

Um marcador de tempo alternativo para o estudo de movimentos uniformes e uniformemente acelerados

An alternative time marker for the study of the uniform and uniformly accelerated movements

Osmar Henrique Moura da Silva¹; Carlos Eduardo Laburú²

Resumo

Este trabalho apresenta um tipo de marcador de tempo, montado com materiais de baixo custo, destinado ao estudo de movimentos uniformes e uniformemente acelerados pela força gravitacional. Um mecanismo para medir a frequência desse marcador de tempo é a ele acoplado com a função de poder encontrar o valor (aproximado) da aceleração da gravidade local. O experimento, que é adequado para ser usado nas aulas de cinemática, também pode ser apresentado em feira de ciências pelos alunos, por ser um fator estimulante ao envolver certa participação dos estudantes em sua construção.

Palavras-chave: Marcador de Tempo, Experimento de Cinemática, Aceleração da Gravidade.

Abstract

This work presents a type of time marker set up with materials of low cost for the study of uniform movements as well as those accelerated by gravitational force. A mechanism used to measure its frequency is coupled to it in order to find the approximate value of the acceleration of the local gravity. The experiment, that is adapted to be used during a kinematics class, can also be presented by the students at a science fair, for being a stimulating factor as it involves the students' participation in its construction.

Key Words: Time Marker, Cinematic Experiments, Gravity Acceleration.

Introdução

O marcador de tempo, experimento antigamente comercializado pela Funbec, foi desenvolvido para o estudo de movimentos uniformes e uniformemente

acelerados. Ele é constituído de uma ponta vibradora que se choca com um papel carbono sobre uma fita a ser marcada. Assim, com uma massa suspensa por um fio que passa por uma roldana e que se conecta

¹ Físico; Laboratório de Instrumentação em ensino de Física, Departamento de Física, UEL. Email: osmarh@uel.br.

² Prof. Dr.; Departamento de Física, UEL. Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina, CEP 86051-970, Cx. P. 6001, Londrina, PR.

³ Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências.

na fita, realiza-se uma experiência em que se verifica, por meio de um certo tipo de gráfico, que o movimento (do objeto) é uniformemente acelerado. Neste trabalho, apresentamos um marcador de tempo que pode ser construído com materiais de baixo custo, facilmente encontrados no comércio. Esse marcador de tempo mostra algumas vantagens em relação àquele desenvolvido pela Funbec: 1) o industrializado necessita de pilha para funcionar enquanto o aqui proposto é adaptado à energia elétrica da rede; 2) o novo marcador apresenta um novo sistema de marcação que utiliza uma caneta, o que evita a perda de pontos na fita, como algumas vezes acontece no marcador da Funbec, que usa papel carbono; 3) o equipamento da Funbec provê um número limitado de rolos de uma fita especial para a marcação, insubstituível caso acabe. O nosso marcador de tempo usa como fita para marcação a serpentina de carnaval.

Além das vantagens mencionadas acima, ao equipamento pode ser acrescentado um mecanismo elaborado a fim de, ao determinar a frequência do marcador, encontrar o valor aproximado da aceleração da gravidade local. Também com esse mecanismo podem-se estudar movimentos uniformes, enquanto no experimento da Funbec, o “movimento uniforme” da fita (para calibrar o marcador e encontrar o valor da aceleração da gravidade local) é feito manualmente.

Apesar de existirem várias maneiras de encontrar o valor aproximado da aceleração da gravidade local, estamos propondo uma alternativa para um professor interessado em aulas experimentais no curso de cinemática.

O equipamento

Material utilizado

Marcador de tempo:

- Um pedaço de 4cm de comprimento de um núcleo de ferrite com diâmetro de 1cm (encontrado facilmente no interior de um rádio velho ou em lojas de componentes eletrônicos).

