



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA
Núcleo de Qualidade Metrológica

Proc. 1104/11/17804

PROCEDIMENTO DE ENSAIO METROLÓGICO DE PÊNDULOS BRITÂNICOS (MEDIDORES DE FRICÇÃO)

Estudo realizado no âmbito do Projecto
de Investigação "Desenvolvimento da Qualidade
Metrológica de Instrumentação Científica Aplicada
em Engenharia Civil"

Lisboa • Setembro de 2011

I&D INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO 292/2011 – NQM

Procedimento de Ensaio Metrológico de Pêndulos Britânicos (Medidores de Fricção)

Resumo

O presente relatório apresenta um procedimento de ensaio metrológico de pêndulos britânicos (medidores de fricção) desenvolvido no Centro de Instrumentação Científica do LNEC e realizado no Laboratório Central de Apoio Metrológico (LCAM/LNEC).

Metrological Testing Procedure of Skid Resistance & Friction Testers

Abstract

This report presents a metrological testing procedure for skid resistance & friction testers developed at LNEC's Scientific Instrumentation Centre and performed at the Central Laboratory for Metrological Support (LCAM/LNEC).

Procédure d'Essai Métrologique des Pendules de Frottement

Résumé

Ce rapport présente une procédure pour l'essai métrologique des pendules de frottement développée au Centre d'Instrumentation Scientifique du LNEC et réalisée au Laboratoire Central de Soutien Métrologique (LCAM/LNEC).

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. CONTEÚDO DO RELATÓRIO	3
Anexo 1 Procedimento de Ensaio Metrológico de Pêndulos Britânicos (Medidores de Fricção)	5

PROCEDIMENTO DE ENSAIO METROLÓGICO DE PÊNDULOS BRITÂNICOS (MEDIDORES DE FRICÇÃO)

1 INTRODUÇÃO

No âmbito do processo “Desenvolvimento da Qualidade Metrológica de Instrumentação Científica Aplicada em Engenharia Civil”, o Núcleo de Qualidade Metrológica (NQM) do Centro de Instrumentação Científica tem promovido, entre outros estudos, a elaboração de procedimentos aplicáveis à calibração de instrumentos de medição e ao ensaio metrológico de equipamentos laboratoriais.

Esta actividade foi inicialmente orientada para a satisfação das necessidades do Laboratório Central de Apoio Metrológico (LCAM/LNEC), inserido no NQM, dos laboratórios de ensaio acreditados do LNEC e, ainda, de clientes externos ao LNEC. No entanto, a vocação natural de serviço transversal do NQM tem conduzido a uma crescente solicitação deste tipo de actividade por parte de outros sectores do LNEC, bem como de entidades externas, que desenvolvem acções fora do ambiente laboratorial comum, nomeadamente, realizando a medição e monitorização de grandezas em ambiente industrial e em ensaios de campo.

No caso de solicitações de entidades externas com actividade no âmbito da engenharia civil, sempre que se verifica que o LCAM/LNEC dispõe de meios para promover novas actividades e que não existe, no mercado nacional, oferta de serviços para esse efeito, procura-se desenvolver soluções que permitam, por um lado, dar resposta a essas necessidades e, por outro lado, potenciar a rentabilidade dos recursos do LCAM/LNEC.

Estas circunstâncias verificaram-se no presente caso, onde sucessivas solicitações ao LNEC visando o ensaio metrológico de pêndulos britânicos (medidores de fricção) utilizados em ensaios de pavimentos e a ausência de ofertas alternativas para este efeito no mercado português, levaram o NQM a analisar a adequação dos meios de que dispunha e após concretizar a aquisição do equipamento de calibração específico proceder ao desenvolvimento de um procedimento para este tipo de ensaio. Contribui-se, assim, para a resolução de uma dificuldade sentida por diversas entidades da sociedade civil que no desenvolvimento da sua acção necessitam de efectuar ensaios de pavimentos (por exemplo, em vias rodoviárias ou aeroportuárias). Com este novo passo, o LNEC prossegue a sua

missão de contribuir para o processo de garantia da qualidade das medições efectuadas no contexto nacional.

Os procedimentos de calibração e ensaio metrológico desenvolvidos no NQM são, regra geral, baseados em normas portuguesas ou, na ausência destas, em normas estrangeiras ou internacionais. No presente caso foi tomada como norma de referência a EN 1097-8:2009 (*Test for mechanical and physical properties of aggregates – Part 8: Determination of the polished stone value*), contendo um anexo (D) dedicado à calibração¹ de medidores de fricção. Neste contexto, é efectuada a caracterização metrológica, considerada crítica para assegurar o bom desempenho instrumental, a identificação dos padrões de referência adequados, a selecção dos métodos de ensaio metrológico aplicáveis e das etapas do procedimento de ensaio.

Num contexto mais amplo refira-se que o procedimento que é objecto do presente relatório faz parte do acervo de mais de 60 procedimentos de calibração e de ensaio metrológico desenvolvidos pelo NQM, os quais contêm indicações pormenorizadas dos diferentes aspectos que suportam os serviços prestados pelo LCAM constituindo uma parte importante do Sistema de Gestão (da Qualidade) deste laboratório, que se encontra acreditado desde 1994.

A publicação deste tipo de documentos resulta da necessidade de consolidação e disseminação de conhecimento associado à introdução de novos procedimentos, situação que ocorre neste caso, bem como, da necessidade de introdução de revisões periódicas dos documentos, ditada quer pela evolução dos processos operativos quer pela adopção de requisitos mais exigentes. Esta iniciativa serve também para divulgar informação relevante e actualizada, ainda que de uma forma reservada, aos clientes do LCAM/LNEC, que assim poderão interpretar melhor os resultados das calibrações ou dos ensaios metrológicos realizados.

¹ No contexto do NQM entendida como “ensaio metrológico”, uma vez que se trata de caracterizar o equipamento em causa relativamente a um conjunto de características físicas, não avaliando directamente o nível de exactidão da sua escala de medição.

2 CONTEÚDO DO RELATÓRIO

No presente relatório é divulgado, em Anexo, o Procedimento E0208 designado por “Procedimento de Ensaio Metrológico de Pêndulos Britânicos (Medidores de Fricção)”, o qual foi elaborado com base num método de ensaio suportado na norma de referência EN 1097-8:2009 com o objectivo de efectuar a avaliação de um conjunto de requisitos metrológicos que pretendem assegurar a qualidade das medições neste tipo de equipamento.

O procedimento de ensaio metrológico de pêndulos britânicos (medidores de fricção) é constituído por um conjunto de secções incluindo:

- as operações preparatórias que devem anteceder a realização dos ensaios de avaliação das diversas grandezas mensuráveis;
- o procedimento de ensaio metrológico visando a avaliação do cumprimento dos diversos requisitos normativos associados às grandezas mensuráveis objecto de avaliação, designadamente, efectuando a comparação dos valores obtidos com as tolerâncias especificadas na referida norma de referência;
- a avaliação das incertezas de medição em cada item de ensaio tendo em conta as contribuições associadas ao padrão, ao equipamento a ensaiar, ao método utilizado e à influência do operador;
- e o conteúdo informativo do certificado de ensaio metrológico.

