

Pêndulo Magnético Caótico



F 809: Instrumentação para o ensino
Primeiro semestre de 2006
Aluno: Java Atayde Pedreira da Silva
Orientadora: Dra. Annette Gorenstein
Data: 21 de junho de 2006

Introdução

Comumente a palavra caos é empregada quando se deseja expressar que uma dada situação está muito desorganizada ou fora de controle. Mas essa palavra assume outra acepção para cientistas que estudam sistemas dinâmicos. Ela é usada para sistemas não-lineares cuja evolução temporal é irregular e imprevisível. Trabalhos na teoria do caos são relativamente novos; seu desenvolvimento se deu no início da década de 60 quando o cientista Eduard Norton Lorenz do departamento de meteorologia do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts) estudava soluções das equações de hidrodinâmica [1]. Ele estava aplicando a teoria de fluidos para reproduzir movimentos das corrente de ar na atmosfera a fim de prever estatisticamente o comportamento climático. Ele observou que para condições iniciais muito próximas as soluções divergiam exponencialmente com o tempo.

A despeito do progresso recente da teoria do caos, Henri Poincaré (1854-1912) um proeminente matemático que estudou sistemas dinâmicos, foi o primeiro a reconhecer essa sensibilidade às condições iniciais. Ele descreveu esse fenômeno da seguinte maneira: *'... é provável que pequenas diferenças nas condições iniciais produzam enormes discrepâncias no fenômeno final. Um pequeno erro na anterior produzirá um enorme erro no último. Predição torna-se impossível, e nós temos um fenômeno fortuito'* (Poincaré, 1913) [2]. Diante desse fato, somos direcionados a uma pergunta pertinente: 'se o caos era reconhecido no início do século XIX, porque seu desenvolvimento se deu quase 50 anos depois?'. A resposta é muito simples: por causa do advento do computador. A não-linearidade das equações é, provavelmente, a responsável pelo atraso histórico do desenvolvimento do estudo de sistemas caóticos. Essa circunstância surge do fato que, com exceção de algumas equações de primeira ordem, as equações diferenciais não-lineares são difíceis ou impossíveis de resolver analiticamente. Suas soluções são obtidas, de forma aproximada, através de métodos numéricos cuja implementação prática demanda o uso de computadores.

Se predição torna-se impossível, é óbvio que sistemas caóticos podem ser semelhantes a sistemas estocásticos (um sistema sujeito a forças externas aleatórias). Contudo, a fonte de irregularidade é completamente diferente para o caos: a irregularidade é uma propriedade intrínseca do sistema caótico, não advém de fatores externos. Para que um sistema físico apresente comportamento caótico são necessárias duas condições: (a) pelo menos três variáveis dinâmicas independentes, e (b) equações de movimento que contenham termos não-lineares, que acoplam as várias variáveis dinâmicas. Uma vez que um sistema satisfaz essas condições, não significa que seu movimento será caótico. Apenas para algumas soluções instáveis haverá caos, e isso depende da escolha dos parâmetros envolvidos nas equações, ou seja, das propriedades do sistema.

Existem diversos sistemas que apresentam comportamentos caóticos, tais como: cavidades laser, pêndulo duplo, dinâmica populacional, dinâmica predador-presa, reações químicas, fluidos, etc. Neste projeto construímos um pêndulo magnético como exemplo de um sistema caótico e da sensibilidade às condições iniciais.

Descrição

A figura 1 apresenta um esquema do pêndulo magnético caótico [3]. A massa presa à haste do pêndulo é de material ferromagnético (um ímã); quando submetida a um gradiente magnético, o movimento do pêndulo passa a ser caótico. O gradiente magnético é obtido por um arranjo de ímãs na base do suporte do pêndulo.