- Fio de cobre esmaltado nº 30.
- Um transformador de 110V para 12V (facilmente encontrado nos camelódromos a baixo custo).
- Uma chave liga-desliga.
- Sistema vibratório:
 - Pedacos de chapa de ferro de 0,6mm de espessura: (5x1)cm, (4x1)cm, (2x1)cm, (4x0,5)cm, (1,5x0,5)cm, (2x1)cm.
 - Uma chapa de ferro de 2mm de espessura, 8cm de comprimento e 1cm de largura.
 - Um parafuso de diâmetro próximo de 3mm e comprimento de 3cm.
- Dois pedacos pequenos de chapa de aço: espessura de 0,1mm, largura de 5mm e comprimento de 10mm.
- Pedacos de madeira: (15x15x2)cm; (8x8x2)cm; (4x8x2)cm.
- Um pedaço de fórmica (8x8x2)cm.
- Parafusos para madeira.
- Clips cujo arame de ferro tenha um diâmetro de 1mm.
- 2 pregos com cabeça de aproximadamente 5mm de diâmetro.
- Uma canetinha de cor de 5cm de comprimento (cortada).
- Serpentina de carnaval.
- Sistema de suspensão do objeto a ser acelerado:
 - Uma roldana com diâmetro externo de 5cm e espessura total de 5mm. O diâmetro interno é de 4,5cm com espessura no rasgo de 3mm. Obs.: dimensões aproximadas.
 - Um eixo de ferro por onde se fixa a roldana acima.
 - Barbante fino.
 - Um pequeno cilindro de ferro com um gancho (de aproximadamente 400g).

Mecanismo elaborado para estudos de movimentos uniformes e para encontrar o valor aproximado da aceleração da gravidade local:

- Duas molas pequenas.
- Uma tábua de (100x6x1)cm.
- 50cm de vareta de ferro cujo diâmetro é de 3mm.
- Adesivo Epóxi (tipo Durepóxi).
- 2 lâminas de barbear.
- Um motorzinho de 1,5V (pode ser obtido em brinquedos sem uso).
- Arame de ferro (reto) com diâmetro de aproximadamente 1mm.
- Uma roldana de 4,5cm de diâmetro externo, 4,2cm de diâmetro interno, 6mm de espessura total e 3mm de espessura no rasgo (pode ser construída em um torno). Essa roldana deve possuir um furo central com diâmetro igual ao do arame de ferro.
- Uma roldana de 2cm de diâmetro externo, 1,7cm de diâmetro interno, 6mm de espessura total e 3mm de espessura no rasgo (pode ser construída em um torno). Essa roldana deve possuir um furo central com diâmetro igual ao diâmetro do eixo do rotor do motorzinho.
- Um elástico comum para servir de correia entre as roldanas.
- Pilha de 1,5V.
- Dois rolos (de plástico ou madeira) com diâmetro de 3cm e 2cm de comprimento. Cada um com um furo central longitudinal de diâmetro igual ao do arame de ferro. Esses rolos e os seus respectivos furos podem ser feitos no torno.
- Serpentina de carnaval.
- Adesivo líquido instantâneo (tipo Super Bonder).
- Uma chapinha de ferro: (4x2)cm e 1mm de espessura.

Construção

Marcador de tempo

O marcador de tempo possui um sistema vibratório de frequência constante com a função de realizar marcas em uma fita a ser analisada. Na sequência, apresentamos a construção desse sistema.

As cabeças dos dois pregos são lixadas com o auxílio de um esmeril de pedra de grana fina (para amolar ferramentas) de modo a ficarem com curvaturas lisas. Após isso, cortar os pregos, separando as cabeças que serão usadas na montagem.

Com as peças de ferro e aço já descritas (ver material utilizado) para tal montagem, construir as seguintes peças apresentadas nas figuras 1, 2 e 3. Observar nas figuras que algumas peças são entortadas. A caneta é presa por uma peça de ferro curva que se fecha com um parafuso. Todas as peças de ferro e aço, inclusive as cabeças dos pregos, são soldadas com uma solda ponto. Esse tipo de solda é facilmente encontrado em uma serralheria. Como são poucos pontos (ou soldas) a serem feitos nas montagens, rapidamente as peças podem ser unidas.

