

Laboratórios real e virtual para o Ensino de Física em uma só ferramenta: CVMob

Marcelo do Vale Cunha¹, Lorena Peixoto Nogueira Rodriguez Martinez Salles Corrêa²,
Thiago Figueiredo² Norberto Peña³, José Garcia Vivas Miranda²

¹Instituto Federal da Bahia, Barreiras, BA, Brasil

²Laboratório de Física Nuclear Aplicada, Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia

³Departamento de Fisioterapia, Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Bahia

marcelovale@ifba.edu.br, {lorepeixoto, figueiredo.aeon, norbertopena76, vivasm}@gmail.com

Abstract. *There is an increasing search for new methodologies in teaching physics that interest the students. Educational software have been developed, in contexts in which real experiments do not possess the appropriate efficacy. However, not always explore real situations, with all its inaccuracies. This paper presents possibilities of using CVMob inexpensive tool for teaching physics. Real experiments are proposed (free fall launch oblique and leap). The results are consistent with the existing physical models. From this, new possibilities arise for instrumentation in teaching and constructive interactions of students and teachers with the natural phenomena through the use of CVMob.*

Resumo. *Existe uma busca crescente por novas metodologias no ensino de Física que despertem o interesse dos estudantes. Softwares educacionais têm sido desenvolvidos, em contextos nos quais experimentos reais não possuem a eficácia adequada. Contudo, nem sempre exploram situações reais, com todas as suas imprecisões. Este trabalho apresenta possibilidades de uso da ferramenta de baixo custo CVMob para o ensino de física. São propostos experimentos reais (queda livre, lançamento oblíquo e o pulo). Os resultados são coerentes com os modelos físicos existentes. A partir disto, novas possibilidades se apresentam para a instrumentação no ensino e para interações construtivas de estudantes e professores com os fenômenos naturais por meio do uso do CVMob.*

1. Introdução

De maneira geral, estudantes apresentam pouco interesse e muita resistência ao estudo de conceitos associados à Mecânica e à Biomecânica. A primeira é um ramo da Física que estuda o movimento (descrição e suas causas). A segunda, visa aplicar conceitos da Mecânica no estudo do movimento humano e, com isso, contempla aplicações em áreas como Educação Física, Fisioterapia e Medicina.

Segundo Fiolhais and Trindade 2003, uma característica da disciplina Física que a torna popularmente difícil para os alunos é o fato de lidar com conceitos abstratos. A capacidade de abstração dos estudantes, em especial os com pouca base em matemática, é reduzida. Em conseqüência, muitos deles não conseguem relacionar os conteúdos da Física com a vida real.

Uma tentativa de minimizar esta dificuldade constatada, seria o uso de experimentação, com o propósito de aproximar os conceitos científicos da realidade tangível do aluno, dando sentido ao conteúdo aprendido. Entretanto, o ensino em laboratórios convencionais requer, geralmente, o uso de espaços físicos, com materiais e kits especialmente preparados para cada experimentação. Exigência que, de acordo com Forte et al. 2008, fica acima das possibilidades reais da maioria dos estabelecimentos de educação do país, seja por falta de espaço físico adequado, ausência de instrumentação adequada ou pela não substituição ou manutenção de kits.

Com o advento da educação não-presencial, esta discussão torna-se ainda mais importante, permeando a noção de que, em casa, os alunos desta modalidade de ensino não teriam a possibilidade de experimentação em um laboratório, tal como os alunos de curso presencial. Uma tentativa de contornar tal situação é a introdução do computador como meio de simulação, i.e. os laboratórios virtuais [Forte et al. 2008]. Com o desenvolvimento das *tecnologias da informação e comunicação*, pode-se realizar com facilidade simulações computacionais interativas, que criam ambientes virtuais que transpõe a experimentação do fenômeno natural para a tela do computador [Hohenfeld and Penido 2009].

Experimentos virtuais¹, em geral, são capazes de dar informações detalhadas sobre o movimento de um corpo, o que não acontece, em geral, com experimentos reais. Por exemplo, um software que apresente o fenômeno da queda livre pode mostrar para o estudante o valor da velocidade do corpo em cada instante do movimento. Isto não é tão simples em um laboratório didático convencional, ao se realizar o mesmo experimento.