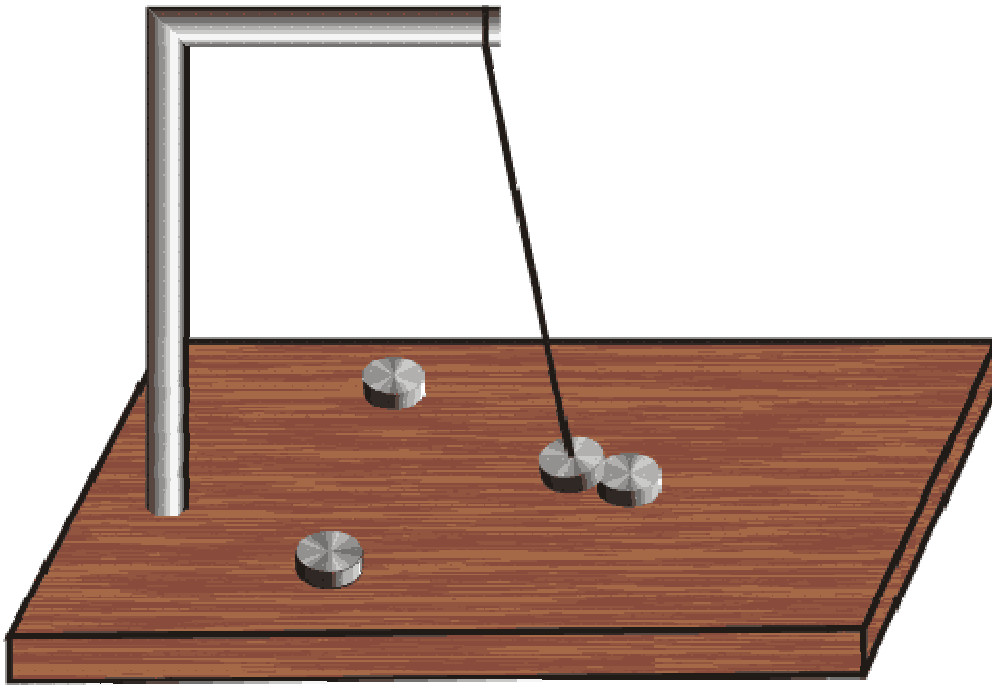


Figura 1 : Pêndulo magnético caótico

Os magnetos usados foram todos iguais, e de formato cilíndrico. A haste do pêndulo juntamente com seu suporte, foram feitos de material diamagnético (alumínio). A figura 2 mostra o desenho de nosso projeto.

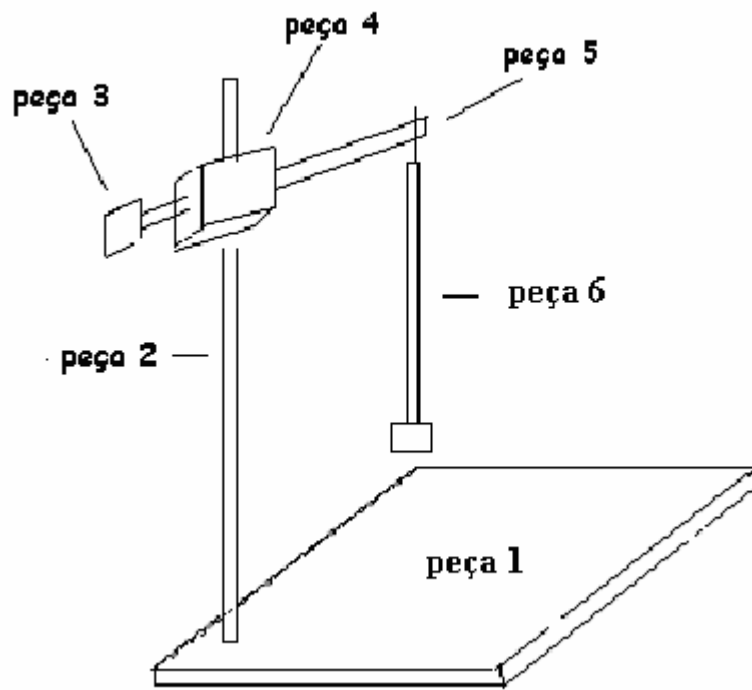


Figura 2 : Desenho do suporte para o pêndulo magnético

As figuras 3, 4, 5, 6 e 7 mostram os valores dos tamanhos das peças do suporte.