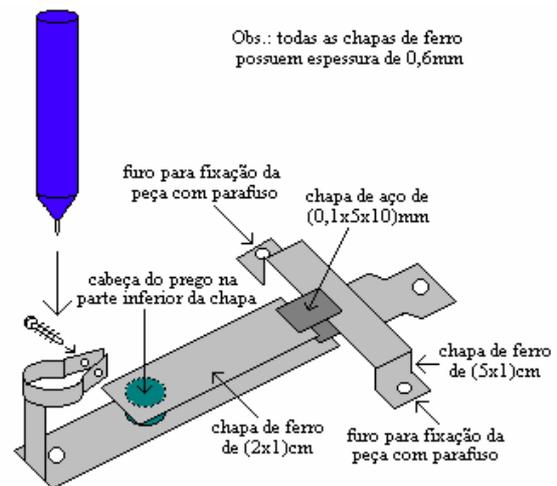


Figura 1 – Peça inferior do sistema vibratório.

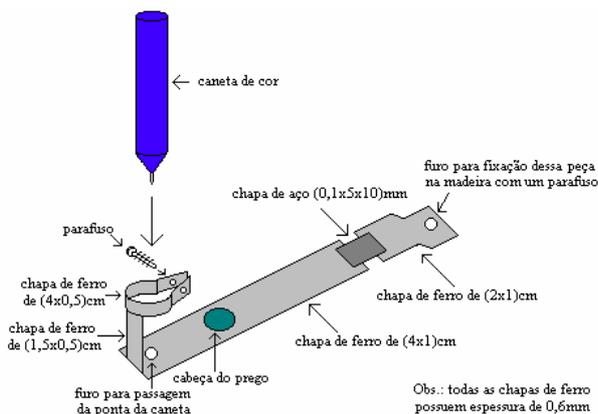


Figura 2 – Peça intermediária do sistema vibratório.

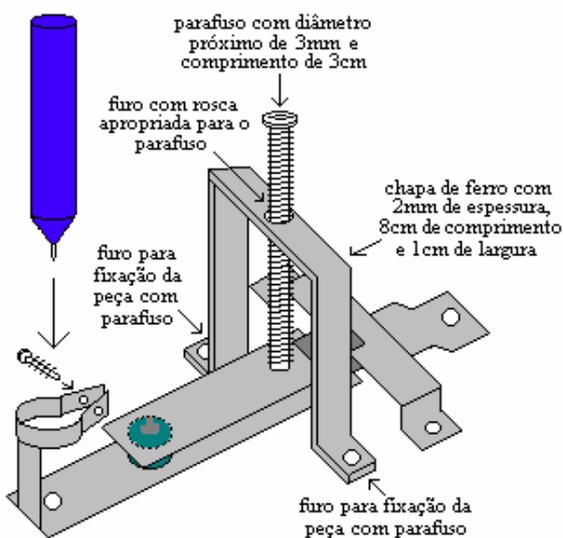


Figura 3 – Peça superior do sistema vibratório.

A peça adicionada na Figura 3 tem a função de apertar o parafuso e fechar o circuito, encostando as curvas das cabeças dos pregos. Todas as peças são parafusadas na peça de madeira de dimensões (8x8x2)cm (ver Figura 5). É necessário que a superfície superior dessa peça seja de fórmica para evitar atritos entre a fita e possíveis fiapos de madeira. Construir um eletroímã usando o núcleo de ferrite e o fio de cobre esmaltado nº 30. Para isso, montar uma bobina em torno desse núcleo com um total de aproximadamente 1000 espiras. Fazer um furo na madeira para encaixar o eletroímã. Esse furo é feito de modo que o eletroímã se posicione embaixo da cabeça do prego da peça inferior, conforme se vê na

Figura 4. Também nessa figura são apresentadas as ligações entre o sistema vibratório, o eletroímã e o transformador. Uma chave liga-desliga pode ser usada.

