

IFUSP/P-726  
B.I.F. - USP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

# PUBLICAÇÕES

INSTITUTO DE FÍSICA  
CAIXA POSTAL 20516  
01498 - SÃO PAULO - SP  
BRASIL

IFUSP/P-726

PÊNULO DE FOUCAULT

13 JAN 1989



C.H. Furukawa e W. Sano

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

Agosto/1988

## PÊNULO DE FOUCAULT

C. H. Furukawa e W. Sano

Instituto de Física da USP

C.P. 20516, 01498 - S. Paulo, S.P.

Brasil

## INTRODUÇÃO

Trata-se de um dispositivo muito interessante para demonstrar a rotação da Terra. Aquele construído pelo próprio Foucault em Paris (1851) a massa era de 27 Kg (uma bala de canhão) e o comprimento do fio de 60 m. A rotação do plano de oscilação era registrada nos montículos de areia dispostos circularmente no piso de tal modo que uma pequena cauda pendente do pêso pudesse marcar a sua passagem. Modernamente é possível construir pêndulos de Foucault de dimensões bem menores (pêso de 2 Kg e 2 m de fio) mais adequados para serem instalados em espaços reduzidos.

C.L. Stong da revista Scientific American que redigia a seção de Cientistas Amadores contribuiu bastante na divulgação de técnicas de construção deste tipo de aparelhagem<sup>(1,2)</sup>. Outros autores introduziram aperfeiçoamentos<sup>(3,4,5)</sup>. Tais dispositivos funcionam ininterruptamente graças a sistemas de alimentação eletro-magnética para compensar as perdas por atrito.

Um obstáculo muito grande para quem pretenda construir um pêndulo deste tipo é a tendência da massa em não se manter num plano e sim descrever uma trajetória elíptica ou em forma de 8. Quando isto ocorre o pêndulo pode até indicar rotação da Terra no sentido contrário ao esperado<sup>(1)</sup>, como, de fato, tivemos ocasião de verificar nas nossas primeiras montagens. Tal efeito se deve a pequenos defeitos de construção de peças, inhomogeneidade dos materiais utilizados e outras causas que introduzem componentes de forças estranhas. Dentre estas, parece-nos que a vibração do prédio é a mais importante. Realizamos montagens em diversos locais do campus e concluímos que a existência de compressores ou máquinas operatrizes que provoquem vibração no prédio, movimento de estudantes pelos corredores e até mesmo a passagem de um ônibus a 100 m do local induzem este este tipo

de comportamento. Este efeito é normalmente eliminado com a utilização do anel de Charron<sup>(1,2,3,4)</sup>. Este anel é montado próximo ao ponto de suspensão e concêntrico com o fio. Nos limites de excursão do pêndulo o fio bate ligeiramente neste anel e com isso a tendência ao movimento elipsoidal é corrigida. O anel é feito de metal de modo a servir também de chave elétrica para comandar o sistema eletro-magnético de alimentação. Entretanto, a centralização deste anel, feita por parafusos ajustáveis<sup>(4)</sup> é bastante trabalhosa<sup>(5)</sup>. Além disso, a fadiga do fio no ponto de contato pode provocar acidente devido a ruptura do fio neste ponto.

Neste trabalho descreveremos como contornamos estes problemas num pêndulo construído no IFUSP, apresentado na exposição da USP sobre o cometa Halley (1986), aperfeiçoado posteriormente e que se encontra em funcionamento no Laboratório de Demonstrações do IF. Antes de entrar em detalhes técnicos julgamos interessante apresentar um resumo do princípio de funcionamento do pêndulo de Foucault, o que faremos, a seguir.

#### VARIAÇÃO DO PLANO DE OSCILAÇÃO COM LATITUDE

Um pêndulo montado num dos polos da Terra, ou seja, com o ponto de suspensão passando pelo seu eixo de rotação, mostraria que o plano de oscilação rodaria exatos 360° em um dia, ou, mais precisamente em 23h e 56m (dia sideral). Por outro lado, um pêndulo colocado na linha do Equador, por exemplo, na cidade brasileira de Macapá, o período de rotação do plano de oscilação seria infinito, isto é, o pêndulo oscilaria sempre no mesmo plano e seria inútil para observar o efeito da rotação da Terra. Para qualquer outro local de latitude diferente de zero este período assumiria valores intermediários.