A concretização destes ensaios é efectuada nas instalações do LCAM/LNEC com recurso a padrões de referência deste laboratório, rastreados aos padrões primários das respectivas grandezas, assegurando o cumprimento de requisitos normativos aplicáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam o seu reconhecimento ao Conselho Directivo do LNEC e ao Director do Centro de Instrumentação Científica pelo seu empenho na concretização do projecto de desenvolvimento desta nova linha de actividade do NQM.

Salienta-se, também, o apoio prestado pelo Núcleo de Sistemas Mecânicos (NSM/CIC) na concretização de um conjunto de pesos padrão não-classificados essenciais para a realização deste tipo de ensaios metrológicos.

LNEC, Lisboa, Setembro de 2011

VISTOS

O Director do CIC,



Carlos Oliveira Costa

AUTORIA



Álvaro Silva Ribeiro

Lic.º em Física Tecnológica, Doutor
Investigador Auxiliar, Chefe do NQM



Luís Filipe Lages Martins

Lic.º em Engenharia Mecânica
Bolsheiro de Doutoramento

ANEXO 1

Procedimento de Ensaio Metrológico de Pêndulos Britânicos (Medidores de Fricção)



Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Centro de Instrumentação Científica
Laboratório Central de Apoio Metrológico



PROCEDIMENTO E0208 (versão 1)

Pêndulos Britânicos (medidores de fricção)

INDICE

1 – ÂMBITO E EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA.....	3
2 - PRINCÍPIOS DE MEDIÇÃO.....	5
3 - MÉTODOS DE ENSAIO.....	6
4 - PROCEDIMENTO DE ENSAIO METROLÓGICO.....	7
4.1 - INTRODUÇÃO.....	7
4.2 - CAPACIDADE DO LCAM/LNEC PARA REALIZAR O ENSAIO METROLÓGICO DE PÊNDULOS BRITÂNICOS (MEDIDORES DE FRICÇÃO)	7
4.3 - PREPARAÇÃO DO ENSAIO.....	7
4.4 – INSPECÇÃO VISUAL	9
4.5 – ENSAIO METROLÓGICO	9
4.6 – DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO	22
4.7 – CERTIFICADO DE ENSAIO METROLÓGICO	23
5 – DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	23

1 – ÂMBITO E EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA

O Laboratório Central de Apoio Metrológico do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LCAM/LNEC) realiza o ensaio metrológico de pêndulos britânicos (medidores de fricção, idênticos ao apresentado na Figura 1), de forma a avaliar a sua conformidade relativamente aos requisitos metrológicos especificados na norma EN 1097-8:2009 [1], com excepção dos requisitos relativos ao patim e respectiva borracha¹.



Figura 1 – Pêndulo britânico (medidor de fricção).

Este documento descreve os princípios, os métodos e os procedimentos associados à medição das grandezas que caracterizam o equipamento de ensaio em causa e asseguram a sua adequação à utilização pretendida em ensaios de determinação do atrito de fricção em pavimentos rodoviários e aeroportuários.

As Figuras 2 e 3 ilustram os principais elementos constituintes deste equipamento de ensaio, bem como, a respectiva nomenclatura adoptada no presente documento.

¹ No caso do patim do pêndulo britânico (medidor de fricção), a norma de referência [1] menciona a verificação do ângulo do patim relativamente ao provete previamente à realização de cada ensaio (por exemplo, com recurso a um padrão angular). No caso da borracha do patim, os requisitos normativos dizem respeito à data de fabrico, resiliência e dureza que, regra geral, são avaliados pelo fabricante ou fornecedor deste componente do pêndulo britânico (medidor de fricção).

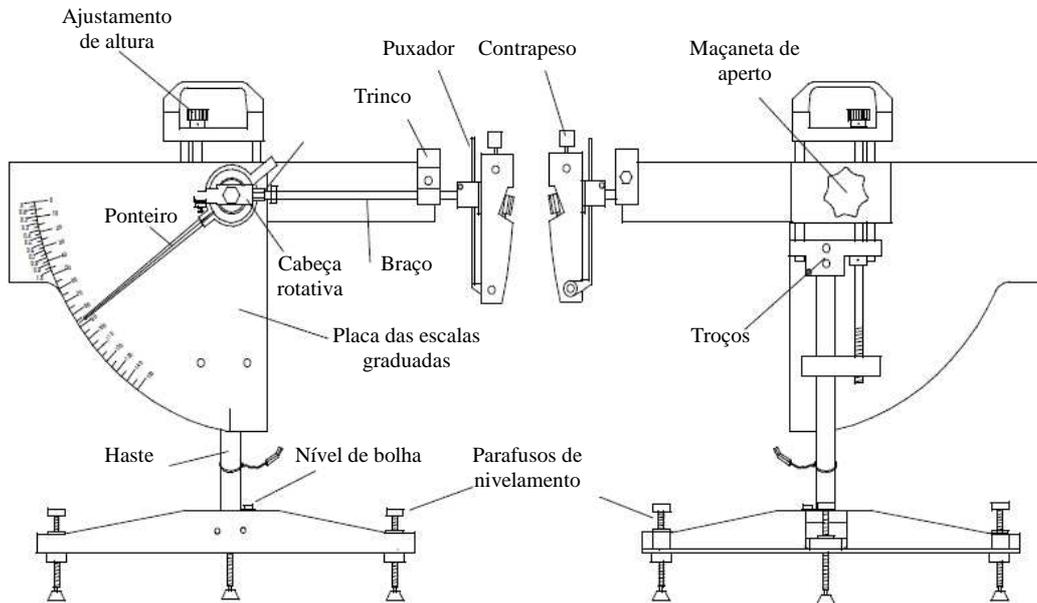
Pêndulos britânicos (medidores de fricção)

Figura 2 – Vista esquemática principal e posterior de um pêndulo britânico (medidor de fricção) genérico [2].

