

EXPERIMENTOS DE MECÂNICA-FÍSICA REALIZADOS COM O AUXÍLIO DO VÍDEO PARA O DESENVOLVIMENTO DA COGNIÇÃO E DE INSIGHTS NOS ALUNOS DE ENGENHARIA

Sismanoglu, B. N.; Germano, J. S. E.; Amorim, J.; Caetano, R.

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Comando Geral de Tecnologia Aeroespacial

Pça. Mal. Eduardo Gomes, 50

CEP: 03520-040, São José dos Campos, São Paulo

bogos@ita.br

Resumo: *O estudante de Engenharia e também de outros cursos correlatos de nível superior, na sua grande maioria advém de um ensino médio e fundamental deficitário, no que se refere às ciências exatas, visto que objetiva-se apenas a transmissão do conhecimento necessário ao discente para o prosseguimento de seus estudos. A falta da maturação e da inter-relação entre estes conhecimentos e a carência da experimentação resulta em deficiências observadas na formação dos estudantes, onde estes não conseguem relacionar um determinado fato experimental com a lei física envolvida e explicitar corretamente a causa geradora do fenômeno físico observado. Este trabalho relata alguns experimentos de Mecânica-Física que podem ser apresentados em sala de aula pelo professor, com o objetivo de gerar no aluno a percepção necessária para o desenvolvimento de insights, melhorar a sua capacitação e levar ao entendimento dos fenômenos físicos envolvidos. Através de uma filmadora digital e o software de domínio público VirtualDub consegue-se filmar o experimento estudado e transformá-lo numa seqüência de quadros para posterior análise.*

Palavras-chave: *Mecânica-Física, Insights, Filmadora digital, Software VirtualDub.*

1. INTRODUÇÃO

Ao estudante de Engenharia é apresentado um universo inteiro de informações e levado a adquirir um número equivalente de conhecimentos nas mais diversas áreas. Segundo o Filósofo Lonergan *insight* é o ato mental pelo qual estas informações são apreendidas como coerentes num todo ordenado e inteligível (Meynell, (1991)). Porém, para que isto de fato ocorra, é necessário que se desenvolva no aluno a capacidade de relacionar de maneira lógica, inteligível e cientificamente bem embasada todos estes novos conhecimentos. Podem-se citar alguns exemplos de ocorrências de *insights* no mundo científico:

- A hipótese da existência de partículas subatômicas chamadas *mésons* levantada por Yukawa, apenas através de considerações baseadas na Lei da Conservação de Energia; e também a descoberta destas partículas pelo Brasileiro César Lattes.

- A incessante tentativa do Astrônomo Percival Lower de encontrar o planeta-anão Plutão, baseando-se nas Leis da Gravitação Universal, e o êxito de seu aluno Clyde Tombaugh que conseguiu fotografá-lo em 1930.
- J. J. Thomson, por ter descoberto o elétron acreditando nas teorias clássicas da física, segundo as quais o elétron era uma partícula carregada; e pelo seu filho G. P. Thomson que, diferentemente de seu pai, seguiu a teoria moderna e descobriu que o elétron também sofre difração como as ondas. Ambos foram laureados com o Prêmio Nobel, em seus devidos tempos.
- A teimosia de Galileu Galilei em discordar do Método Aristotélico. Este pregava, entre outros: que “a pedra cai porque foi retirada do chão”, “o vapor d’água sobe pelo fato da chuva vir lá de cima” e o “Sol não tem “manchas” pois é a morada dos Deuses”. Galileu instituiu o Método Empírico e é considerado o “pai da ciência moderna”.

Pode-se inferir através destes exemplos que o principal fato gerador que levou a estas descobertas por parte dos cientistas e às transformações do pensamento de sua época foi, antes de tudo, o profundo conhecimento filosófico e científico, teórico e experimental, adquiridos pelos cientistas durante toda sua vida. Por vezes, este conhecimento científico não era suficiente para explicar um determinado fenômeno e, portanto, uma nova teoria deveria ser proposta a fim de solucionar o problema. Através da observação e com o uso da experimentação os cientistas lograram êxito. Por meio de inúmeros e repetitivos experimentos realizados, ou pela observação de um fenômeno físico, o experimentador de um modo geral obtém dados. Efetivamente, o entendimento do fato experimental só ocorre quando uma teoria já existente, ou uma nova teoria proposta, consegue explicá-lo. Este trabalho tem por objetivo então a proposta de experimentos de Mecânica-Física para alunos de Engenharia a fim de desenvolver nestes a capacidade cognitiva. Através da observação e da captação da informação advinda da experimentação, o aluno deverá ser capaz de compreender o fenômeno físico envolvido e propor soluções ao problema de maneira lógica e baseada nas leis físicas. A percepção do problema leva à sua solução através do pensamento lógico.

De um conjunto mais amplo de experimentos, que estão em fase de desenvolvimento e implantação no Departamento de Física do curso de Engenharia do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), destacou-se alguns que levam aos objetivos propostos anteriormente. Observou-se que, apesar de serem alunos que passaram por processos de preparação e seleção rigorosos durante seu ingresso no ITA, assim como ocorre em muitas Faculdades de Engenharia, os estudantes de Engenharia do ITA também apresentam dificuldades num primeiro contato com trabalhos desenvolvidos em ambiente de laboratório de física básica. Convém enfatizar que os experimentos propostos neste trabalho também podem ser preparados pelos professores, com o objetivo de serem filmados e apresentados em sala de aula aos alunos, conjuntamente com a abordagem teórica. Todas estas etapas do processo serão explicadas nas próximas seções deste artigo.