No que diz respeito ao resultado final do fenômeno, um experimento virtual, ainda que seja admitida a possibilidade de uma dissipação, não é capaz de reproduzir fielmente às inúmeras possibilidades de resultados de um experimento real, causados por interferências externas, e.g. erros sistemáticos, resistência do ar e atritos. As divergências com o modelo teórico são importantes, pois possibilitam discussões interessantes entre estudantes e professores sobre os fenômenos naturais observáveis.

O CVMob contribui para resolver essa questão. A partir dele, o estudante pode, não só ver detalhes sobre o movimento de um corpo, como também ter inúmeras possibilidades de resultado final, de acordo com as leis e circunstâncias naturais existentes durante o experimento. Assim, espera-se que esta prática ajude professores a explicarem melhor os modelos físicos teóricos para seus alunos e que incentive a apreensão de conceitos da Biomecânica, em estudos sobre a motricidade humana ou animal [Pena et al. 2013].

Este trabalho sugere algumas aplicações para o uso desta ferramenta em um contexto didático, para que haja uma melhor transposição do laboratório convencional para à tela do computador, onde obtém-se análises detalhadas sobre a cinemática do movimento de um experimento real. A Seção 2 apresenta a ferramenta. A Seção 3 descreve a metodologia para esta transposição didática e as seções subsequentes descrevem algumas aplicações para o ensino de física, e.g. queda livre, foguete de água de baixo custo e um exemplo de biomecânica no ensino de física.

¹Define-se aqui como *experimento virtual*, àquele que é realizado em um programa de computador e *experimento real*, àquele que é realizado em um laboratório de física convencional ou a um fenômeno físico observável.

2. O CVMob

O CVMob constitui uma ferramenta computacional gratuita, desenvolvida em linguagem C++, utilizando o framework QT4 e a biblioteca de visão computacional OpenCV. Trata-se de um medidor de parâmetros mecânicos do movimento da trajetória, velocidade e aceleração, que adota por base algoritmos de visão computacional aplicados a quaisquer vídeos de objetos em movimento. O instrumental necessário resume-se a uma câmera digital e um computador doméstico, com o programa instalado.

A ferramenta aplica técnicas de visão computacional com análise do fluxo de pixels em vídeos, localizando e acompanhando padrões de imagens. Sua principal serventia está em analisar movimentos. Tanto a qualidade das medidas instrumentais, quanto a confiabilidade estatística dos cálculos envolvidos em seu processamento, surpreendem positivamente em seu processo de validação [Pena et al. 2013].

O procedimento para o seu uso é simples. Filma-se o experimento e a posteriori analisa-se cinematicamente e mecanicamente os parâmetros de seu movimento através do programa. As especificações mínimas da câmera dependerão da velocidade com que ocorre o evento que se queira estudar. Com um simples procedimento de calibração, ele transforma a velocidade em *pixel/frame* para *metro/segundo*.

Seu uso é muito facilitado, visto a sua interface gráfica, bem como seu manual explicado de forma didática². Pena et al. 2013 validaram esta ferramenta para uma câmera de vídeo de 30 frames por segundo (30fps) em um laboratório convencional, utilizando um pêndulo simples como modelo físico. Suas aplicações vão além do ensino de física (Figura 1). Figueiredo 2013 analisa tremores em parkisonianos utilizando o CVMob (Figura 2). França et al. 2012 utilizaram o CVMob para comparar trajetórias de formigas em pânico e sem pânico.