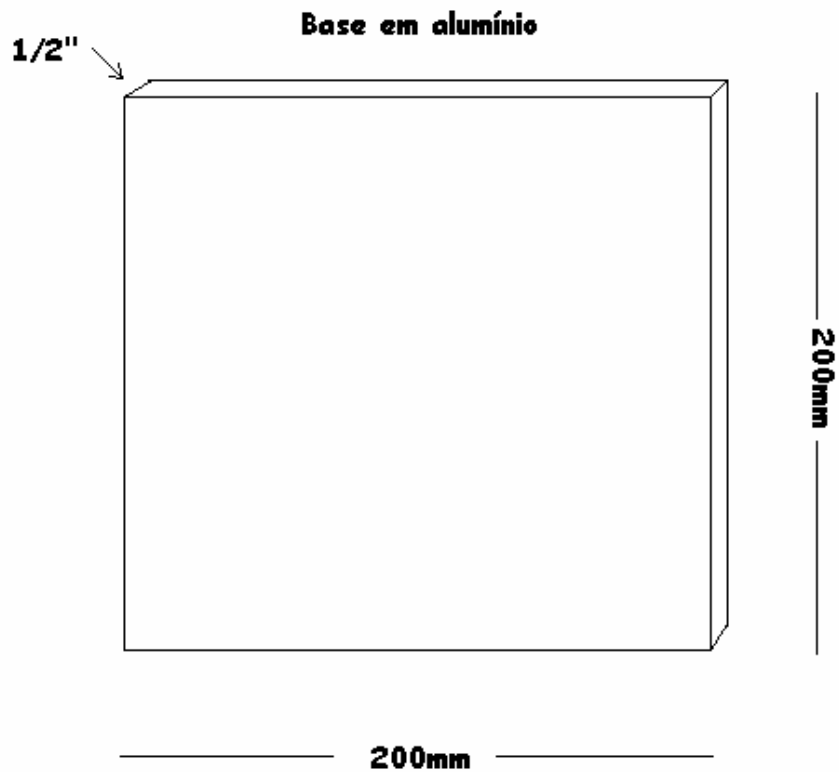


Figura 3: Medidas da base do suporte (peça 1)

Tarugo alumínio 1/2" c/ponta 10mm x rosca 1/4W

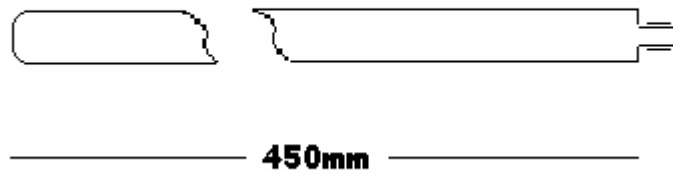


Figura 4: Tarugo de alumínio usado no suporte do pêndulo (peça 2)

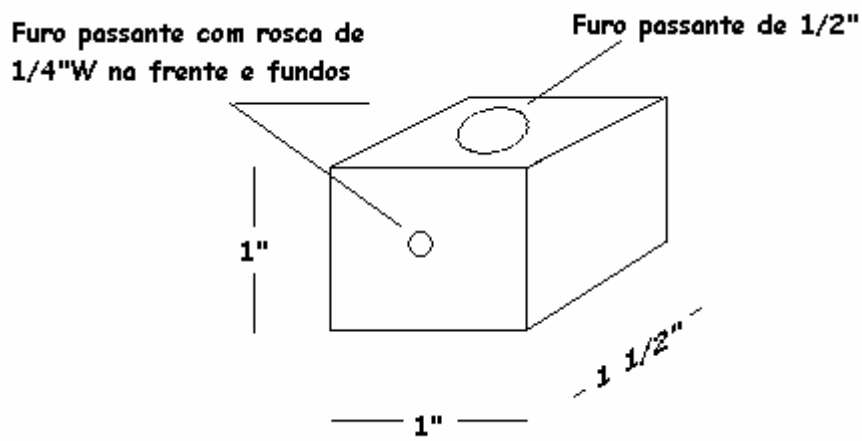
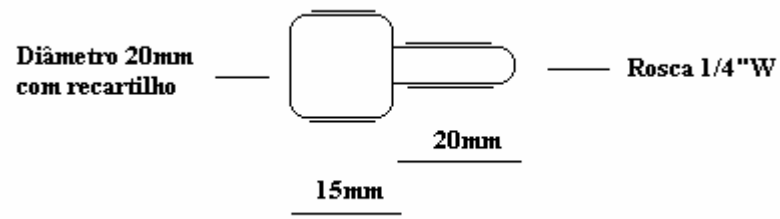