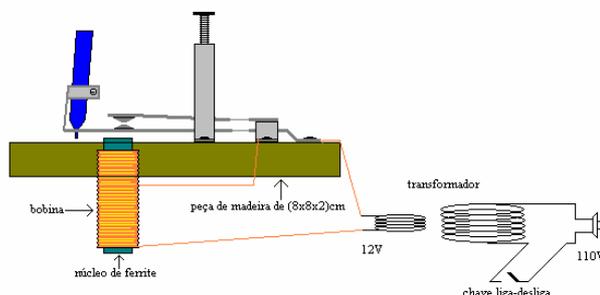


Figura 4 – Fixação das três peças da Figura 3 na madeira e apresentação das ligações entre o eletroímã, o transformador e o sistema vibratório.

Na Figura 5, são mostrados os dois direcionadores por onde passam as fitas utilizadas nas experiências. Eles são feitos com clips de 1mm de diâmetro e alinhados conforme a posição da ponta da caneta. Na madeira são feitos furos para encaixá-los e ajustá-los com uma folga de 3mm da base com fórmica. Na base de madeira de (15x15x2)cm pode ser feito o seguinte arranjo do material utilizado e construído:

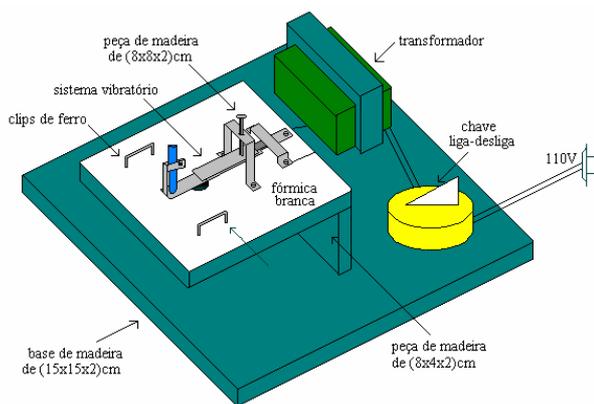


Figura 5 – Marcador de tempo montado.

Uma roldana presa em um eixo e suspensa a uma certa altura (mínima de 2m) também é necessária para que se realizem as experiências (mais adiante, na Figura 8).

Mecanismo elaborado para estudos de movimentos uniformes e para encontrar o valor aproximado da aceleração da gravidade local

Para construir os mancais (onde se apóiam os eixos giratórios), usam-se a lâmina de barbear, o adesivo epóxi e a vareta de ferro com diâmetro de 3mm. Como o centro das lâminas de barbear comuns possuem furos com diversos ângulos, pode-se aproveitá-los na construção dos mancais como é visto na Figura 6:

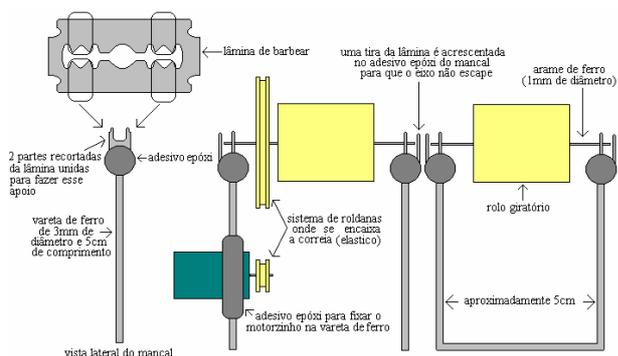


Figura 6 – Construção dos mancais e disposição das demais peças.

A roldana menor é encaixada e colada com o adesivo líquido na parte externa do eixo do rotor do motorzinho. A roldana maior é encaixada e colada em um dos eixos com rolos. O motorzinho é fixado com adesivo epóxi na vareta de ferro, de modo a ajustar o sistema de roldanas onde o elástico serve como correia.

Dessa forma, existem dois pares de mancais: o primeiro é onde se encontra o motorzinho com o sistema de roldanas e o segundo é apresentado à direita da Figura 6.