2. A EXPERIMENTAÇÃO E O LABORATÓRIO

Através da experimentação consegue-se compreender melhor conceitos importantes da mecânica, como velocidade, aceleração, força, leis de conservação de energia e quantidade de

movimento, entre outros. As Faculdades de Engenharia que possuem equipamentos e Laboratórios de Física Básica podem desenvolver práticas de laboratório as mais diversas possíveis, de acordo com a criatividade e conhecimentos do professor, tornando o laboratório um ambiente facilitador da aprendizagem científico-tecnológica.

Por outro lado, o laboratório nestes ambientes educacionais não tem por objetivo a realização pura e simplesmente de experimentos com a obrigação de serem desenvolvidos concomitantemente com as teorias abordadas nas aulas teóricas. Na verdade, o ambiente de Laboratório de Física existe para o discente se relacionar e interagir melhor com seus pares, nos trabalhos em grupo; para desenvolver as habilidades manuais e perceptivas; para criar o hábito da disciplina, da observação, da consciência, do respeito, da preservação do meio ambiente, da solidariedade, da ética; para o aprendizado da Teoria de Erros; para a realização de experimentos que comprovem as Leis de Conservação; entre outros.

Com estes objetivos, a atividade de Laboratório de Física Básica, onde se desenvolvem experimentos bastante conhecidos por todos, pode e deve ser realizada nos cursos de Engenharia, o que ocorre costumeiramente. O que se propõe neste artigo é um conjunto de experimentos diferenciados, de montagem simples e desonerosa, que podem facilmente ser elaborados nos Laboratórios de Física Básica. Através da filmagem, estes experimentos poderão então ser apresentados aos alunos em sala de aula.

3. EXPERIMENTOS PROPOSTOS

Propuseram-se três experimentos: o experimento clássico da corrente de elos que cai sob a ação do campo gravitacional (em duas versões, Figura 1), e o do sistema massa-mola-massa

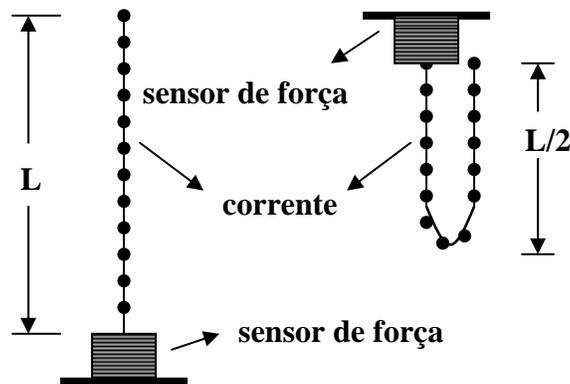


Figura 1- Experimento da queda de uma corrente de elos (esquerda) e da corrente em forma de catenária.

em queda livre. O primeiro refere-se à queda livre da corrente suspensa na vertical a partir do seu repouso, com sua extremidade inferior fixa a um sensor de força. Este recebe todo impacto dos sucessivos elos durante o tempo de queda da corrente. O objetivo aqui é mostrar que a queda livre da corrente tem intensidade de aceleração igual à da gravidade local g e que a força indicada pelo sensor aumenta durante o tempo de queda. Esta força alcança o triplo da força peso da corrente, no instante em que o último elo atinge o sensor. Este experimento pode ser apresentado aos alunos como uma preparação para o estudo de problemas mais complexos onde ocorre variação da massa, como nos casos de Lançamento de Foguetes.

O segundo experimento com corrente é uma modalidade mais complexa, executada por Schagerl *et al.* (1997), onde a mesma corrente é presa num ponto fixo (sensor de força) acima do solo (Figura 1) e a extremidade livre é abandonada do seu repouso numa posição bem próxima da outra extremidade e à mesma altura desta. O formato da corrente é de uma catenária (formato de U) com pequena abertura. A corrente de elos de metal deve ter densidade linear constante ao longo de seu comprimento e elos pequenos conectados entre si com boa flexibilidade. Comparativamente com o experimento anterior, verifica-se aqui um interessante “paradoxo”: a aceleração da corrente em queda é superior à da gravidade.

O terceiro experimento que pode ser facilmente realizado é o do conjunto formado por dois pesos unidos através de uma mola elástica. O conjunto é abandonado do seu repouso em queda livre a certa distância do chão. Este experimento parece simples mas retrata muito bem a dificuldade que o aluno apresenta ao prever o movimento dos corpos. O experimento pode ser utilizado durante as aulas de Movimento de Centro de Massa ou Movimento Relativo.

4. O USO DO VÍDEO

A utilização do vídeo como ferramenta de laboratório e de sala de aula é importante, pois ajuda a esclarecer dúvidas do objeto de estudo, permite a aquisição de dados de maneira precisa e torna o processo ensino-aprendizagem bastante atraente para o aluno. A filmadora digital localiza no espaço e no tempo o fenômeno estudado. Deste modo, usou-se como “sensor de tempo”; uma mola elástica que se deforma de acordo com a lei de Hooke fez o papel de “sensor de força”. A imagem digital gerada da filmagem da deformação extremamente rápida da mola, ou da queda de um corpo, pode ser salva no computador num arquivo de extensão *avi* (Audio Video Interleave). Através do software gratuito VirtualDub (2008), o experimento filmado pode ser transformado numa seqüência de quadros para posterior análise. Este procedimento conseguiu produzir, com a câmera utilizada, 25 quadros por segundo (0,04s por quadro). Assim, se a mola sofre uma deformação grande durante apenas 0,5s, este intervalo de tempo pode gerar 12 quadros, suficientes para se levantar uma curva que mostre a deformação da mola em função do tempo, ou melhor, a força elástica variando no tempo. Portanto, não há necessidade de sensores nem de cronômetros para realizar os experimentos. A seção de Procedimentos Experimentais fornecerá mais detalhes sobre como proceder nas filmagens.