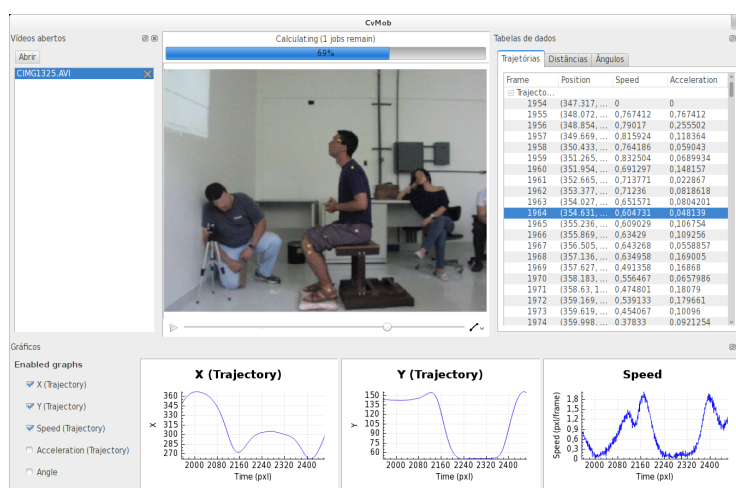


Fig. 1. CVMob sendo usado em uma aula de Biomecânica. O programa apresenta-se com esta interface no sistema operacional Linux. As demais interfaces exibidas aqui neste artigo estão no ambiente Windows.

²O software, juntamente com seu manual pode ser obtido em <http://cvmob.sourceforge.net>.

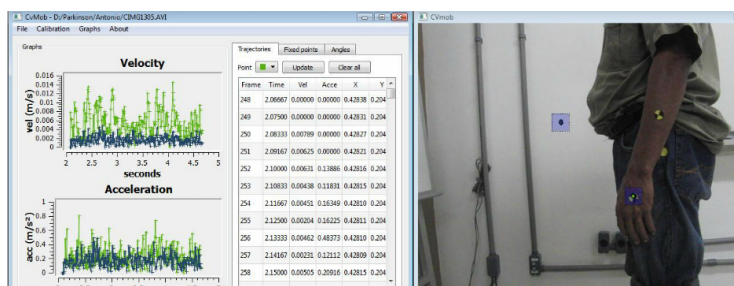


Fig. 2. CVMob sendo usado para estudar tremores em pessoas parkinsonianas [Figueiredo 2013, p.67]

3. Metodologia

A proposta deste trabalho envolve a filmagem de uma série de experimentos de Física e de Biomecânica, para posterior análise a partir do software CVMob. O algoritmo empregado segue pontos previamente marcados, a partir do contraste deste ponto com seus vizinhos, em uma matriz de pixels bidimensional. Por esse motivo, os experimentos precisam ser limitados a análises bidimensionais do movimento. Após a filmagem do experimento é preciso rodar o filme a partir do CVMob. Antes, porém, é preciso realizar o processo de calibração.

Em qualquer experimento filmado é preciso o uso de um calibrador. Este pode ser uma placa com pontos de distância conhecida ou simplesmente qualquer objeto ou cenário em que se conheça a distância entre dois pontos da imagem, no mesmo plano do fenômeno a ser analisado.

Sabemos que uma filmagem nada mais é do que uma sequência de fotografias. A rapidez com que o obturador da máquina tira estas fotos também é uma informação importante no processo de calibração. De posse dessas informações no processo de calibração, as posições de pontos em movimento no plano onde ocorre o experimento podem ser medidas, bem como suas taxas de variação ao longo do tempo, i.e. velocidade e aceleração. Isso por que o plano do experimento é o mesmo plano do calibrador.

Após concluída a calibração, é possível marcar um ou mais pontos no vídeo³ e acompanhar a evolução de suas trajetórias, ao passo que o CVMob desenha os gráficos que relacionam posição, velocidade e aceleração dos movimentos dos pontos, bem como tabelas em que estes gráficos se baseiam.

Estes dados podem ser facilmente exportados para outro software de planilha eletrônica e análise gráfica, caso o pesquisador deseje aprofundar suas análises. Nas seções seguintes, alguns experimentos possíveis de serem analisados pelo CVMob.

4. Queda de um corpo

O CVMob pode ser utilizado para se medir a aceleração da gravidade de um dado laboratório, a partir da queda livre de um corpo. A Figura 3 mostra esta situação, com o

³Recomenda-se a escolha de pontos que ofereçam um bom contraste com seus vizinhos durante todo o movimento. Há situações em que este contraste não existe. Neste caso, recomenda-se colar adesivos nos pontos onde se deseja estudar o movimento, de cores diferentes desses pontos, para que assim exista o contraste com sua vizinhança.

uso de uma simples camera de video de 30 fps. Uma filmagem com este tipo de camera captura 30 fotos em 1 segundo. Neste tempo um corpo cai cerca de 5 m.