Figura 5: Peças para o ajuste da altura da haste do pêndulo (peças 3 e 4)

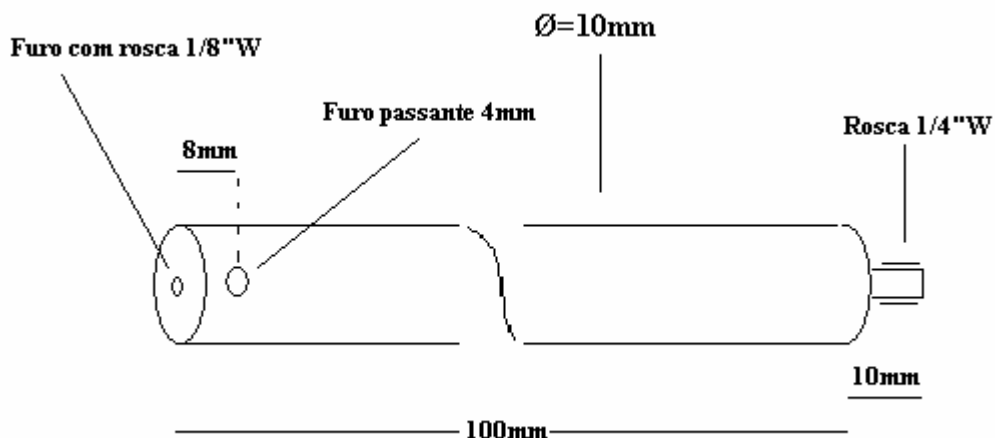


Figura 6: Haste de alumínio a qual o pêndulo será preso (peça 5)

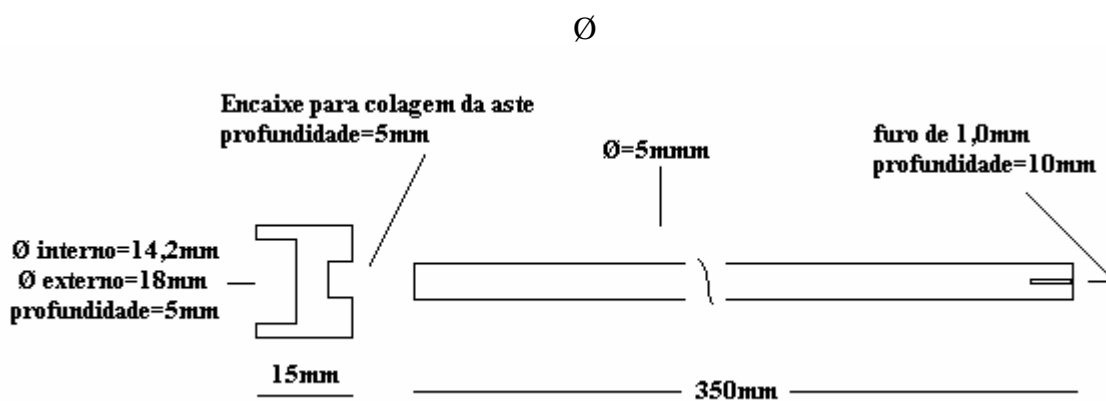


Figura 7: Haste do pêndulo juntamente com o dispositivo no qual o ímã será preso (peça 6)

A haste do pêndulo foi presa ao suporte através de um fio de nylon, a fim de proporcionar-lhe movimento tri-dimensional e reduzir a energia gasta no movimento de rotação da haste. Tivemos o cuidado de evitar ao máximo as perdas de energia. Vale lembrar que nosso pêndulo não é forçado, ou seja, não possui qualquer fonte de energia externa, daí a importância de reduzir o quanto possível as perdas. Por isso decidimos construir todo o pêndulo de material paramagnético, caso contrário a força entre ele e quaisquer outras