5. TRATAMENTO TEÓRICO DOS PROBLEMAS

5.1 Corrente de elos em queda livre

Seja uma corrente de elos de comprimento total L e massa M . A Figura 2 mostra num dado instante t a distância y percorrida pela corrente, além dos vetores-força peso $\mathbf{P} = m\mathbf{g}$ do centro de massa C.M. do remanescente da corrente ainda suspensa neste instante e da força de reação \mathbf{R} da superfície horizontal.

Aplicando-se o Princípio Fundamental da Dinâmica (PFD), ou Segunda Lei de Newton, neste instante na corrente de comprimento $L - y$ de massa m tem-se:

$$mg - R = \frac{d(mv)}{dt} = \frac{dm}{dt}v + m \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

onde mv é o momento linear. Mas, $\frac{dv}{dt} = g$ e portanto $R = -v(\frac{dm}{dt})$. Como a densidade linear μ da corrente é constante pode-se escrever:

$$\mu = \frac{M}{L} = \frac{dm}{dy} \quad (2)$$

Visto que a aceleração da corrente é constante pode-se usar a equação de Torricelli para determinar a velocidade da corrente:

$$v^2 = v_0^2 + 2gy \quad (3)$$

Finalmente, substituindo-se as equações (2) e (3) em (1) determina-se R :

$$R = -v \frac{dm}{dt} = -v \frac{d}{dt} \left(\frac{M}{L} dy \right) = -v^2 \frac{M}{L} = -2Mg \frac{y}{L} \quad (4)$$

Verifica-se que R é uma força vertical e dirigida para cima e cujo módulo tem intensidade máxima igual a $2Mg$ quando o último elo atinge o contato horizontal, ou seja, para $y = L$. Neste instante, pela Terceira Lei de Newton ou Lei da Ação e Reação, a força total que a corrente exerce neste ponto de contato é igual à soma desta força $2Mg$ com o peso total da corrente Mg , resultando $3Mg$. Como todos os pequenos elos possuem aceleração g durante a queda, pode-se escrever também:

$$F = 3Mg \frac{y}{L} = \frac{3Mg}{L} \left(\frac{1}{2} gt^2 \right) = \left(\frac{3Mg^2}{2L} \right) t^2 = kt^2 \quad (5)$$

Logo, a força máxima aplicada no apoio horizontal é diretamente proporcional ao quadrado do tempo. Na montagem experimental deste artigo, que será vista na próxima seção, $M = 4,0 \times 10^{-2} \text{ Kg}$, $g = 9,78 \text{ m/s}^2$, $L = 1,35 \text{ m}$ e portanto, para o tempo em segundos, esta força em *Newtons* será:

$$F = 4,25t^2 \quad (6)$$

5.2 Catenária de corrente com vínculo em queda no campo gravitacional (bungee jump)

Na Figura 2 uma corrente em forma de U está fixa no ponto A e a outra extremidade livre é posicionada ao lado deste ponto. Num dado instante a extremidade livre B é abandonada do seu repouso. Objetivou-se determinar: a força de sustentação variável no ponto A, o tempo de queda e a velocidade da extremidade B e verificar que a aceleração de queda é maior que g . Este é um problema de difícil solução analítica, pois na realidade a corrente é constituída de elos e, portanto, o modelo que mais se aproximaria seria o de um acoplamento de pêndulos vinculados entre si; cada elo sendo representado por um pêndulo com haste rígida. Pode-se simplificar o

problema considerando inicialmente que a corrente tem densidade linear de massa constante $\mu = M/L = dm/dy$ com a possibilidade do tratamento diferencial ao longo do seu comprimento. Para facilitar usou-se a Lei da Conservação da Energia Mecânica (Symon, (1982)) para determinar a velocidade de queda e em seguida aplicou-se a equação de Lagrange (Goldstein, (1980)) para determinar a força tensora. Um tratamento Lagrangeano mais completo do problema pode ser visto em Wong *et al.* (2006).

A Figura 2 mostra a posição $y(t)$ da extremidade B no instante t após o início da queda. A corrente tendo massa M e comprimento L significa que seu centro de massa localiza-se na posição $y = L/2$ no instante em que B atinge o ponto mais baixo da trajetória. Na configuração da Figura 2 o segmento móvel da corrente (ramo da direita) tem sua massa M_d localizada no seu centro de massa Y_d e o segmento imóvel (lado esquerdo fixo em A) tem massa M_e em Y_e , dados por:

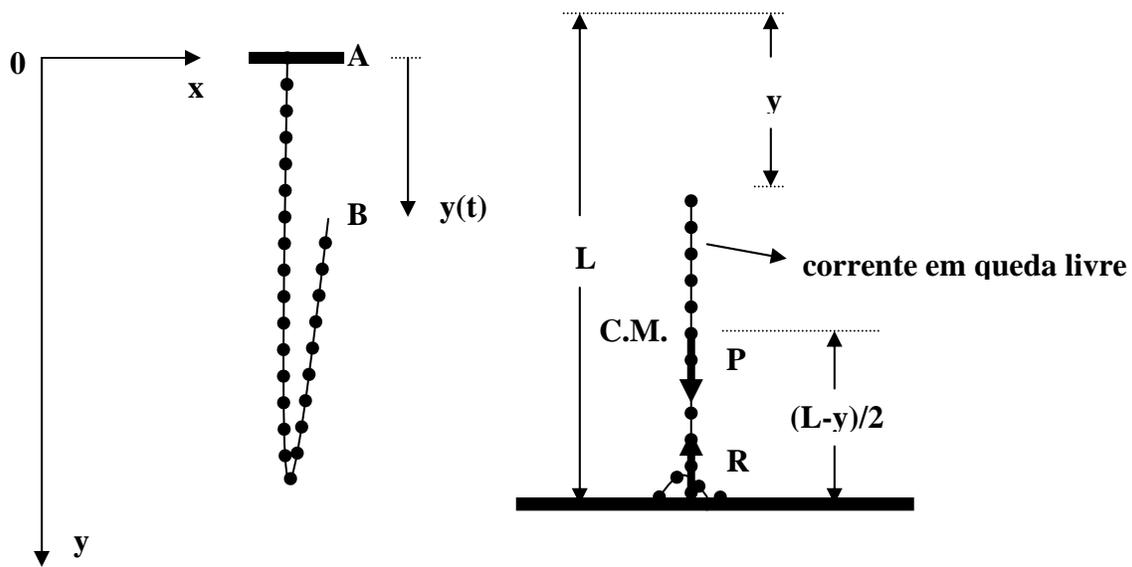


Figura 2- Corrente de elos fixa num ponto alto A e com a extremidade B livre para cair (esquerda) e corrente de elos em queda livre (direita).