A determinação deste período pode ser facilmente obtida a partir da componente do vetor velocidade angular da Terra, como mostrado na figura 1. Assim, o período a uma latitude  $\theta$  é obtida de

$$T = \frac{2\pi}{\omega \text{sen}\theta} = \frac{23\text{h } 56\text{m}}{\text{sen}\theta}$$

Consequentemente, a velocidade angular do plano de oscilação será dada por

$$\omega_p = \frac{360^\circ}{T} \approx 15,04 \text{sen}\theta \text{ } ^\circ/\text{h}$$

#### DESCRIÇÃO DO PÊNDULO

O aspecto geral do nosso pêndulo está esquematizado na figura 2. A modificação mais importante que introduzimos em relação aos dos trabalhos citados está na substituição do anel de Charron por um batente. A diferença é que o nosso batente é um anel maior que executa perfeitamente o papel do anel de Charron e apresenta a vantagem de ser de fácil ajuste por causa das suas dimensões e a sua localização próxima do piso e, também, pelo fato de não provocar fadiga no fio. O contato é realizado a meia altura do peso que tem forma cilíndrica. Como este batente é de alumínio pode servir para chaveamento do circuito eletrônico de alimentação como no caso do anel de Charron. Além disso este batente é graduado para realizar a leitura do deslocamento angular do plano de oscilação. Tal leitura é feita precisamente no instante da batida.

O nosso sistema de alimentação é baseado no método de Mackay<sup>(6,1)</sup>. Optamos por este método para manter o equipamento mais simples possível. Acreditamos que a utilização de sistemas eletrônicos do tipo existente na literatura<sup>(2,3,4,5)</sup> que teria

aplicação no nosso sistema sem maiores modificações traria simplificação ainda maior, podendo até reduzir a massa utilizada por nós de 20 Kg por um fator 10. O esquema do nosso circuito está na figura 3. O ajuste necessário antes de dar partida ao pêndulo é centrar a bobina e o batente de modo a ficarem perfeitamente concêntricos com o pêndulo. A corrente da bobina é ajustada no Variac de modo a obter uma batida suave do pêso no batente.

Apresentamos, a seguir, alguns detalhes das diversas partes que constituem o pêndulo de Foucault:

PINO SUPORTE - pino de aço rápido de 9,5mm de diâmetro, temperado na ponta e rosqueado no anel de alumínio com  $\phi_i=80$ ,  $\phi_e=105$ ,  $e=20$  (mm); o apoio é uma ferramenta para torno (bits) de seção quadrada de 12,7x101,6 (mm) engastada numa barra de ferro sextavado de 25,4 x 230 (mm) montada verticalmente, presa ao teto de concreto por meio de parafusos embutidos.

FIO - aço inoxidável de  $\phi=1$  mm e 3 m de comprimento.

PÊSO - aço doce, 150 mm de diâmetro por 150 mm de comprimento e 20 Kg.

BATENTE - anel de alumínio de 5 mm de espessura com  $\phi_i=450$  mm,  $\phi_e=580$  mm, aresta interna chanfrada.

BOBINA - 1500 espiras de fio esmaltado AWG 15; carretel feito com tubo de PVC de 35 mm por 53 mm de comprimento e discos de 200 mm de diâmetro de placas Eucatex de 5 mm;  $L=185$  mH (ar) e  $Q \approx 4$ .

BASE - Disco de pinho compensado de 15 mm e 800 mm de diâmetro.

#### CONCLUSÕES

Realizamos medidas de deslocamento angular em 9 séries de medidas totalizando 13 dias de observação. A orientação do plano de oscilação de partida foi variada, pois, é sabido que o campo magnético da Terra influi nas medidas<sup>(2)</sup>. A média obtida foi de  $(6,1 \pm 0,2)$  °/h sendo que o valor esperado para S.Paulo (latitude 23,6°) é de 6°/h. Uma série típica está representada na figura 4.

Com estes resultados concluímos que a precisão das medidas é ótima, está de acordo com os resultados obtidos em outros países, como descritos nas referências citadas e com vantagem de termos simplificado a operação de ajuste graças a modificações que introduzimos.