Para contornar esta dificuldade, sem substituir a camera de baixo custo, optou-se por capturar pontos na trajetória de subida, com mais alguns na descida, após atingir a altura máxima, já que contemplam pontos com velocidades baixas. Assim, é possível obter muitos pontos para melhor ajuste ao modelo físico real.

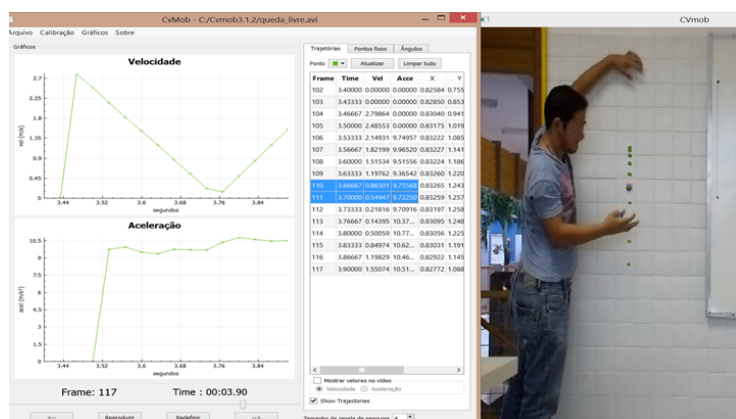


Fig. 3. Corpo em movimento vertical para cima, após cair livremente de uma certa altura. Os pontos, tabelas e gráficos indicam a trajetória, velocidade e aceleração do corpo obtidos pelo CVMob. A calibração foi feita a partir dos pontos marcados na lousa (50 cm) e de uma câmera que filma a 30 fps.

A partir de situações, como a da Figura 3, professores e alunos podem discutir o movimento detalhadamente, exatamente como ele acontece. Observa-se na Figura 3 que os gráficos exibem trechos que se aproximam de situações ideais, e.g., velocidade variando linearmente com o tempo, com gráfico que possui inclinação de valor numérico próximo ao da gravidade local.

5. Foguete d'água

A Figura 4 mostra o lançamento oblíquo de um foguete feito com garrafa pet e impulsionado por água. O experimento é de baixo custo e pode ser facilmente desenvolvido por alunos sob a orientação de um professor, em uma atividade de Física. Como este movimento é praticamente bidimensional, torna-se viável o uso do CVMob. Ajustou-se o ângulo⁴ de lançamento para $\theta = 30^\circ$. A escolha deste ângulo foi feita após sucessivos lançamentos, 30° foi o que apresentou a melhor relação altura máxima e alcance (que coube na tela). O ângulo de 60° tem aproximadamente o mesmo alcance, entretanto com uma altura máxima maior, sendo difícil para caber na tela do vídeo. A distância de 3m na figura serviu para fazer a calibração.

O movimento do foguete pode ser desmembrado em dois movimentos, um na horizontal (Equação 1) e outro na vertical (Equações 2 e 3).

$$x = x_0 + v_{0x} \cdot t \quad (1)$$

⁴O ângulo foi ajustado com auxílio de um transferidor, entretanto o CVMob também mede ângulo a partir de 3 pontos.



Fig. 4. Lançamento de um foguete feito com garrafa pet. O ângulo de lançamento foi ajustado para 30° .

$$y = y_0 + v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (2)$$

$$V_y^2 = V_{0y}^2 + -2 \cdot g \cdot \Delta y \quad (3)$$

Nas equações, (x, y) são as coordenadas do foguete; $v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}$, sua velocidade inicial; e g , a aceleração da gravidade.

A Figura 5 apresenta o foguete em instantes diferentes⁵, destacando as situações de *alcance* ($\Delta y = H$) e de *altura máxima* ($x = A$). A Figura 6 por sua vez, revela os valores destas quantidades, obtidas pelo CVMob.