$$\begin{cases} Y_d = \frac{3y + L}{4}, M_d = \frac{M(L - y)}{2L} \\ Y_e = \frac{L + y}{4}, M_e = \frac{M(L + y)}{2L} \end{cases} \quad (7)$$

Observa-se que a parte que cai “transfere massa” continuamente para o ramo esquerdo. A energia potencial dos segmentos, V_d e V_e , e a energia potencial total do sistema, V_T , para o referencial localizado em $y = 0$, serão:

$$V_d = -\frac{Mg}{8L}(L^2 + 2yL - 3y^2), V_e = -\frac{Mg}{8L}(L + y)^2, V_T = -\frac{Mg}{4L}(L^2 + 2yL - y^2) \quad (8)$$

Portanto $V_T(y = 0) = -MgL/4 > V_T(y = L) = -MgL/2$. Pode-se agora escrever a equação representativa da Lei da Conservação da Energia Mecânica total do sistema. Deste modo, a energia potencial total inicial ($y = 0$) é igual à soma entre a energia potencial total num dado instante posterior e a energia cinética da porção direita da corrente que cai:

$$-\frac{Mgl}{4} = -\frac{Mg}{4L}(L^2 + 2yL - y^2) + \frac{M}{2L}\left(\frac{L-y}{2}\right)v^2(y) \quad (9)$$

Da equação acima se pode obter a velocidade de queda da corrente:

$$v(y) = \sqrt{gy\frac{2L-y}{L-y}} \quad (10)$$

Pode-se agora escrever a Lagrangeana do sistema como a diferença entre a energia cinética da parte móvel e a energia potencial total:

$$L = T_d - V_T = \frac{1}{2}\left(\frac{L-y}{2}\right)\frac{M}{L}v^2(y) + \frac{Mg}{4L}(L^2 + 2Ly - y^2) \quad (11)$$

A Lagrangeana acima é função da velocidade e da posição para o movimento unidimensional do segmento da corrente que cai e, portanto, a Equação de Lagrange fornece exclusivamente e de modo muito direto a força tensora na corrente. Pela Equação tem-se:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial v}\right) - \frac{\partial L}{\partial y} = 0 \Rightarrow \left(\frac{L-y}{2}\right)\frac{M}{L}\frac{dv}{dt} - \frac{M}{L}\frac{v^2}{2} - \left[-\frac{M}{L}\frac{v^2}{4} + \frac{Mg}{2} - \frac{Mgy}{2L}\right] = 0 \quad (12)$$

Rearranjando os termos da equação (12) determina-se a equação do movimento da corrente:

$$M_d g + \frac{\mu v^2}{4} = M_d \frac{dv}{dt} \quad (13)$$

Do lado esquerdo da equação (13) tem-se a resultante das forças que atuam no segmento acelerado da corrente, mostrando explicitamente que ela é composta do peso e da força tensora. Isto mostra, portanto, que a aceleração é maior que g . Por fim determina-se a força tensora variável no tempo, no suporte A que sustenta o segmento de corrente do lado esquerdo. Analogamente à equação (13) pode-se escrever com o auxílio das equações (7) e (10):

$$T_A = \frac{Mg}{4} \frac{2 + 2\frac{y}{L} - 3\left(\frac{y}{L}\right)^2}{1 - \frac{y}{L}} \quad (14)$$

No instante inicial $t_0 = 0$, $y = 0$ e portanto $T_A = Mg/2$, ou seja, a metade do peso da corrente. Observa-se que a velocidade e a força tensora tendem ao infinito quando a extremidade em queda se aproxima do ponto mais baixo da trajetória, de acordo com as equações acima. Foi descrito anteriormente que estas equações foram derivadas para o caso ideal onde cada elo da corrente tem dimensão infinitesimal e, portanto, para o caso real, y/L deve ser interpretado como a razão entre o número de elos que atingiu o ponto mais baixo pelo número total de elos da corrente. Exemplificando, obtém-se a força máxima $T_A(79/81) = 11,1Mg$, para uma corrente com 81 elos quando o último elo está na iminência de alcançar o ponto mais baixo da trajetória.

Schagerl *et al.* (1997) dão uma explicação qualitativa para o fato intrigante onde a corrente neste experimento “cai” mais rápido do que no caso da queda livre, verificado experimentalmente e também previsto pela equação (13). Comparou-se o movimento do elo que chega ao ponto mais baixo da trajetória com o movimento pendular que é amortecido durante um rápido giro de 180° , posicionando-se na vertical. Com isso, essa força necessária para parar o elo é transmitida ao elo subsequente, atraindo-o para baixo. Adiciona-se a esta força interna a força gravitacional, o que explica o incremento de força necessário para acelerar a corrente acima do valor de g .

5.3 Sistema massa-mola-massa em queda livre

Outro experimento simples de ser executado e que pode ser tratado teoricamente através das leis de Newton ou equações de Lagrange, de acordo com a profundidade que se deseja, está representado na Figura 3. Atam-se dois corpos de massas idênticas nas extremidades de uma mola e o sistema é abandonado do seu repouso, quando posicionado verticalmente. Na próxima seção mostrar-se-á que a aceleração do corpo de cima diminui de $2g$ para g e o de baixo aumenta de zero a g , até o instante do encontro, que ocorre um pouco abaixo da posição inicial do corpo inferior. A aceleração do centro de massa é a própria aceleração gravitacional g .