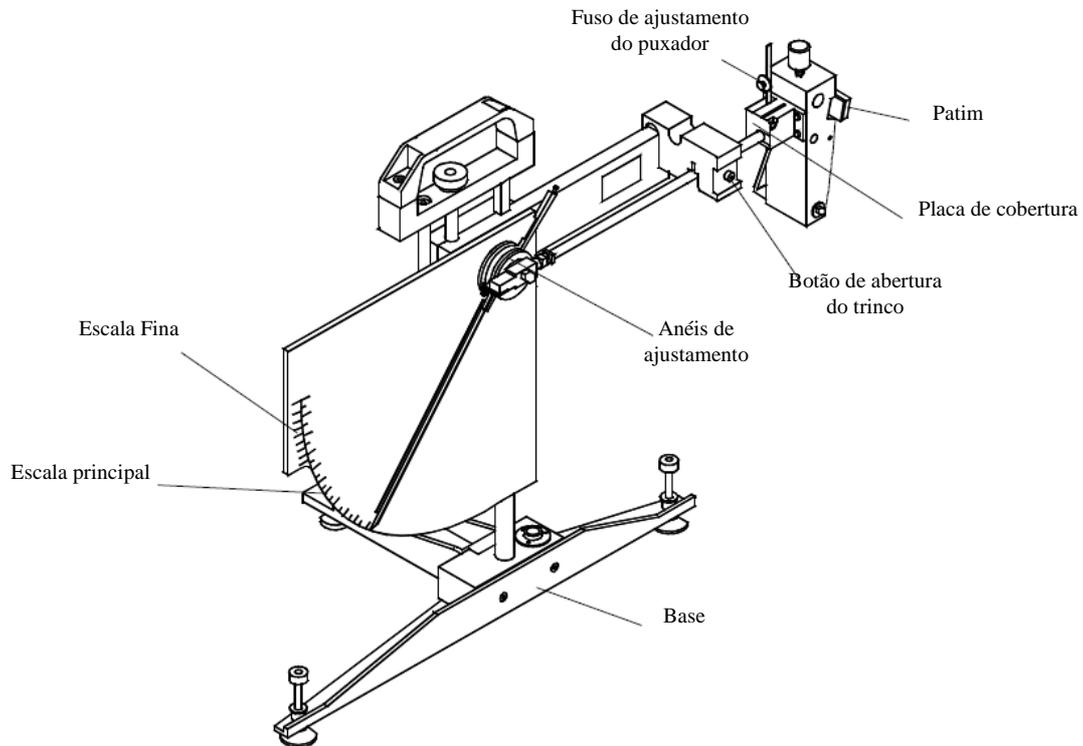


Figura 3 – Perspectiva esquemática genérica de um pêndulo britânico (medidor de fricção) [2].

Pêndulos britânicos (medidores de fricção)

Para realizar o referido ensaio metrológico, o LCAM/LNEC dispõe do seguinte equipamento de referência para medição das grandezas de interesse (rastreado aos respectivos padrões primários):

- grandeza massa:
 - *instrumentos de pesagem com alcance não inferior a 3 kg e resolução de 0,1 g, pelo menos;*
 - *conjunto de pesos não-classificados (integram a estrutura dedicada de ensaio com o n.º inf. 15.20);*
- grandezas comprimento e deslocamento:
 - *máquina de medição de coordenadas 3D por contacto (n.º inf. LNEC 203.01);*
 - *micrómetro analógico (integra a estrutura dedicada de ensaio com o n.º inf. 15.20);*
 - *paquímetros digitais.*

2 - PRINCÍPIOS DE MEDIÇÃO

No presente ensaio metrológico, a medição da grandeza massa associada a determinados elementos constituintes de pêndulos britânicos (medidores de fricção), é suportada na relação existente entre as grandezas físicas peso e aceleração gravítica local e no recurso a instrumento de pesagem.

No que respeita às grandezas de natureza dimensional (comprimento e deslocamento) ou geométrica (rectilismo e verticalidade), a sua medição baseia-se no recurso a um paquímetro e a uma máquina de medição de coordenadas tridimensionais ou outro padrão de referência dimensional apropriado e na materialização de grandezas em estrutura dedicada de ensaio.

A medição da grandeza força aplicada resulta do conhecimento da massa de pesos não-classificados suspensos sujeitos à aceleração gravítica local.

3 - MÉTODOS DE ENSAIO

O ensaio metrológico de pêndulos britânicos (medidores de fricção) engloba diferentes métodos de ensaio atendendo à natureza distinta das mensurandas de interesse que se pretendem quantificar:

- massa do ponteiro e do pêndulo – utilização de instrumento de pesagem sujeito a aceleração gravítica local;
- comprimento do ponteiro – determinação de coordenadas tridimensionais numa máquina de medição de coordenadas por contacto;
- rectilismo do ponteiro – comparação entre o rectilismo efectivo do ponteiro e a materialização de uma recta de referência na estrutura de ensaio dedicada;
- distância entre o centro de rotação e o centro de gravidade do pêndulo – determinação de coordenadas tridimensionais numa máquina de medição;
- deslocamento do patim – utilização de micrómetro instalado na estrutura de ensaio dedicada;
- relação carga/deslocamento da mola do patim – suspensão de pesos não-classificados com massa conhecida e medição do deslocamento obtido com recurso a um micrómetro instalado na estrutura de ensaio dedicada;
- ângulo do patim – medição do comprimento da borracha e da distância da extremidade mais elevada relativamente a superfície vertical usando um paquímetro, numa situação em que a outra extremidade se encontra em contacto com a referida superfície.

4 - PROCEDIMENTO DE ENSAIO METROLÓGICO

4.1 - Introdução

Apresenta-se, em seguida, o procedimento para ensaio metrológico de pêndulos britânicos (medidores de fricção), elaborado pelo LCAM/LNEC.

4.2 - Capacidade do LCAM/LNEC para realizar o ensaio metrológico de pêndulos britânicos (medidores de fricção)

Quando solicitado para efectuar o ensaio metrológico de pêndulos britânicos (medidores de fricção), o LCAM/LNEC avaliará a sua capacidade para efectuar esta operação tendo em conta as mensurandas envolvidas e os níveis de exactidão requeridos pela norma de referência aplicável [1].

4.3 - Preparação do ensaio

O ensaio metrológico de pêndulos britânicos (medidores de fricção) decorre em sala laboratorial condicionada com temperatura compreendida no intervalo $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ e humidade relativa $\leq 65\%$ hr.

A avaliação de um determinado conjunto de requisitos metrológicos recorre a uma estrutura dedicada de ensaio (*vide* Figura 4) montada numa superfície vertical da sala laboratorial, conforme ilustrado na Figura 5. Para a sua correcta utilização é necessário assegurar o alinhamento vertical e horizontal desta estrutura, em particular, o bloco de apoio e a viga de equilíbrio que a compõem, conforme ilustrado na Figura seguinte.