O mancal do motorzinho é fixo em uma das extremidades da tábua de (100x6x1)cm. O segundo mancal é móvel devido a uma chapinha metálica que o segura na madeira com certa folga, posicionando-se na outra extremidade. Nesse mancal móvel são acrescentadas as molas com a função de esticar a correia (fita a ser marcada). Essas molas são encaixadas em varetas fixas. A Figura 7 apresenta esse mecanismo montado.

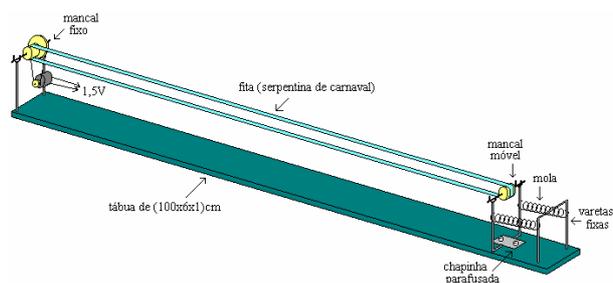


Figura 7 – Mecanismo para medir a frequência do marcador de tempo alternativo

Procedimento

Parte 1 – Construção de gráficos e avaliação do tipo de movimento

Com os materiais já especificados na seção material utilizado, para o sistema de suspensão do objeto a ser acelerado, seguir os seguintes passos:

- 1) Deixar a roldana (cujo eixo está fixo em uma haste) a uma altura de no mínimo 2m.
- 2) Amarrar um pedaço de 2m de barbante no gancho do cilindro de ferro.
- 3) Suspender esse cilindro, puxando o barbante através da roldana.
- 4) Amarrar a extremidade desse barbante com fita adesiva (tipo fita crepe) numa extremidade de 2m de fita (serpentina de carnaval).
- 5) Passar os 2m da fita nos direcionadores (clips) do marcador de tempo, deixando o início da fita embaixo da caneta. A Figura 8 apresenta a montagem através desses passos.
- 6) Ajustar a frequência desejada do marcador sobre a fita, soltando-a em seguida juntamente com o cilindro em queda livre.

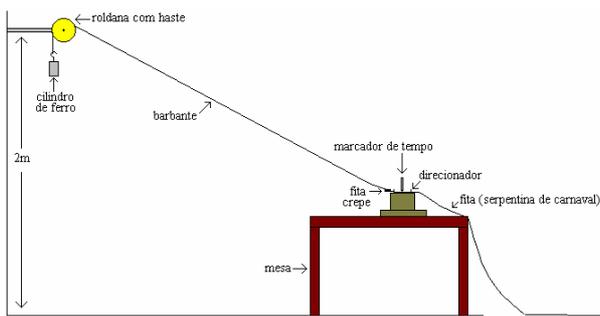
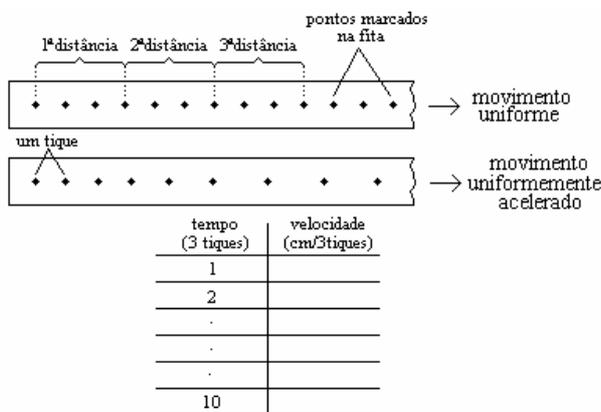


Figura 8 – Montagem do experimento para aceleração do objeto suspenso.

Dependendo da frequência do marcador, pode-se encontrar um total de 30 pontos marcados na fita. Para analisar o movimento realizado pelo cilindro, não é necessário conhecer a frequência do marcador, podendo-se convencionar, cada duas batidas do marcador com um intervalo de tempo de um tique. As medidas podem ser feitas a partir de três tiques. De três em três tiques (o que dá um total de aproximadamente 10 dados), faz-se a anotação em uma tabela da distância entre eles usando uma régua, conforme a seguinte Figura.