O sistema ilustrado na Figura 3 possui massas iguais $m_A = m_B = m$ e mola com constante elástica K . Aplicando-se aqui o PFD em cada corpo separadamente, obtém-se:

$$\begin{cases} mg + K(y_B - y_A) = ma_{A, \text{corpo}-A} \\ mg - K(y_B - y_A) = ma_{B, \text{corpo}-B} \end{cases} \quad (15)$$

e resolvendo o sistema de equações determina-se a aceleração do centro de massa:

$$a_{CM} = g = \frac{a_A + a_B}{2} \quad (16)$$

No sistema de equações (15) a força elástica $F_e = K(y_B - y_A)$ tem valor máximo e igual a mg no instante inicial $t_0 = 0$ e diminui até se anular no instante em que a mola retorna ao seu comprimento natural, resultando numa aceleração para o corpo A variando de $2g$ a g neste intervalo de tempo e numa aceleração para B variando de zero a g . Assim, o centro de massa terá aceleração constante e igual a g durante todo este intervalo. No experimento deste artigo, $m = 1,0kg$ e $K = 13,6N/m$. A mola é de aço e propicia para esta massa uma deformação de $0,80m$,

intervalo bom para que se possa fazer a medição da variação da deformação da mola e da posição dos corpos em função do tempo, através dos 8 quadros gerados pela filmagem do movimento.

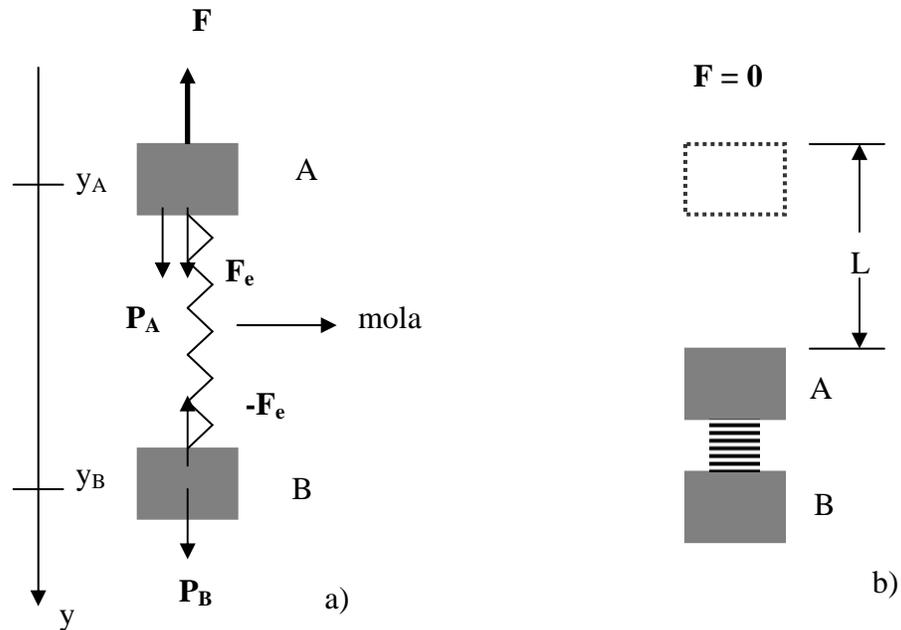


Figura 3 - Sistema massa-mola-massa disposto verticalmente em equilíbrio através da aplicação da força F (a) e abandonado a partir do seu repouso ($F = 0$, (b)).

6. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS E RESULTADOS

A Figura 4 mostra o procedimento sugerido que deve ser seguido durante a fase de obtenção de dados. Logo após a montagem do experimento, posiciona-se a câmera digital ou webcam focalizando o segmento do experimento que se deseja investigar, como por exemplo a deformação de uma mola. Transfere-se este filme para o computador e converte-se na extensão *avi*. Através do VirtualDub selecionam-se os quadros mais interessantes do movimento que se queira estudar.