Na *altura máxima*, $v_y = 0$. Assim, a Equação 3 se reduz à Equação 4.

$$H = \frac{V_{0y}^2}{2 \cdot g} \quad (4)$$

A condição de *alcance máximo*, implica em $y = y_0$ e reduz a Equação 2 à Equação 5, que calcula o tempo de voo do foguete.

$$t_{voo} = \frac{2 \cdot V_{0y}}{g} \quad (5)$$

A Equação 4 pode ser reescrita para a Equação 6.

$$g = \frac{V_{0y}^2}{2 \cdot H} \quad (6)$$

⁵A configuração do canto inferior direito apresenta 2 instantes. As fotografias estão sobrepostas para melhor visualização neste artigo.



Fig. 5. Diferentes instantes para o lançamento do foguete.

Assim, com a inserção do tempo de vôo (Equação 5) na Equação 1, combinados com a Equação 6, pode-se obter o alcance em função da altura máxima, independente do valor de g , Equação 7.

$$A = \frac{2 \cdot H}{\operatorname{tg}\theta} \quad (7)$$

Substituindo os valores encontrados pelo CVMob (Figura 6), encontramos $\theta=27,3^\circ$. Este ângulo deveria ser 30° , caso não existisse forças dissipativas durante movimento, e.g. força variável da reação da água no lançamento e a força de atrito do ar.

O professor pode discutir com os alunos, a partir do resultado, de que forma essas o comportamento dessas forças e dos erros sistemáticos podem afetar o resultado teórico esperado, assim como dispor de outras abordagens de seu interesse e da turma.

6. Biomecânica no Ensino de Física

Para os professores da disciplina de Biomecânica - área de conhecimento que visa aplicar os conceitos de Mecânica no estudo do movimento humano - os estudantes apresentam, de uma maneira geral, pouco conhecimento, pouco interesse e muita resistência ao estudo destes conceitos, necessários ao estudo da disciplina. O CVMob pode motivar alunos e professores desta área a partir do uso em experimentos simples com o corpo humano, como por exemplo o movimento de levantar e sentar ou de um pulo (Figura 7).

Sabe-se que a posição $y(t)$ de um corpo submetido apenas à força peso é obtida pela Equação 2. O gráfico da Figura 8 mostra como varia a posição vertical de um ponto próximo aos dedos do pé em função do tempo. A partir do ajuste deste gráfico, para a mesma curva da Equação 2, é possível identificar o valor da aceleração da gravidade local, $g = 2 \cdot 5.43 = 10,86 \text{ m/s}^2$.

Ao estudar *energia mecânica*, o aluno aprende que um corpo quando abandonado de uma certa altura, numa região de atrito do ar desprezível, atinge o solo com velocidade



Fig. 6. Coordenadas obtidas pelo CVMob, para o cálculo do alcance e de altura máxima. De acordo com a figura, $H = (371\text{cm} - 131\text{cm}) = 2,40$ e $A = (1183\text{cm} - 242\text{cm}) = 9,41\text{m}$.

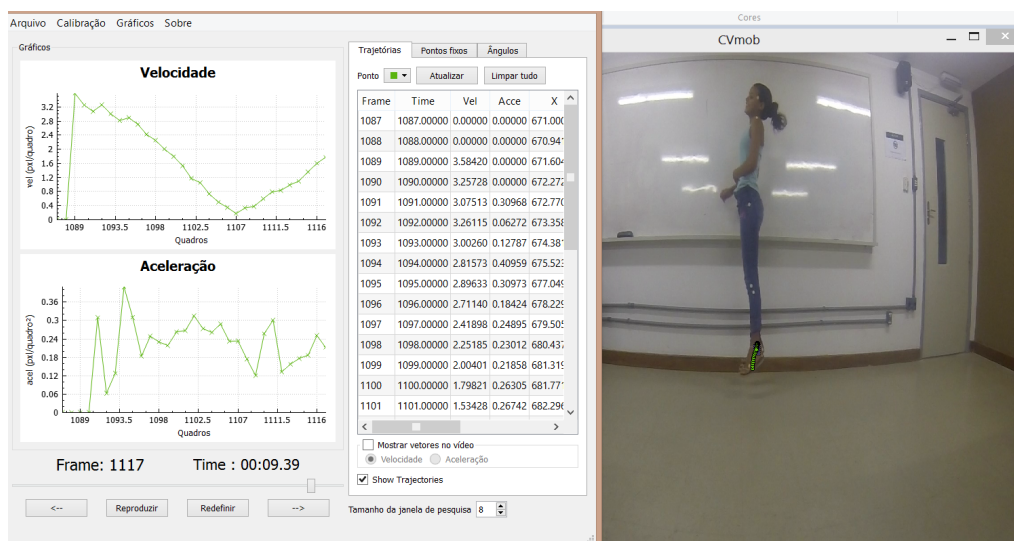


Fig. 7. Trajetória de pontos entre o tornozelo e os dedos do pé de uma garota de 40 kg, quando realiza um pulo utilizando máximo esforço. A calibração foi feita a partir dos pontos situados em sua cabeça e ombro (18 cm) e de uma câmera que filma a 120 fps.