Fonte: Funbec (1977, p.15-17)

Figura 9 – Exemplo apresentado de pontos marcados sobre a fita em estudos de movimentos uniformes e uniformemente acelerados.

Constrói-se o gráfico da velocidade em função do tempo com os dados da tabela apresentada na Figura 9 e analisa-se o tipo de movimento do cilindro. Em seguida, pode-se calcular a aceleração da gravidade, determinando o coeficiente angular da reta média

traçada entre os pontos. Dessa forma, é encontrada a aceleração da gravidade em $\text{cm}/(3 \text{ tique})^2$.

Parte 2 – Estudo de um movimento com velocidade uniforme

Acoplar o marcador de tempo (Figura 5) no mecanismo apresentado na Figura 7. Para isso, a serpentina de carnaval deve passar pelos direcionadores do marcador e pelos rolos nos mancais com as extremidades unidas com um pedaço de fita adesiva. É preciso fazer um teste com o motorzinho ligado para verificar se a fita realiza voltas completas sem atritar e/ou travar nos direcionadores. A Figura 10 apresenta essa montagem.

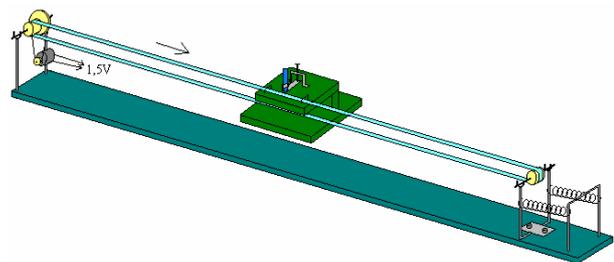


Figura 10 – Marcador de tempo acoplado no mecanismo medidor de frequência

Por ser o movimento do motorzinho uniforme, pode-se estudar esse tipo de movimento analisando as marcações realizadas na fita por meio dos espaços, entre pontos desejados com o auxílio de uma régua, relacionando-os com seus intervalos de tempo por meio de um cronômetro.

Construir um gráfico de velocidade em função do tempo. Esse gráfico deve dar uma reta paralela ao eixo do tempo.

Observações: Como existe um sistema de roldanas nesse mecanismo, a velocidade uniforme da fita não é a mesma do motorzinho. A velocidade constante da fita e, diretamente, a do motorzinho, pode ser alterada com o acréscimo de uma pilha de 1,5V (como a experiência é rápida, o motorzinho

não estraga) ou trocada por pilhas mais velhas, diminuindo a velocidade.

Parte 3 – Determinação da aceleração da gravidade

Para determinar o valor da aceleração da gravidade, é necessário conhecer o valor da frequência do marcador de tempo. Para isso, realizar a experiência da montagem apresentada na Figura 10. Nessa experiência, ajuste o parafuso vertical acionando o marcador com uma certa frequência⁴ (alta ou baixa – cujo valor será encontrado). Cronometrar o tempo gasto pela fita durante uma volta. Contar o número de pontos marcados na fita nesse intervalo de tempo e, assim, determinar quantos pontos faz o marcador no intervalo de 1 segundo (ou seja, a frequência do marcador).

Com essa informação, seguir todos os passos mencionados na Parte 1. A seguir, construir um gráfico de velocidade em função do tempo com os dados da tabela que agora possui valores da velocidade em cm/s e do tempo em s. Encontrar o valor da aceleração da gravidade (em cm/s² ou m/s²) determinando o coeficiente angular da reta.