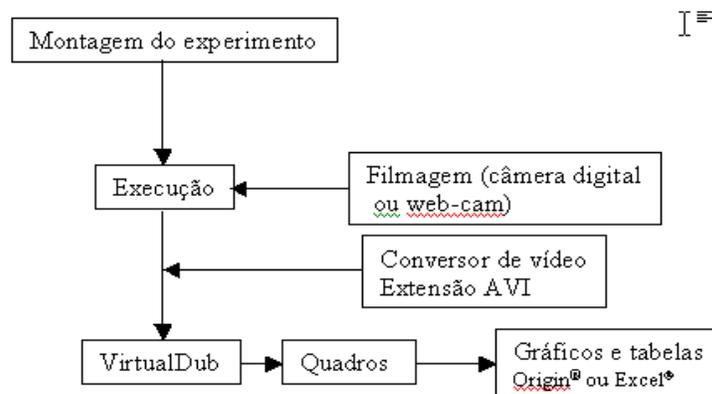


Figura 4 - Fluxograma do procedimento experimental

6.1 Corrente de elos em queda livre

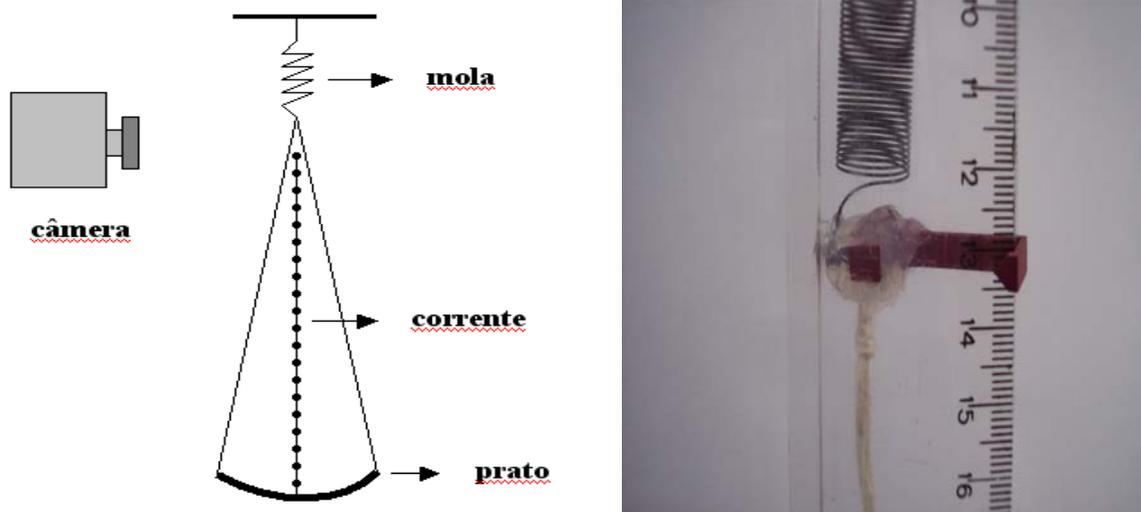


Figura 5 - Montagem experimental da queda livre da corrente (esquerda) e detalhe da fixação do ponteiro na extremidade inferior da mola.

A Figura 5 representa a montagem necessária para a realização do experimento da corrente em queda livre. Poderia ter-se usado uma balança de precisão para a medição da força trocada com a corrente que cai sobre sua superfície. Esta força varia com o tempo de acordo com a equação (5). Como o tempo de queda é pequeno, inferior ao tempo de resposta da balança, esta possibilidade foi descartada. Para a medição da variação da força com o tempo, utilizou-se então uma mola elástica que verticalmente sustenta um prato (Figura 5). Neste, prende-se o elo mais baixo da corrente a fim de garantir a queda vertical da mesma.

Como a corrente gradativamente cai no prato, a deformação da mola pode fornecer a variação da força em função do tempo. A imagem da deformação da mola é captada através da filmadora. Para visualizar-se com mais nitidez a extremidade da mola e seu deslocamento, colocou-se um ponteiro que desliza sobre uma régua milimetrada, conforme se observa na Figura 5.

A partir do filme gerado da deformação da mola e com o uso do VirtualDub, pode-se construir uma tabela elencando a deformação da mola em função do tempo. Porém, não se deve esquecer-se de focalizar não só o conjunto mostrado na Figura 5 como também o operador segurando a extremidade superior da corrente, para que se saiba o exato instante do seu abandono.

Para a montagem experimental deste artigo, conforme se apresentou na seção 5.1, o cálculo teórico do tempo de queda fornece $0,53s$. Pelos quadros fornecidos pelo VirtualDub, a deformação máxima da mola ocorre no instante $0,52s$. Logo, há muito boa concordância entre estes valores. Filmando-se o prato, observa-se que no instante $0,52s$ o último elo atinge a superfície deste e, a partir daí, o prato começa a se deslocar para cima. Isto mostra que a mola sofre deformação apenas durante o intervalo de tempo em que os elos atingem o prato. Na próxima seção será feita a comparação entre este movimento e o do “bungee jump”.

6.2 Catenária de corrente com vínculo em queda, tipo “bungee jump”

A Figura 6 mostra a corrente presa na mola suspensa na vertical e o operador segurando a outra extremidade da mola. A corrente é idêntica àquela utilizada no experimento de queda livre, de massa $0,040\text{Kg}$ e comprimento $L = 1,35\text{m}$. Esta corrente não é a mais indicada para este tipo de experimento visto que os elos são grandes e soltos. A corrente de bolinha usada para acionar

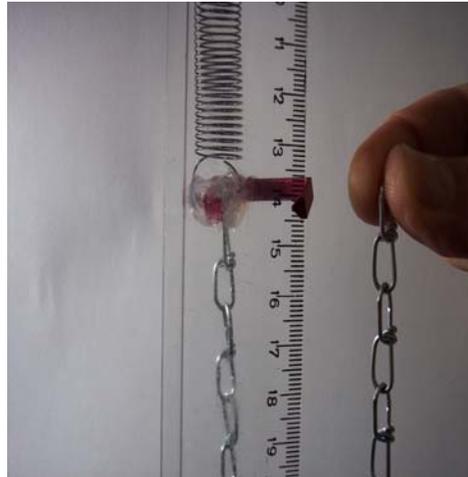


Figura 6 - O experimento da catenária em queda livre (“bungee jump”).

ventiladores de teto é mais apropriada, porém é mais custosa. Mesmo assim, verifica-se neste experimento que a queda da corrente tem aceleração com intensidade superior a g .

Citou-se anteriormente que a queda livre desta corrente ocorre em $0,53\text{s}$. De acordo com o gráfico da Figura 7, a deformação máxima da mola, que se dá no instante em que o último elo

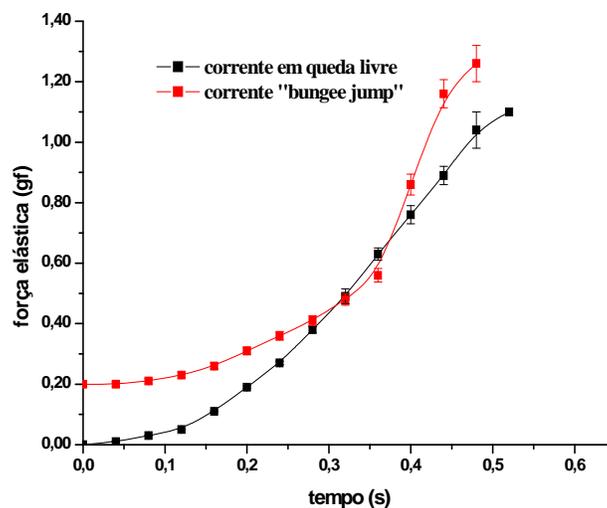


Figura 7 - Gráfico experimental da variação da força elástica em função do tempo, no experimento da catenária de corrente em queda (“bungee jump”) e da corrente em queda livre.

atinge o ponto mais baixo da trajetória, ocorre no instante $0,48s$, ou seja, abaixo do tempo de queda livre. Observa-se neste gráfico que no instante $t_0 = 0$ a força elástica é de $0,20N$, pois neste instante a mola sustenta a metade do peso da corrente, e o operador, a outra metade (ver Figura 6).