Pêndulos britânicos (medidores de fricção)

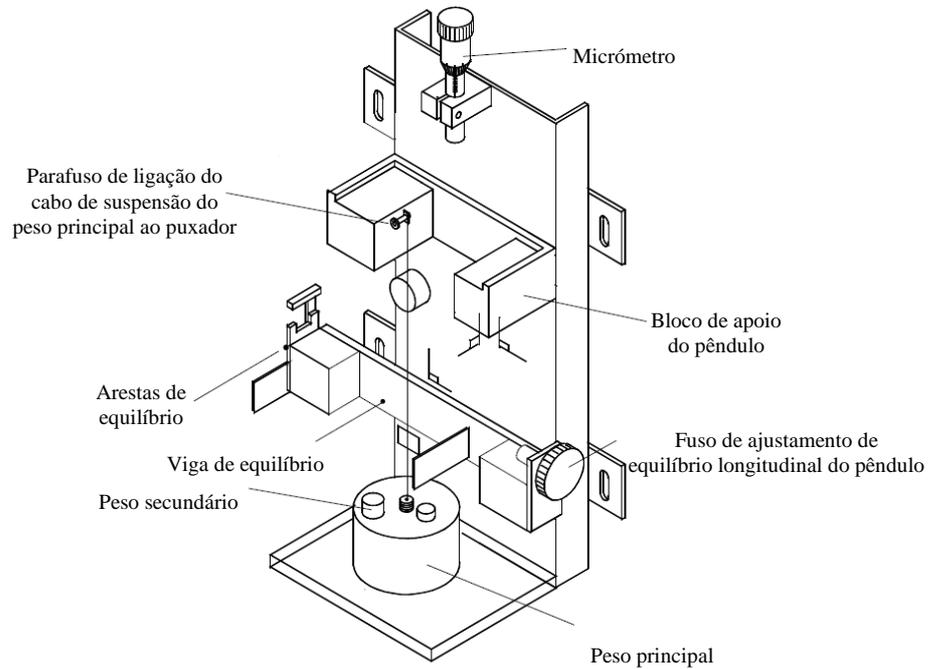


Figura 4 – Estrutura dedicada para o ensaio metrológico de pêndulos britânicos (medidores de fricção) [2].



Figura 5 – Estrutura dedicada para ensaio metrológico de pêndulos britânicos (medidores de fricção) instalada numa das salas de ensaio do LCAM/LNEC.

Pêndulos britânicos (medidores de fricção)

O ensaio do pêndulo associado ao pêndulo britânico (medidor de fricção) inclui a realização de um ensaio de carga da mola associada ao patim no qual a carga aplicada resulta da acção gravítica de um conjunto de pesos (não-classificados) suspensos a partir do puxador da referida mola. De modo a cumprir as indicações normativas [1] relativas a este ensaio de carga, é necessário dispor de um conjunto de pesos não-classificados onde se identificam dois tipos (*vide* Figura 6):

- peso principal ligado a um cabo de suspensão com um parafuso de ligação (ao patim) na outra extremidade;
- pesos secundários individuais com massa nominal de 20 g, que podem ser adicionados ou retirados ao peso principal e que permitem concretizar incrementos ou decréscimos de carga aplicada à mola do patim do pêndulo britânico (medidor de fricção).



Figura 6 – Peso principal e pesos secundários.

4.4 – Inspeção visual

Observar o pêndulo britânico (medidor de fricção) a ensaiar e anotar a existência de eventuais danos no equipamento, suas ligações e a ausência de algum dos seus elementos constituintes.

4.5 – Ensaio metrológico

O ensaio metrológico de pêndulos britânicos (medidores de fricção) consta de três partes enumeradas em seguida:

- A) ensaio do ponteiro, onde se inclui a determinação da sua massa, comprimento e rectilismo;
- B) ensaio do pêndulo, visando a determinação de massa, da distância entre o centro de rotação e o centro de gravidade e da relação carga/deslocamento;

Pêndulos britânicos (medidores de fricção)

C) ensaio do pêndulo britânico (medidor de fricção) após montagem de elementos constituintes ensaiados (ponteiro e pêndulo), no qual se promove o nivelamento do equipamento, o alinhamento da posição inicial do ponteiro e a determinação do ângulo do patim.

A – Ensaio do ponteiro do pêndulo britânico (medidor de fricção)

a. Remover o pêndulo e o ponteiro efectuando a remoção sequencial dos elementos constituintes mencionados na Figura 7. A sequência de remoção é apresentada na Figura 8;

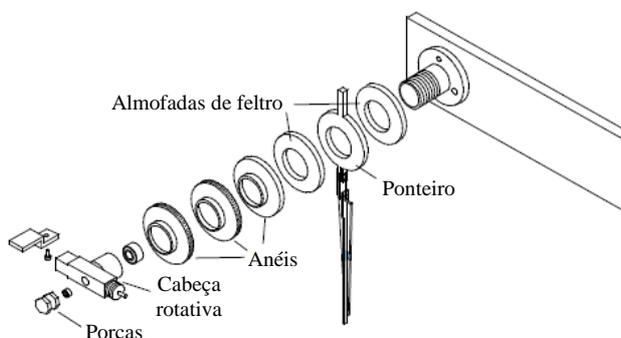


Figura 7 – Desmontagem do ponteiro e do pêndulo do pêndulo britânico (medidor de fricção) [2].



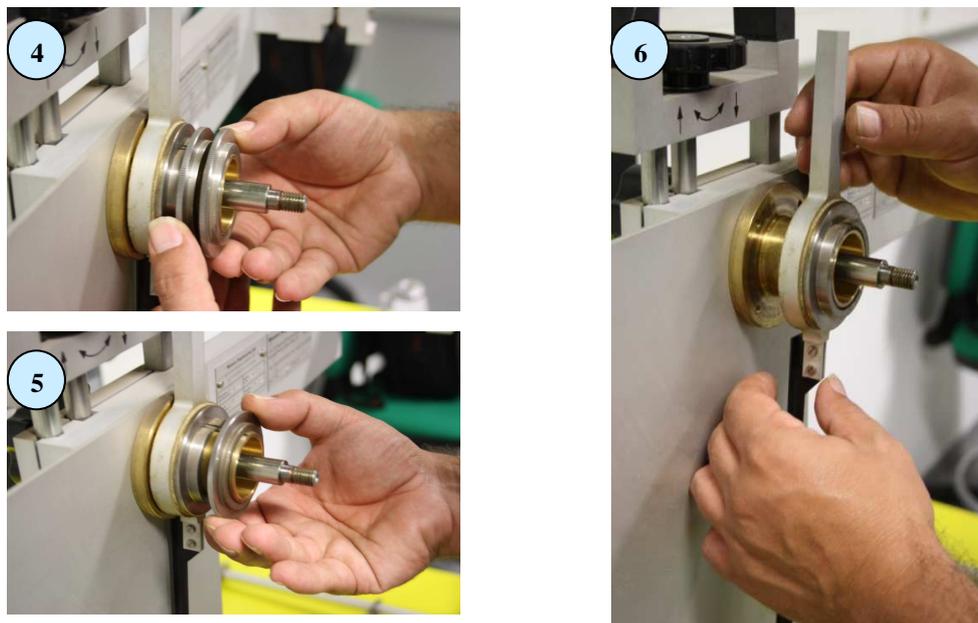


Figura 8 – Sequência de desmontagem do ponteiro e do pêndulo do pêndulo britânico (medidor de fricção).

- b. determinar a massa do ponteiro (após remoção das respectivas almofadas de feltro (vide Figura 9) com recurso a um instrumento de pesagem, conforme ilustrado na Figura 10 [Ensaio A1];



Figuras 9 e 10 – Remoção de almofadas de feltro (à esquerda) e determinação da massa do ponteiro em instrumento de pesagem (à direita).