peças do suporte amorteceriam o movimento. É importante também que os ímãs sejam iguais e que seus campos não sejam tão intensos e nem muito fracos. Não muito intensos porque logo a energia de translação do pêndulo seria transformada em energia magnética. Nem muito fracos porque aí o pêndulo se comportaria como um pêndulo comum. Se os magnetos forem diferentes, o pêndulo tenderá a oscilar em torno do mais fraco, dessa maneira privilegiando um dado ponto do espaço. Tivemos o cuidado de dispor os ímãs de tal maneira que a força entre o ímã do pêndulo e os da base fosse repulsiva, para assim prolongar ao máximo o tempo de duração do movimento. Isso foi feito posicionando os ímãs da base de tal maneira que todos tivessem a mesma polaridade apontando para cima; o pólo do ímã que aponta para baixo foi escolhido de maneira que, o ímã do pêndulo e os da base se repelissessem. As figuras 8, 9 e 10 apresentam o pêndulo que construímos neste projeto.



Figura 8: Visão global do pêndulo magnético

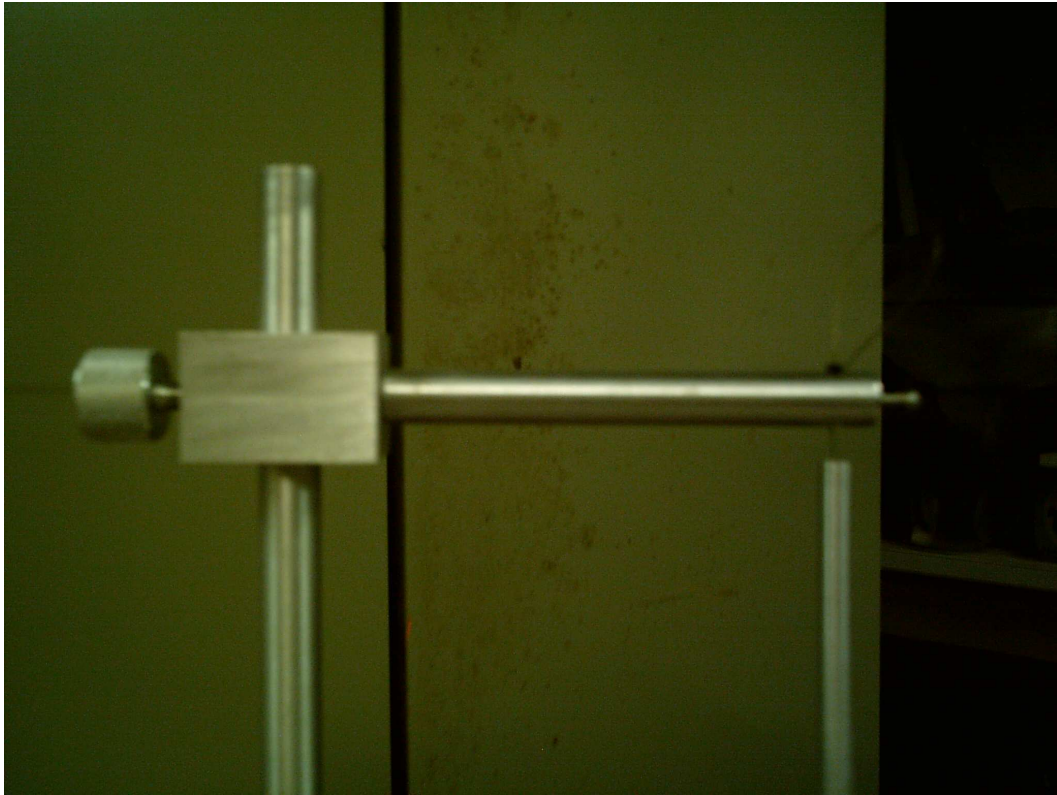


