram fixados em um suporte especial, preso na parte inferior do carro e tendo como referência os planos formados pela mesa de desempenho e por uma régua colocada sobre ela. Como visto na figura 9, o deslocamento do suporte ao longo desses planos permitiu fazer o ajuste entre os pares de eixos guias.

Para o ajuste da perpendicularidade entre eixos guias do pórtico e do braço, foram posicionados sobre a mesa de desempenho dois esquadros formando dois planos verticais de referência. O pórtico e o carro foram travados em uma posição para evitar seus deslocamentos. Os apalpadores indutivos foram fixados em um suporte especial, preso na parte inferior do braço e tendo como apoio os planos formados pelos dois esquadros.

Os ajustes de paralelismo e de perpendicularidade foram realizados deslocando os apalpadores dos medidores indutivos apoiados nos planos de referencia. Na indicação desses medidores foi utilizada uma divisão de escala igual a  $5\ \mu\text{m}$ , com leitura estimada de  $2,5\ \mu\text{m}$ . Esses valores foram mantidos quando da execução dos ajustes, em todas as leituras feitas nos indicadores dos medidores indutivos. A mesa de desempenho, as régua e os esquadros apresentaram um erro igual a  $4\ \mu\text{m}$ . No caso da retitude dos eixos, os fornecedores especificaram um erro de  $0,02/500\text{mm}$ , o qual foi posteriormente comprovado.

## 6. CONCLUSÕES

A construção da estrutura em perfis estruturais em “L” de abas iguais (cantoneiras), mostrou ser indicado para atender aos requisitos de rigidez e resistência.

Foram feitos ajustes de paralelismo e perpendicularidade dos eixos guias da máquina e o erro máximo pode ser atribuída à linearidade dos eixos, que apresenta um erro de retitude igual a  $0,02/500\text{mm}$ . Contudo, há de se levar em conta que a máquina desenvolvida deve

fazer medições em móveis de acordo com tolerâncias normalizadas que são aproximadamente 100 vezes maiores do que o erro indicado acima.

A avaliação do desempenho da máquina será realizada na seqüência. A máquina desenvolvida é adequada para a realização de medições em outros tipos de móveis de escritório e afins.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Laboratório de Ensaio em Móveis (**LabMov**) e o apoio técnico dado pela sua equipe.

## 8. REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13962**. Rio de Janeiro, 2002. 30p.
- [2] SLOCUM, Alexander H. **Precision Machine Design**. 1.ed. Prentice Hall, Inc., 1992. 750p.
- [3] BOSCH, John A. **Coordinate Measuring Machines Systems**. New York, Marcel Dekker, Inc, 1995. 445p.
- [4] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ANSI/ASME B89.4.1** Methods for performance evaluation of coordinate measuring Machines, 1997.

## DEVELOPMENT OF A MACHINE TO MEASURE OFFICE CHAIRS

**Abstract.** *As a way to attend the requirements of ABNT NBR 13962:2002 standard, the Laboratório de Ensaio de Móveis of Universidade de Brasília is developing a measurement procedure to inspect office chairs. The complexity of these requirements makes interesting that proposed methodology be independent of the technician's abilities. Thereby, the proposed procedure involves the design and construction of a low cost coordinate measurement machine. The developed machine has three perpendicular displacement axes with linear encoders, establishing a three dimensional Cartesian coordinate system. The contact probe is a rigid type positioned in a moving bridge. The bearing system was built with two cylindrical parallel bars in each axis with four linear bearings. The measurement system in each axis detects the displacement and the indication is recorded on a computer. Developed software carry out the calculation of the dimensions of the chair under inspection.*

**Keywords.** *office chair test, Coordinate Measuring Machine, product quality.*