- c. repetir quatro vezes a operação descrita em b. O valor obtido neste ensaio será considerado conforme caso seja inferior ou igual a 85 g;
- d. com recurso à máquina de medição de coordenadas tridimensionais por contacto, determinar o comprimento do ponteiro definido como a distância entre o centro de

Pêndulos britânicos (medidores de fricção)

rotação e a extremidade do ponteiro (representada na Figura 11) [Ensaio A2]. Para tal, determinar as coordenadas espaciais da extremidade do ponteiro (vide Figura 12) e do centro de rotação, neste último caso, efectuando a medição de coordenadas de 10 pontos igualmente distribuídos na superfície interna do anel de rotação do ponteiro (vide Figura 13);

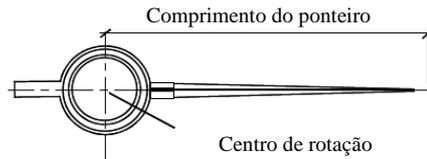
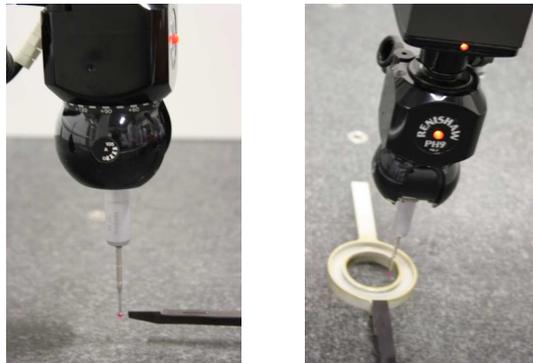
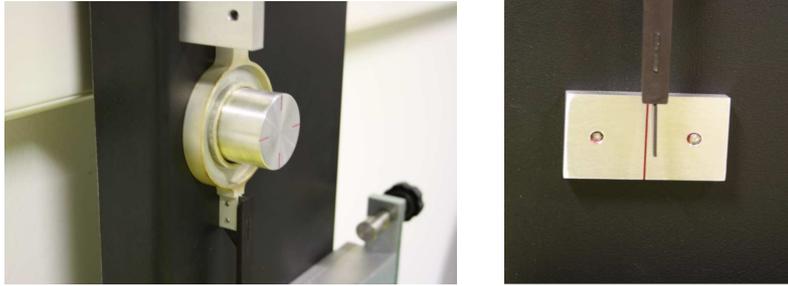


Figura 11 – Definição da mensuranda comprimento do ponteiro [2].



Figuras 12 e 13 – Medição dimensional por contacto na extremidade do ponteiro (à esquerda) e na superfície interna do anel de rotação (à direita).

- e. repetir duas vezes a operação descrita em d.;
- f. colocar o ponteiro na posição vertical no apoio na estrutura de ensaio existente para esse efeito (vide Figura 14) e observar o alinhamento da sua extremidade relativamente à marcação de verticalidade (vide Figura 15) [Ensaio A3]. Em caso de desalinhamento, determinar o desvio de rectilismo entre a extremidade do ponteiro e a marcação na estrutura de ensaio.
- g. repetir quatro vezes a operação descrita em f.

Pêndulos britânicos (medidores de fricção)

Figuras 14 e 15 – Posicionamento do ponteiro na estrutura de ensaio (à esquerda) e observação de desvio de retidão (à direita).

B – Ensaio do pêndulo do pêndulo britânico (medidor de fricção)

- a. Determinar a massa do pêndulo completo, m_p , (composto pelo braço, porca adaptadora, puxador e patim)² com recurso a um instrumento de pesagem (vide Figura 16) [**Ensaio B1**];
- b. repetir quatro vezes a operação descrita em a. e determinar o valor médio das cinco medições. O valor obtido neste ensaio será considerado conforme caso se encontre compreendido entre 1470 g e 1530 g;
- c. posicionar o pêndulo sobre as duas arestas de apoio da viga da estrutura de ensaio, assegurando que o puxador fique posicionado para baixo. Caso se observe um desequilíbrio em torno do eixo longitudinal, proceder ao ajustamento adequado do contrapeso do pêndulo (vide Figura 17) e registar esta ocorrência [**Registo 1**];



Figura 16 – Pesagem do pêndulo.

² Note-se que a cabeça rotativa não constitui um elemento integrante do pêndulo.

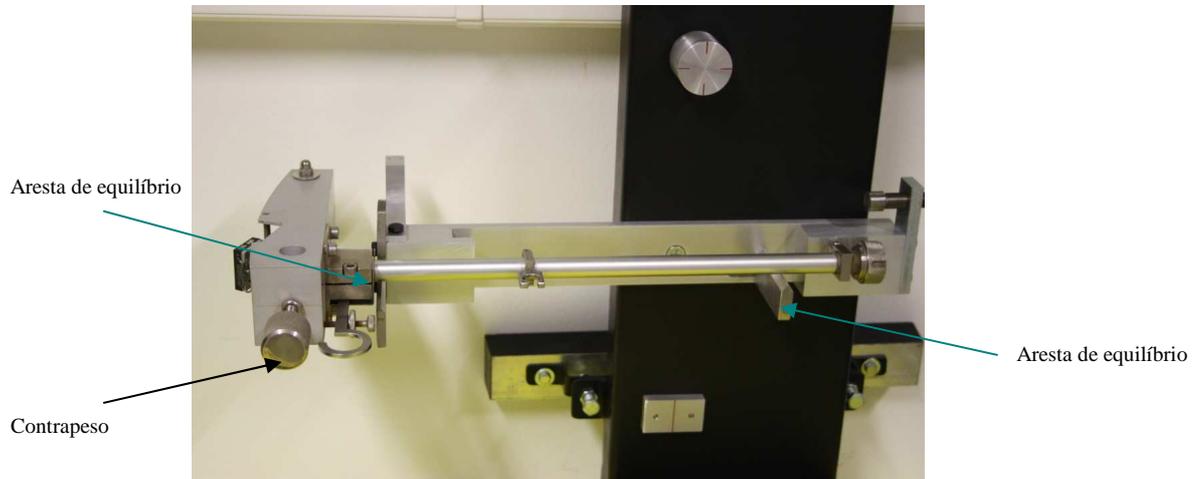


Figura 17 – Equilíbrio longitudinal do pêndulo na estrutura de ensaio.

- d. posicionar o pêndulo sobre a aresta de equilíbrio (vide Figura 18), assegurando que o puxador fique posicionado para baixo e que a porca adaptadora se encontra na sua posição de maior afastamento relativamente à base do pêndulo. Estabelecer equilíbrio em torno do seu eixo transversal mediante actuação do respectivo fuso de ajustamento e proceder à marcação do ponto de apoio do braço do pêndulo na aresta de equilíbrio, ou seja, o centro de gravidade do pêndulo (vide Figura 19);



Figura 18 – Determinação do centro de gravidade do pêndulo na estrutura de ensaio.