dada pela Equação 8 (Equivalente à Equação 3, quando $v_{0y} = 0$).

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \tag{8}$$

Sabendo que a diferença entre as posições verticais extremas $h = y_{max} - y_{min} = 1,93\text{ m}$, temos, pela Equação 8 que $v = 1,98\text{ m/s}$.

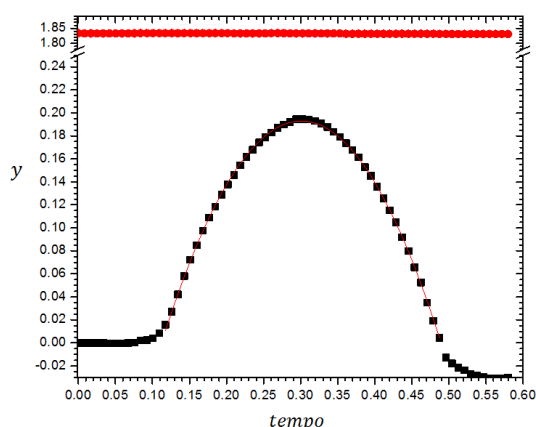


Fig. 8. Posição vertical em função do tempo para dois pontos: (a)fixo, escolhido arbitrariamente; (b)situado no pé da garota, em preto. Em vermelho, a parábola de melhor ajuste para o movimento do pé ($R^2 = 0.999$; equação $y(t) = -5,43 \cdot t^2 + 3,26 \cdot t - 0,23$). Este gráfico também pode ser obtido pelo CVMob (com excessão da curva de ajuste).

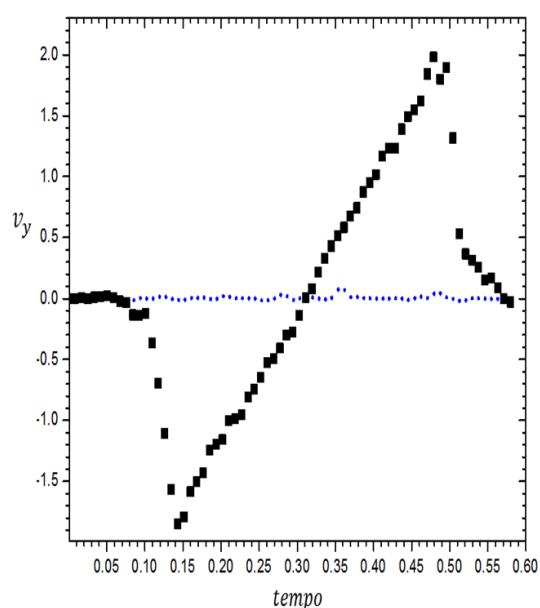


Fig. 9. Velocidade vertical em função do tempo para dois pontos. Um fixo escolhido arbitrariamente (em azul) e outro situado no pé da garota (perto dos dedos), em preto.

A partir de um experimento como este, pode-se encontrar também a variação de momento linear (Equação 9) durante um intervalo de tempo Δt , para um ponto próximo aos dedos do pé⁶ e medir indiretamente a *força média* com que o chão exerce sobre o pé da garota, tanto na descida, quanto na subida ($F_{resultante} = F_{chao} - F_{peso}$).

$$\vec{F}_{resultante} \cdot \Delta t = m \cdot (\vec{V}_{final} - \vec{V}_{inicial}) \quad (9)$$

O gráfico da Figura 9 mostra como varia a velocidade de um ponto próximo aos dedos do pé em função do tempo. A partir deste gráfico, podemos identificar que a variação de velocidade causada pelo impacto com o chão na descida é de $\Delta v_{descida} = 1,98 \text{ m/s}$ e na subida é de $\Delta v_{subida} = 1,85 \text{ m/s}$, com intervalos de tempo de $\Delta t_{descida} = 0,09 \text{ s}$ e $\Delta t_{subida} = 0,14 \text{ s}$, respectivamente.