A Figura 7 também mostra o gráfico da variação temporal da força para a corrente em queda livre. Através deste gráfico nota-se que a força máxima experimental, $1,1N$, está bem próxima do valor teórico obtido pela equação (6), $1,2N$.

O gráfico da Figura 7 compara os dois experimentos descritos anteriormente, simultaneamente. Enquanto que na queda livre da corrente a força varia quadraticamente, em concordância com a descrição teórica, para o caso do “bungee jump” observa-se que a força aumenta rapidamente nos instantes finais da queda, entre $0,35s$ e $0,45s$, devido ao fato da aceleração ser superior a g .

Estes dois experimentos, além de outros tantos, são objeto de estudo nas aulas teóricas de mecânica do ITA, ministradas no Depto de Física. Durante vários anos a abordagem foi exclusivamente teórica e se observava a dificuldade dos alunos em “visualizar” o fenômeno estudado, e não havia um experimento associado que mostrasse os resultados obtidos através dos cálculos. No ano de 2007 procedeu-se na montagem destes experimentos sugeridos neste artigo e, juntamente com a explanação teórica, foi apresentada aos alunos a filmagem e todo o procedimento que levava aos resultados desejados. Com isto, alguns aspectos importantes dos experimentos foram discutidos e estudados com mais detalhes, devido à riqueza de informações obtidas através dos gráficos elaborados a partir da experimentação.

6.3 Sistema massa-mola-massa em queda livre

Este é um interessante experimento onde se mostra o movimento de dois corpos, ligados através de uma força variável no tempo e submetidos à ação de uma força externa constante, a força gravitacional que atua no seu centro de massa, acelerando-o constantemente no tempo. No experimento, a mola de aço tem comprimento natural de $0,80m$ e constante elástica $K = 13,6N/m$ e as massas têm $1,0kg$ cada uma. A Figura 9 mostra o instante em que o corpo superior é abandonado do seu repouso. Até então o operador na realidade fazia uma força de aproximada-

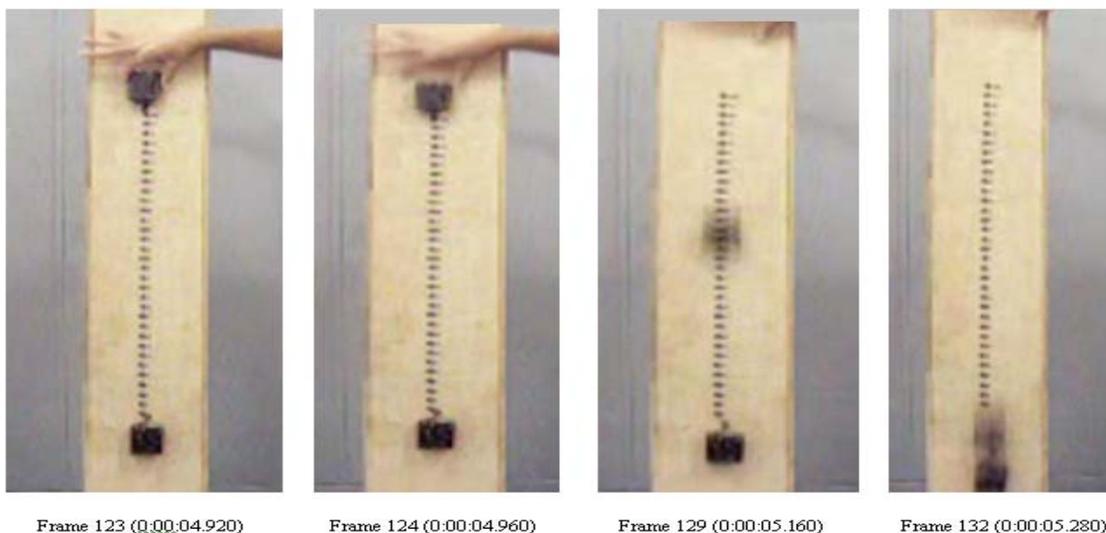


Figura 9 – Sistema massa-mola-massa em queda livre.

mente $20N$ para sustentar o conjunto massa-mola-massa. Este instante inicial é representado pelo quadro 124 e instante $4,96s$. Curiosamente observa-se no quadro 129, ou seja $0,20s$ após o abandono, que o corpo inferior praticamente não se mexeu.

Visto que a mola tem um comprimento natural que deve ser considerado, o problema deve ser tratado através da localização dos corpos (espaço em função do tempo) e para isto uma superfície vertical graduada (que seja visível na filmagem) foi posicionada logo atrás do conjunto. Com este dado da posição dos corpos em função do tempo consegue-se determinar a deformação da mola (e a força elástica), também em função do tempo. Assim, a força resultante em cada corpo variando no tempo pode ser calculada e, através do PFD, obtém-se finalmente a aceleração de cada móvel. A aceleração do corpo superior diminui na mesma proporção em que a aceleração do corpo inferior aumenta, até o instante do encontro (Figura 9), onde ambos têm aceleração g .