Figura 9: Visão da parte superior do suporte

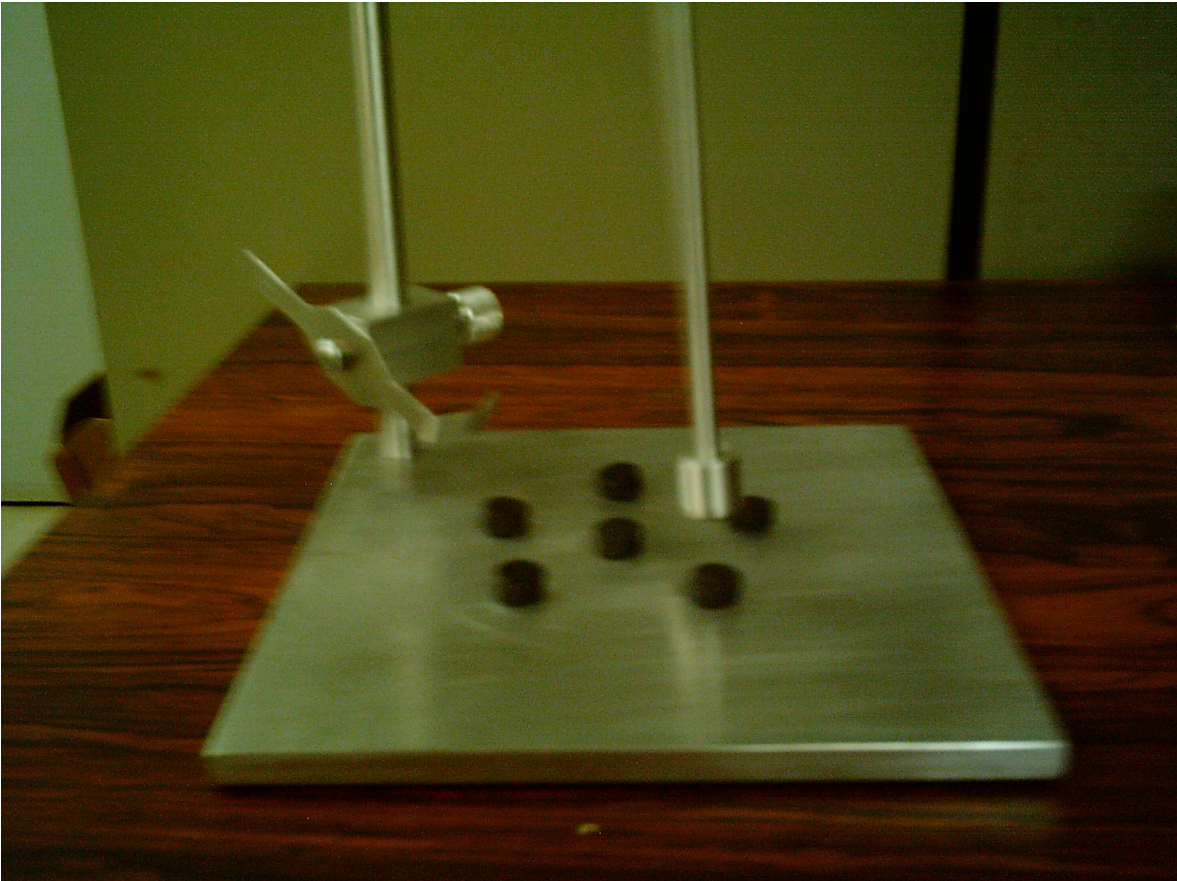


Figura 10: Imagem da base

O dispositivo preso à haste funciona como uma referência para garantir que o pêndulo terá condições iniciais próximas.

Conclusão

Como resultado de nossos cuidados tivemos um sistema cujo movimento teve duração média de 3 minutos. Além disso, o comportamento caótico desse sistema é bastante claro. Elaboramos um sistema de referência que propiciasse condições iniciais muito próximas. Daí constatamos que o pêndulo seguiu trajetórias que diferiam exponencialmente com o tempo.

Agradecimentos

Agradecemos ao técnico Dr. Airton Lourenço do Laboratório de Optoeletrônica de Materiais/DFA/IFGW que nos ajudou muito na elaboração deste projeto, e aos técnicos da Oficina Mecânica do IFGW pela confecção das peças.

Referências

- [1] <http://www.geocities.com/inthechaos/histo.htm>
- [2] Baker G. L. e Gollub J. P. , **Chaotic Dynamic: an Introduction**, 2nd ed.(Cambridge University Press, N. Y., 1996) capítulos 1, 2 e 3.
- [3] <http://www.geocities.com/inthechaos/obj.htm>