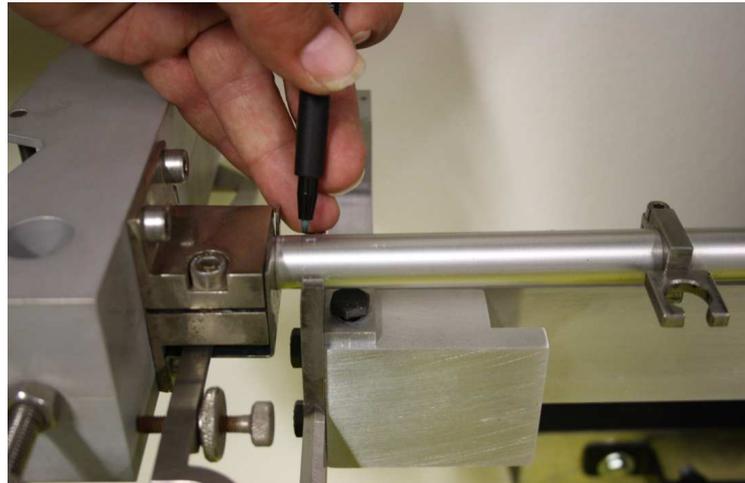


Figura 19 – Marcação do centro de gravidade no braço do pêndulo.

- e. proceder à montagem da cabeça rotativa no pêndulo e medir a distância d_p entre o centro de rotação na cabeça rotativa e o centro de gravidade do pêndulo marcado em c., recorrendo à máquina de medição de coordenadas 3D [Ensaio B2].*
- f. repetir duas vezes a operação descrita em e. e determinar o valor médio das três medições. O valor obtido neste ensaio será considerado conforme caso se encontre no intervalo compreendido entre 405 mm e 415 mm;*

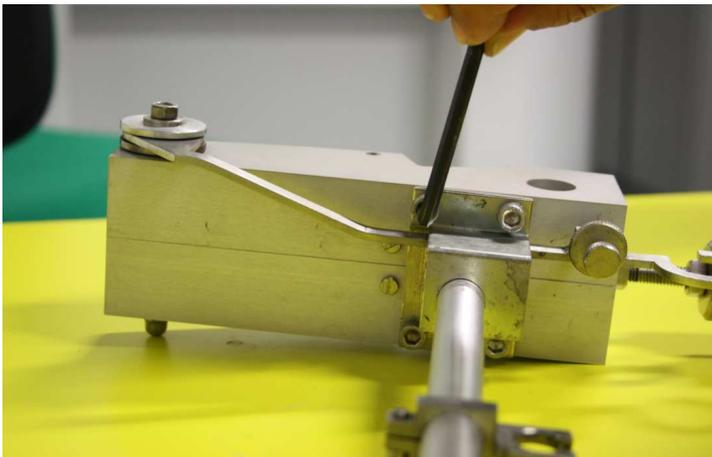


Figura 20 – Medição da distância entre o centro de rotação e o centro de gravidade do pêndulo.

Pêndulos britânicos (medidores de fricção)

g. com base nos valores obtidos nas alíneas a. e e., calcular o peso do conjunto, P , (composto pelo peso principal, pelo cabo de suspensão, pelo parafuso de ligação e pelos pesos secundários) a suspender do puxador patim [Registo 2]. A expressão de cálculo corresponde a $P = 22,2 \times \frac{m_p}{1500} \times \frac{d_p}{410}$ onde P é expresso em newton, m_p é expresso em grama e d_p é expresso em milímetro. O valor obtido deverá estar compreendido no intervalo 21,7 N a 22,7 N³;

h. remover a placa de cobertura do puxador (vide Figura 21) e a porca adaptadora do pêndulo. Posicionar o pêndulo, em posição invertida, na zona de apoio da estrutura dedicada para se efectuar o ensaio de carga da mola do patim, conforme ilustrado na Figura 22;



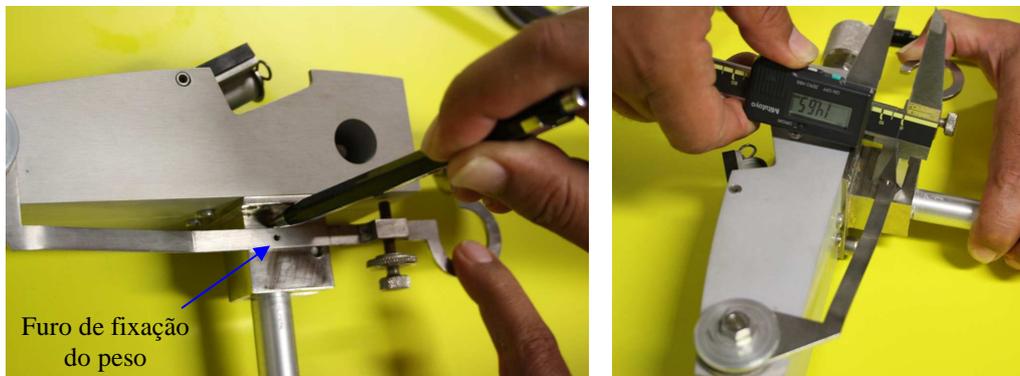
Figuras 21 e 22 – Remoção de placa de cobertura do puxador (à esquerda) e montagem do pêndulo em posição invertida na estrutura dedicada de ensaio (à direita).

i. marcar a posição da aresta superior do braço do puxador na proximidade do furo para ligação ao peso suspenso (ver Figura 23);

³ Tendo em conta a estimativa conhecida da aceleração gravítica local no LCAM/LNEC (9,800 7 m·s⁻²), o intervalo de tolerância acima mencionado corresponde, em termos de massa, ao intervalo 2 214 g a 2 316 g mencionado na norma de ensaio [1].

Pêndulos britânicos (medidores de fricção)

j. deslocar o puxador até à sua posição extrema oposta e medir a distância percorrida com recurso a um paquímetro (Figura 24) [Ensaio B3];



Figuras 23 e 24 – Marcação da posição da aresta superior do puxador (à esquerda) e medição da amplitude da abertura até à posição extrema de abertura do puxador (à direita).

k. repetir duas vezes a operação descrita em j. e determinar o valor médio das três medições. O valor obtido será considerado conforme se for superior a 6,5 mm;

l. deslocar o puxador 4,5 mm ou metade da distância determinada em g. (o que tiver menor amplitude), registar o valor indicado pelo micrómetro (com a haste em contacto com o patim) e marcar a respectiva posição [Ensaio B4];

m. repetir duas vezes a operação descrita em l. e determinar o valor médio das três medições;