A Figura 10 mostra esta variação da aceleração dos corpos. De acordo com a equação (16) pode ser verificado que a aceleração do centro de massa é dada pela média aritmética das acelerações.

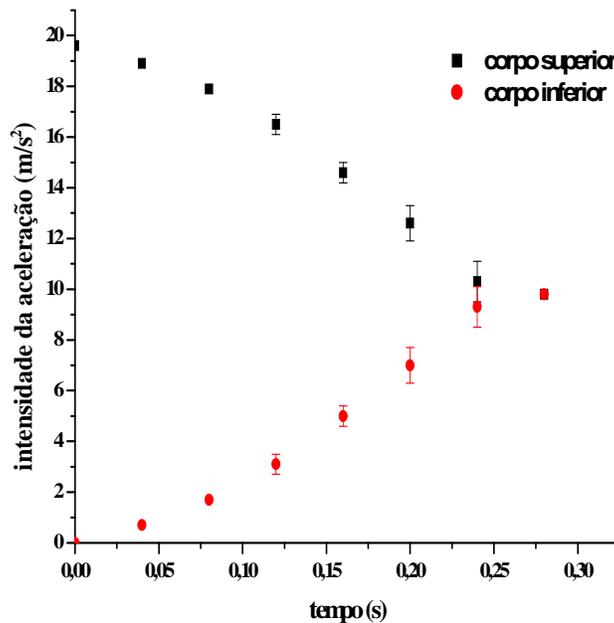


Figura 10 - Gráfico da aceleração dos corpos, unidos por uma mola, em função do tempo (direita).

O que mais intriga ao incauto neste experimento é o fato de que, apesar do sistema ter sido abandonado para que caísse em queda livre, observa-se nestes quadros que o corpo B, de massa considerável, inicialmente fica parado e só começa a se movimentar lentamente quando o corpo A já desceu quase $0,40m$, no quinto quadro. Ao ser apresentado com a situação inicial, mostrada no quadro 123 da Figura 9, invariavelmente as respostas do aluno ao possível resultado são: “os dois caem juntos”; “o de cima desce e o de baixo sobe”; “ah, eu sei, pode mostrar os quadros...”. Einstein gostava de imaginar e solucionar mentalmente experimentos, às vezes prontamente, sem o uso do laboratório. Este movimento dos corpos com a mola sem dúvida é de difícil solução.

7. CONCLUSÃO

A câmera de vídeo digital pode ser útil no processo pedagógico no sentido de se levar ao aluno o conhecimento e o entendimento de fenômenos físicos de processos complexos e muito rápidos, principalmente no estudo de movimentos.

Fenômenos físicos de concepção simples como a da queda livre dos corpos podem ser estudados através de experimentos que se utilizam do vídeo como contador de tempo. Outros mais complexos, como a da corrente em queda, podem ser implementados com a ajuda da câmera de vídeo, que localiza o fenômeno no espaço e no tempo.

A utilização do vídeo nestes casos é importante, pois ajuda a esclarecer dúvidas do experimento, visto que o movimento é bastante rápido, permite a aquisição de dados de maneira precisa e torna o experimento bastante atraente para o aluno. A motivação alcançada com o uso da câmera de vídeo é observada através da promoção de um ensino mais eficaz. Deste modo, a aprendizagem torna-se mais ativa, com a participação efetiva do grupo de alunos, devido ao fato de que estes se sentem mais motivados a estudarem o fenômeno através da captura da imagem do seu movimento pela filmadora. A análise quadro a quadro do movimento revela manifestações do experimento que a princípio não se poderia facilmente perceber.

O software gratuito VirtualDub, simples de ser usado e de muita versatilidade, mostrou-se bastante eficaz na transformação da imagem do vídeo em quadros, igualmente espaçados no tempo. A observação destes quadros ajuda a entender o fenômeno observado e a captar as variáveis físicas envolvidas, como tempo, distância e força. Durante as aulas teóricas de física, é importante que se apresente ao aluno de Engenharia estes quadros representativos de um movimento estudado. Com isto, o desenvolvimento da percepção será favorecido, além da capacidade da observação, aspectos importantes que todo Engenheiro deverá possuir.

Referências

- GOLDSTEIN, H. Classical Mechanics, Addison-Wesley, 2nd. Ed., California, USA, 1980.
MEYNELL, H. A. An Introduction to the Philosophy of Bernard Lonergan. Macmillan Academic and Professional Ltd, London, UK, 1991.
SCHAGERL, M.; STEINDL, A.; STEINER, W.; TROGER, H. On the paradox of the free falling folded chain, Acta Mech. v. 125, p. 155- 168, 1997.
SYMON K. R., Mecânica, Editora Campus, Rio de Janeiro, Brasil, 1982.
VirtualDub, www.virtualdub.org, acesso em 26/02/2008.
WONG, C. W.; YASUI, K. Falling chains, Am. J. Phys. v. 74, n. 6, p. 490-496, 2006.

MECHANICS EXPERIMENTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE COGNITION AND INSIGHTS IN ENGINEERING STUDENTS

Abstract: The student of Engineering and also of other related courses, in the vast majority comes from a deficient secondary and high school, as regards the exact sciences, since only

objective is the transmission of knowledge to pupils necessary for the continuation of their studies. The lack of maturity and the interrelationship between these knowledge and experimental classes are deficiencies observed in student's development, where they cannot link a particular experimental fact with the law of physics involved and properly explain the cause of physical phenomenon observed. This paper reports some of Mechanics-physics experiments that can be displayed in the classroom by the teacher, with the goal of generating in students the perception necessary for the development of insights, improve their training and lead to the understanding of physical phenomena involved. Through a digital camcorder and free software VirtualDub we are able to shoot the physical experiment studied and transform it into a sequence of frames for further analysis.

Key-words: *Mechanics-physics, Insights, Camcorder, Software VirtualDub.*