#### AGRADECIMENTOS

Ao prof. E.W. Hamburger pelo apoio, aos técnicos C. D. Fôrceмо e W.L Silva pela construção e as Instituições que financiaram: UNESCO, FINEP e CNPq.

## REFERÊNCIAS

- 1) C.L. Stong , Sci. Am. 198, 115 (1958)
- 2) C.L. Stong , Sci. Am. 210, 136 (1964)
- 3) W.A. Hilton , Am. J. Phys. 46, 436 (1978)
- 4) H. Kruglak, L. Oppliger, R. Pittet e S. Steele, Am. J. Phys. 46, 438 (1978)
- 5) E.C. Reynhardt, T.A. Van der Walt e L. Soskolsky, Am. J. Phys. 54, 759 (1986)
- 6) R.S. Mackay, Am. J. Phys. 21, 180 (1953)

## LEGENDA DAS FIGURAS

Figura 1 : Diagrama vetorial da velocidade angular de rotação da Terra e a sua componente a uma latitude  $\theta$ .

Figura 2 : Pêndulo de Foucault

Figura 3 : Circuito de alimentação eletro-magnético

Figura 4 : Uma série típica da medida do deslocamento angular do plano de oscilação do pêndulo em função do tempo

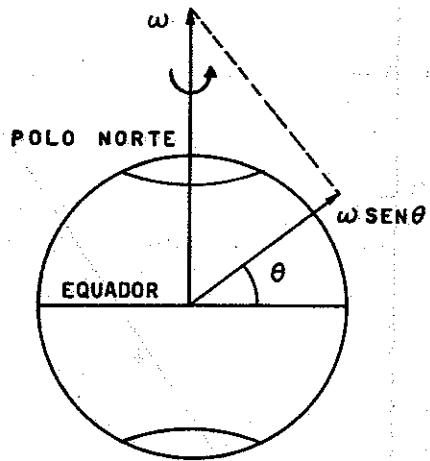
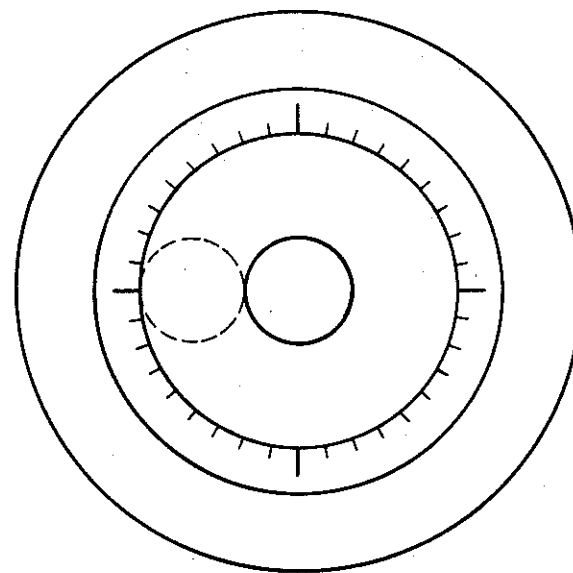
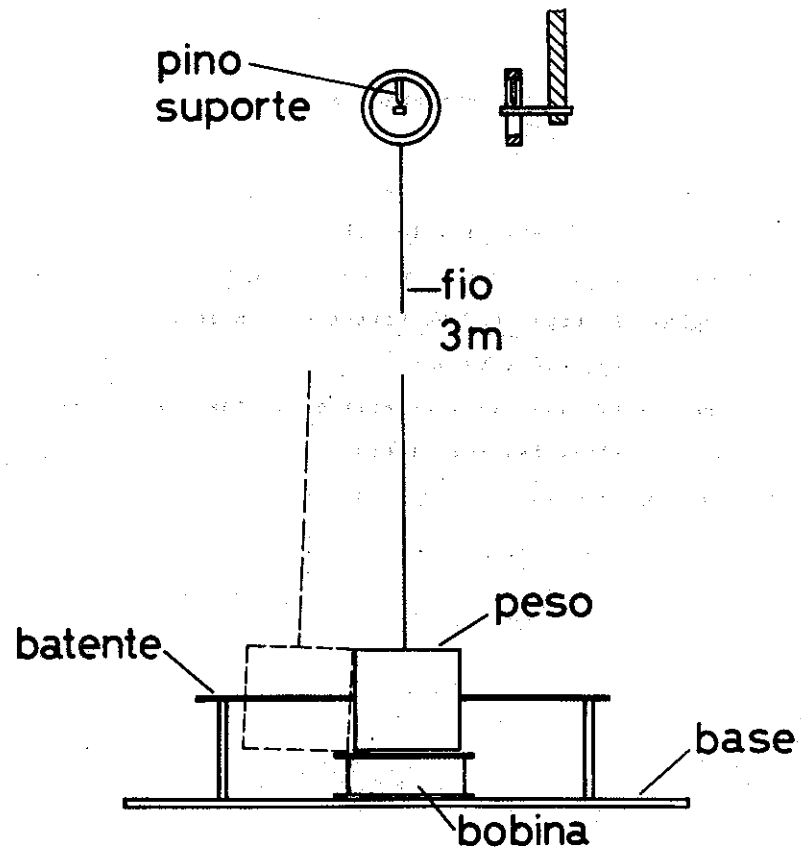