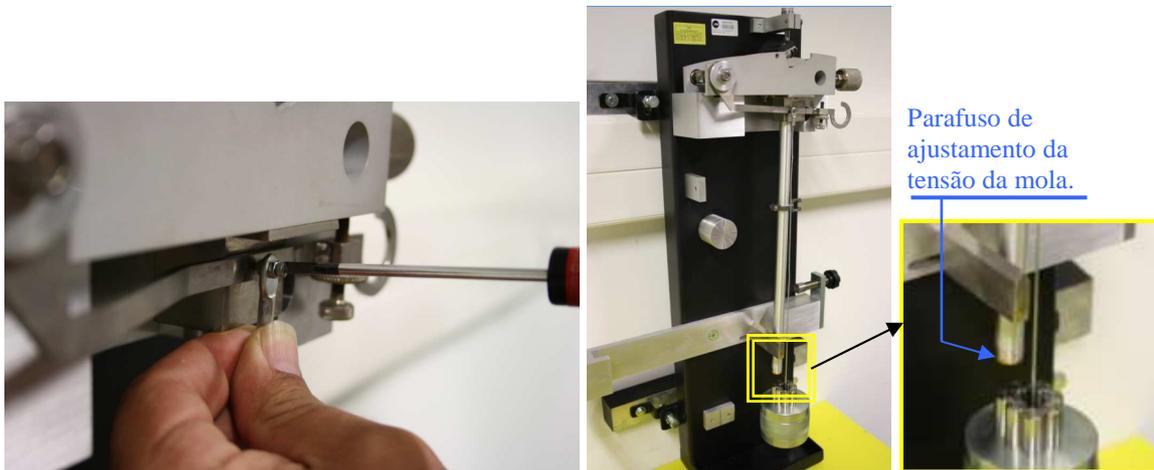
n. efectuar a pesagem do peso principal (Figura 25) [Ensaio B5];



Figuras 25 – Pesagem do peso principal.

Pêndulos britânicos (medidores de fricção)

- o. repetir quatro vezes a operação descrita em n. e determinar o valor médio das cinco medições;
- p. efectuar a ligação aparafusada do cabo do peso principal ao puxador do patim (vide Figura 26) e adicionar os pesos secundários necessários para alcançar de forma aproximada o peso determinado em e. (utilizar a tabela auxiliar dispondo dos valores convencionais dos pesos secundários). Verificar se o puxador se deslocou para a posição referida em l. Em caso negativo, ajustar a tensão da mola mediante actuação do parafuso de ajustamento no pêndulo (vide Figura 27) e registar esta ocorrência [Registo 3];



Figuras 26 e 27 – Ligação do cabo ao puxador do patim (à esquerda) e suspensão de peso principal e dos pesos secundários (à direita).

- q. remover sucessivamente os pesos secundários de forma a que o patim atinja uma posição ligeiramente abaixo da sua posição de repouso. Nesta posição, anotar a carga aplicada e a respectiva leitura do micrómetro (com a haste em contacto com o patim [Ensaio B6-1]);

Pêndulos britânicos (medidores de fricção)

- r. adicionar sucessivamente pesos secundários (com massa nominal individual de 20 g) ao peso principal até o patim atingir uma posição ligeiramente acima da posição oposta à posição de repouso e medir o respectivo deslocamento⁴ com o micrómetro (com a haste em contacto com o patim) [Ensaio B6-2];
- s. determinar a relação carga/deslocamento ($\tau = \frac{m \cdot g}{\Delta l}$) definida como o quociente entre a diferença de carga aplicada entre as posições superior e inferior do patim e o respectivo deslocamento;
- t. repetir quatro vezes as operações descritas de q. a s. e determinar o valor médio das cinco medições. O valor obtido neste ensaio será considerado conforme caso seja igual ou inferior a 0,2 N/mm;

EXEMPLO: Sendo a sobrecarga equivalente a
 $m = \sum m_{s,i} = (20,7 + 20,8 + 20,8 + 20,8) \text{ g} = 83,1 \text{ g}$,
 $g = 9,80 \text{ m/s}^2$, $\Delta l = 8,42 \text{ mm}$, a relação carga/deslocamento
corresponde a $\tau = \frac{m \cdot g}{\Delta l} \approx 0,097 \text{ N/mm} < 0,2 \text{ N/mm}$.

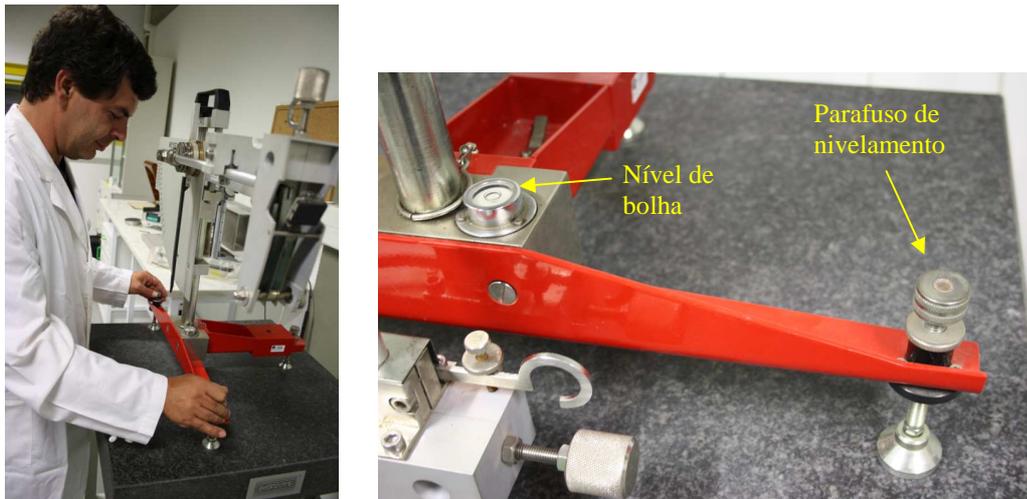
- u. deslocar o patim para a posição extrema oposta à sua posição de repouso e medir o respectivo deslocamento através do micrómetro que integra a estrutura de ensaio [Ensaio B7];
- v. repetir duas vezes a operação descrita em u. e determinar o valor médio das cinco medições. O valor obtido neste ensaio será considerado conforme caso seja igual ou superior a 11 mm.

⁴ A medição dos deslocamento deverá ser efectuada na direcção do eixo do braço que passa na proximidade do furo de fixação do cabo ao puxador do patim.

Pêndulos britânicos (medidores de fricção)

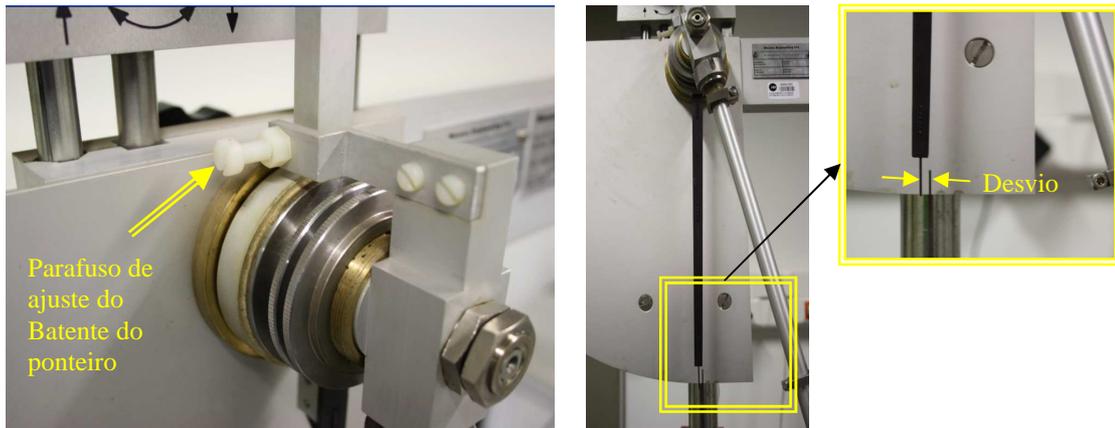
C – Ensaio do pêndulo britânico (medidor de fricção) após montagem dos elementos constituintes ensaiados