Inserindo estes valores na Equação 9, obtemos, em módulo, $F_{resultante} = 861,74 \text{ N}$. Este resultado nos mostra que a garota exerce uma força média no chão de $F_{chao} = 861,74 + 40 \cdot 10,86 = 1296,14 \text{ N}$, equivalente a três vezes o seu peso.

O uso do CVMob neste simples experimento, que pode ser facilmente realizado em sala de aula, pode render discussões interessantes entres professores e alunos. Por exemplo, a valor da velocidade ao chegar no chão, obtida pelo gráfico, $1,98 \text{ m/s}$ é um pouco menor do que a velocidade esperada por um corpo que cai sem atrito da altura $1,93 \text{ m}$. Isso ocorre, pois entre estes dois pontos existe atrito do ar e alguns possíveis

⁶Este é o ponto, dos destacados na figura, que fica mais próximo do solo. Ou seja, mais próximo do centro de aplicação da força de contato que o chão aplica sobre o pé.

movimentos pelo pé da garota ou até mesmo erros sistemáticos do experimentador.

7. Considerações finais

O programa tem desempenhado um importante papel, se revelando um meio facilitador da análise do movimento a partir de dados objetivos e precisos. Uma vez que o software é de licença livre, tem sido uma tecnologia de fácil transferência, proporcionando um passo relevante na democratização do acesso à tecnologia.

O uso desta ferramenta mostrou-se eficiente em laboratórios e, com isso, abre novas perspectivas para o ensino de Física e Biomecânica. As análises dos experimentos aqui apresentados e o trabalho de validação proposto por Pena et al. 2013 indicam o CVMob como um grande avanço para instrumentação e ensino de física e biomecânica.

Com isto, é possível que professores e estudantes criem um grande acervo de filmes em memória digital e os compartilhem a partir da web. Os filmes de experimentos ou fenômenos físicos, com todos os ruídos típicos de um experimento real, poderiam ser explorados frame a frame. Quanto maior for a velocidade de captura da máquina fotográfica, maior o detalhamento e adequação às leis.

Com essa nova perspectiva em sala de aula, abre-se uma nova era na virtualização de experimentos. Pode-se aproximar culturas contemporâneas, criar novos campos de conhecimento e dissolver fronteiras entre campos separados pela simples interação de pessoas que compartilhariam vídeos e suas análises. Por exemplo, seria possível que alguém do Japão juntamente com alguém do Brasil possa estudar a cinemática de um fenômeno filmado por alguém na Itália.

Referências

- [Figueiredo 2013] Figueiredo, T. C. (2013). Análise não linear do tremor na doença de parkinson. Programa de pós graduação em física, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- [Fiolhais and Trindade 2003] Fiolhais, C. and Trindade, J. (2003). Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências Físicas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25:259 – 272.
- [Forte et al. 2008] Forte, C., Oliveira, F. C., Santin, R., and Kirner, C. (2008). Implementação de laboratórios virtuais em realidade aumentada para educação a distância. In *V Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, volume 1, pages 20–28, Bauru, SP. UNESP.
- [França et al. 2012] França, L., V. M. J. G., and Oliveira, A. S. (2012). Cinemática de formigas em pânico. In *XXX EFNNE - Encontro de de Físicos do Norte e Nordeste*, Salvador, BA.
- [Hohenfeld and Penido 2009] Hohenfeld, D. P. and Penido, M. C. (2009). Laboratórios convencionais e virtuais no ensino de física. In *Anais do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Florianópolis, SC.
- [Pena et al. 2013] Pena, N., Credidio, B. C. A.-I., Correa, L. P. N. R. M. S., Franca, L. G. S., Cunha, M. d. V., Sousa, M. C. d., Vieira, J. P. B. C., and Miranda, J. G. V. (2013). Instrumento livre para medidas de movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35:1 – 5.