FIG. 1



10 cm

FIG. 2

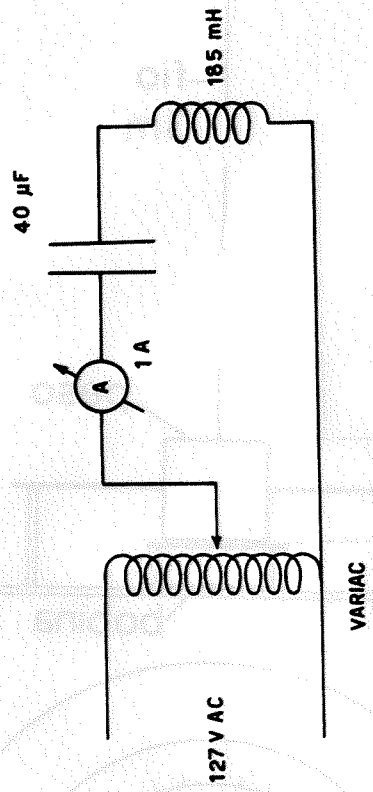


FIG. 3

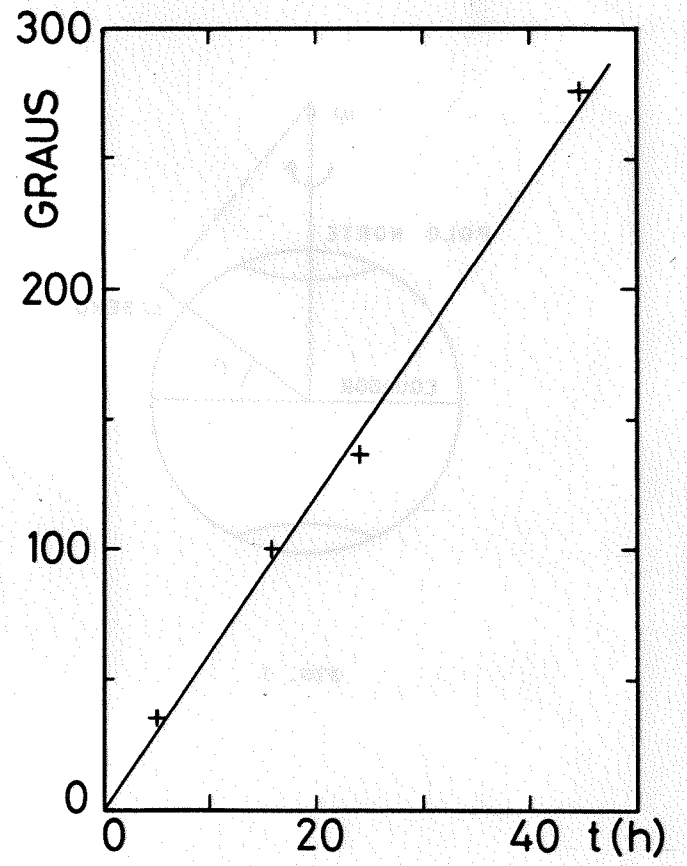


FIG. 4