Funcionamento do marcador de tempo

Inicialmente, é feito um contato entre as duas chapas de ferro, aproximando-as com o uso do parafuso vertical. Esse contato fecha o circuito e um campo magnético, fortalecido pelo núcleo da bobina e que surge juntamente com a corrente elétrica⁵ na mesma, interage com as chapas de ferro (ferromagnéticas) atraindo-as para baixo. As chapas de ferro são afastadas uma da outra, pois, além da força de atração ser maior na chapa inferior devido à maior proximidade com o campo magnético do

núcleo, a pequena chapa de aço conectada à chapa de ferro superior faz com que esta última exerça uma força com sentido para cima, ou seja, pressionando a extremidade do parafuso vertical, mantendo-a imóvel. Dessa forma, o circuito é aberto interrompendo a corrente elétrica da bobina, o campo magnético e a força de atração. Como a chapa de ferro inferior também possui uma pequena chapa de aço, ela retorna à posição inicial fechando o circuito novamente. Isso gera uma nova atração de origem magnética e faz com que o movimento da chapa de ferro inferior se repita com certa frequência.

A frequência deste marcador de tempo pode ser ajustada (manipulando o parafuso vertical) ao variar a distância entre a chapa de ferro inferior e a extremidade superior do núcleo da bobina. A pequena chapa de aço soldada na chapa de ferro inferior tem a função de retorná-la à posição inicial. Juntamente com a caneta, que é acoplada, o sistema possui uma frequência natural de oscilação que determina a velocidade do seu retorno, indo ao encontro da chapa de ferro superior. Se a distância entre a chapa de ferro inferior e a extremidade do núcleo da bobina forem diminuídos pelo parafuso vertical, a força de atração é aumentada e a distância do retorno diminuída. Isso aumenta a frequência do marcador e, em caso contrário, diminui.

Alguns resultados

Parte 1

Por meio da reta média traçada pelos pontos do gráfico, pode-se verificar que a velocidade do cilindro (ou da fita) aumentou linearmente com o tempo, o que caracteriza um movimento uniformemente acelerado.

⁴ Após isso, o parafuso não deve ser novamente manipulado até o final da experiência para não alterar a frequência do marcador

⁵ Alternada com frequência de 60Hz, neste caso.

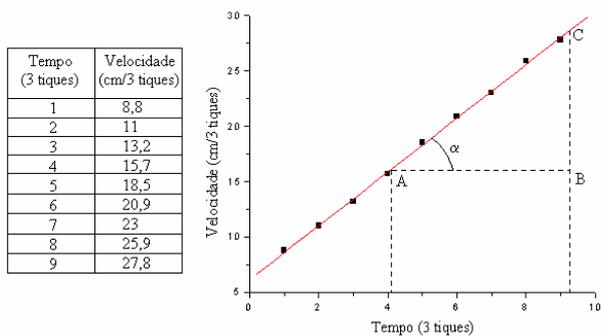


Figura 11. Resultados de uma experiência realizada conforme os procedimentos apresentados na parte 1, de acordo com a Figura 8.

$$A \text{ aceleração da gravidade} = g = \text{tga} = \frac{CB(\text{cm} / 3\text{tiques})}{AB(3\text{tiques})}$$

O coeficiente angular da reta da Figura 11 fornece o seguinte valor para a aceleração da gravidade:

$$g \cong 2,42 \text{ cm}/(3 \text{tiques})^2$$

Parte 2

Como foi dito, o movimento uniforme da fita pode ser estudado analisando-se os pontos nela marcados. No mecanismo apresentado na Figura 10, usamos uma fita (correia) com 203cm para ser marcada com velocidade constante. Nela, analisamos um espaço marcado de 141cm, encontrando um total de 400 pontos. Conhecendo o tempo total gasto pela fita ao completar uma volta (@ 9,73s), pudemos encontrar a velocidade média desse movimento em intervalos definidos de 50 pontos marcados. Nessa experiência foram usadas duas pilhas de 1,5V, ou seja, totalizando 3V.