- a. Efectuar a montagem do ponteiro e do pêndulo no pêndulo britânico (medidor de fricção) de acordo com a sequência de elementos constituintes exposto na Figura 7, não efectuando o aperto destes elementos no eixo de apoio, garantindo que o pêndulo se encontra posicionado na vertical e que o ponteiro pode rodar de forma livre;*
- b. colocar o pêndulo britânico (medidor de fricção) numa mesa-plano e proceder ao seu nivelamento horizontal recorrendo aos parafusos e nível de bolha existentes para esse efeito no equipamento ensaiado (vide Figuras 28 e 29);*



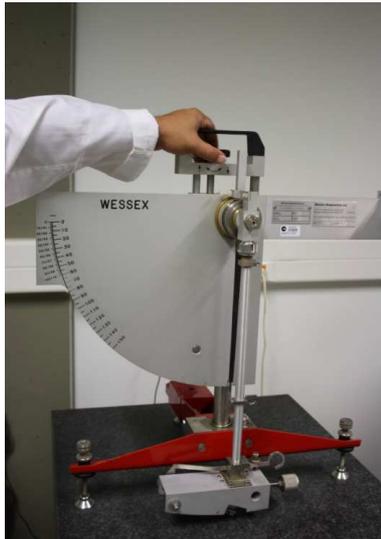
Figuras 28 e 29 – Processo de nivelamento do pêndulo britânico numa mesa plano (à esquerda) e detalhes do parafuso de nivelamento e do nível de bolha de um pêndulo britânico (à direita).

- c. alinhar o ponteiro relativamente ao pêndulo em posição vertical procedendo, caso seja necessário, ao ajuste do fuso do batente do ponteiro (Figura 30). Caso exista uma marcação de alinhamento vertical do ponteiro na placa contendo a escala analógica, medir o desvio entre a extremidade do ponteiro e a referida marcação (Figura 31) [Ensaio C1];*

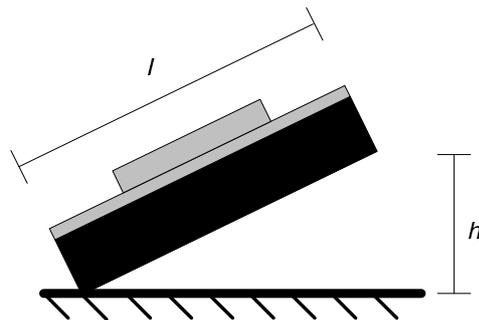
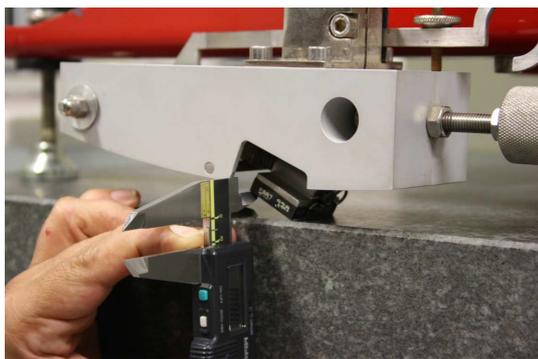
Pêndulos britânicos (medidores de fricção)

Figuras 30 e 31 – Parafuso de ajuste do batente do ponteiro (à esquerda) e desvio do indicador do ponteiro relativamente à marcação (à direita).

- d. repetir quatro vezes a operação descrita em c. e determinar o valor médio das cinco medições. O valor obtido neste ensaio será considerado conforme caso seja inferior a 1 mm;
- e. concluir a montagem do pêndulo britânico (medidor de fricção) mediante aperto dos elementos de ligação do ponteiro e do pêndulo ao eixo de rotação.
- f. baixar o braço do pêndulo usando o manipulador de ajustamento vertical (Figura 32) até o patim tocar na superfície da mesa-plano (Figura 33). Medir com recurso a escala graduada ou paquímetro (Figura 34), a distância vertical da aresta superior à superfície da mesa, h , e, em seguida, o comprimento do patim, l (vide Figura 35) **[Ensaio C2]**. O ângulo do patim, α , é dado por $\alpha = \arcseno(h/l)$;
- g. repetir quatro vezes a operação descrita em f. e determinar o valor médio das cinco medições. O valor obtido neste ensaio será considerado conforme caso esteja compreendido entre 23° e 29° .



Figuras 32 e 33 – Ajustamento da altura do patim (à esquerda) e contacto entre a aresta inferior do patim e a mesa-plano (à direita).



Figuras 34 e 35 – Medição do afastamento vertical da aresta superior do patim à mesa-plano (à esquerda) e grandezas dimensionais necessárias à determinação do ângulo do patim [2] (à direita).

4.6 – Determinação da incerteza de medição

A incerteza de medição expandida deverá ser calculada para as diversas grandezas mensuráveis que se apresentem no certificado de ensaio metrológico, sendo declarada para um intervalo de confiança de 95 % calculado de acordo com [3] e [4].

4.7 – Certificado de ensaio metrológico

Preencher o certificado de ensaio metrológico de acordo com [5] referindo:

- *a identificação do cliente;*
- *a identificação do equipamento ensaiado;*
- *a identificação dos equipamentos de referência utilizados;*
- *os dados complementares (data e local de ensaio, condições ambientais, procedimento e norma adoptados);*
- *as observações (inspecção visual e observações gerais);*
- *os valores que compõem o quadro de resultados;*
- *a conformidade ou não-conformidade com a norma de referência [1];*
- *as incertezas de medição expandidas para um intervalo de confiança de 95 %.*

5 – DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- [1] EN 1097-8:2009 – *Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 8: determination of the polished stone value*, Bruxelles (Bélgica): European Committee for Standardization (CEN), July 2009.
- [2] *Skid Tester Calibration Rig S892 – Operating Instructions*, Douglas, Isle of Man (Reino Unido): Mastrad Limited.
- [3] *Guide for the expression of Uncertainty in Measurement (GUM)*, Genève (Suíça): International Organization for Standardization (ISO), 1993 (re-editado em 1995).
- [4] *Guia para a expressão da incerteza de medição nos laboratórios de calibração*, Lisboa (Portugal): Instituto Português da Qualidade (IPQ), 1996.
- [5] International vocabulary of metrology – basic and general concepts and associated terms (VIM), Sèvres (França): Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), 2008.