O gráfico construído da velocidade em função do tempo deve dar uma reta paralela ao eixo do tempo. Como exemplo, apresentamos abaixo uma tabela e um gráfico dos resultados da fita acima mencionada:

nº	nº de pontos	Espaço (cm)	Tempo aproximado (s)	Velocidade da fita (cm/s)
1	50	17,7	0,847	20,9
2	50	17,4	0,847	20,5
3	50	17,7	0,847	20,9
4	50	17,6	0,847	20,8
5	50	17,7	0,847	20,9
6	50	17,5	0,847	20,7
7	50	17,6	0,847	20,8
8	50	17,7	0,847	20,9

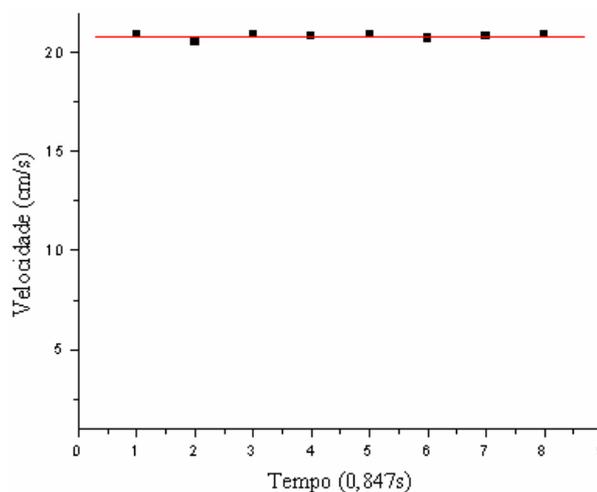


Figura 12 – Gráfico de um movimento uniforme.

Parte 3

Com o mecanismo apresentado na Figura 10, aproximamos o valor da frequência de nosso marcador para 60 hertz ao encontrarmos, em repetidas experiências, valores que oscilaram entre 58,9 a 61,2 hertz.

Utilizando os resultados mostrados na tabela da Figura 11, fizemos as conversões de 3 tiques em segundos obtendo a seguinte tabela e gráfico (Figura 13).

Tempo (s)	Velocidade (cm/s)
0,05	176
0,1	220
0,15	264
0,2	314
0,25	370
0,3	418
0,35	460
0,4	518
0,45	556

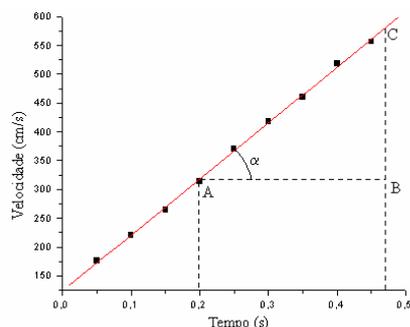


Figura 13 – Resultado obtido pela conversão, na Figura 11, de 3 tiques em segundos.

O coeficiente angular da reta desse gráfico fornece um valor de 970cm/s^2 (ou $9,7\text{m/s}^2$) para a aceleração da gravidade.

Na tabela abaixo, estão apresentados alguns valores típicos que podem ser encontrados com o aparelho, se forem seguidos os pormenores sugeridos no texto.

Tabela 1. Resultados obtidos para o valor da aceleração da gravidade local.

nº da fita	g (cm/s ²)
1	947,27
2	925,82
3	970
4	902,18
5	931,64
6	932,73
7	934,91
8	964
9	918,06
10	960,73

Essa tabela nos dá, para dez experimentos realizados, valores aproximados da média aritmética e do desvio padrão de $938,7\text{cm/s}^2$ e $20,5\text{cm/s}^2$, respectivamente, para a aceleração da gravidade, o que indica um erro em relação ao valor de 980cm/s^2 , ou $9,8\text{m/s}^2$, de 5%.

Conclusão

Este trabalho apresentou um marcador de tempo alternativo, que pode ser construído com materiais facilmente encontrados no comércio, visando a substituir o antigo marcador de tempo comercializado pela Funbec. Juntamente com o marcador de tempo, apresentou-se um mecanismo simples para estudos de movimentos uniformes, que supera em qualidade experimental aquele da Funbec que, nesse caso, é manual, o que dificulta a realização desse tipo de movimento.

Espera-se que esta alternativa seja uma solução para o professor interessado num experimento de cinemática com as características do aparelho aqui sugerido.

Referência

FUNBEC. *Laboratório Portátil de Física para o ensino do médio (2º grau): manual de experimentos para o professor*. São Paulo: EDART, 1977.

