



MÉTODO PARA LOCALIZAÇÃO DE OBJETOS MÓVEIS UTILIZANDO CÂMERA USB

Diogo Santos Silva da Costa – dsscdacosta@gmail.com

Alexandre Pinto Sales Sabóia – alexandresaboia@yahoo.com.br

Alan Freitas Machado – alanfmac@gmail.com

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Dep. de Física Teórica

Rua São Francisco Xavier 524, Bloco D, Sala 3007

24400 – Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

Resumo: *Existem inúmeros equipamentos e programas disponíveis no mercado para se realizar processamento digital de imagens. Entretanto, eles são utilizados apenas como ferramentas ilustrativas em aulas ministradas. À medida que a dificuldade de atividades laboratoriais se eleva, a supervisão do professor na montagem experimental se torna imprescindível, necessitando de dedicação e atenção individualizada, gerando transtornos em turmas grandes. Este projeto teve como intenção a elaboração de um método em que se fosse possível a determinação da posição de um objeto móvel, por meios robustos, de fácil aplicação e, principalmente, de baixo custo. Por meio de uma câmera USB (webcam), foram captadas imagens do objeto se movendo ao longo de seu percurso. Após esta etapa, nas imagens registradas pela câmera foram aplicadas rotinas computacionais, desenvolvidas para que um processamento e tratamento das imagens revelassem resultados relevantes na determinação da posição de tal objeto. Para validação do método proposto, testes foram aplicados em um experimento largamente utilizado no ensino de física básica, em que um carrinho desliza sobre um plano inclinado de atrito praticamente nulo. Este método computacional desenvolvido para determinação de posição de um objeto móvel é interessante pelo fato de ser um instrumento útil, oferecendo precisão e exatidão na determinação da posição do objeto em estudo, sendo um ótimo meio de introduzir o estudante de engenharia à instrumentação, utilizando apenas materiais de baixo custo e acessíveis a quaisquer instituições de ensino.*

Palavras-chave: *Detector de posição, Método computacional, Material de baixo custo, Experimento de física, Instrumentação.*

1. INTRODUÇÃO

Este projeto foi criado visando a necessidade de modernização dos laboratórios experimentais do Instituto de Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), com um propósito inicial de melhorar as condições em que as atividades de laboratório são realizadas, utilizando apenas material de baixo custo. Foi estudado e desenvolvido um método que possibilitasse a determinação da posição de objetos móveis, utilizando um programa

Realização:



Organização:





computacional. O foco principal deste projeto está na elaboração de tal método, visando a criação de um instrumento ótico para medição de posição. Este método foi testado e validado em um experimento de física básica, em que um carrinho desliza através de um plano inclinado com atrito praticamente nulo. Em posse de uma câmera USB comum (*webcam*), foi registrado todo o instante em que o carrinho descreve seu trajeto ao longo do plano inclinado, registro este feito através da filmagem, possibilitando assim posteriormente o tratamento das imagens coletadas por meios das rotinas computacionais desenvolvidas. Como resultado final do tratamento, obtiveram-se dados precisos e exatos de posição, bem como sua associação a intervalos de tempo bem definidos (informações extraídas da própria filmagem permite-nos conhecer a variação temporal entre cada quadro de imagem, conhecido como *frame*).

2. MÉTODOS

Após a elaboração deste projeto, que visou a construção de um instrumento laboratorial que pudesse ser utilizado para determinar a posição de objetos móveis, uma rotina foi seguida em um experimento de física básica. Serão detalhados adiante os passos para a montagem da atividade realizada, onde o objetivo era a determinação da aceleração gravitacional local, através da relação de posição e tempo fornecida pelo método desenvolvido.

Todo o tratamento computacional dedicado a este método foi feito através do *software* livre *Scilab* trabalhando em conjunto com a linguagem computacional *C*.

2.1. Experimento a ser realizado na validação do método proposto

O experimento consiste em um plano inclinado por onde um carrinho desliza suavemente com atrito próximo de zero. Esta atividade é conhecida como “experimento do trilho de ar”, nome dado pelo fato de que o carrinho deslizante praticamente flutua em bolsas de ar, geradas por uma pequena bomba presa a uma extremidade do trilho, esquematizado na Figura 1.

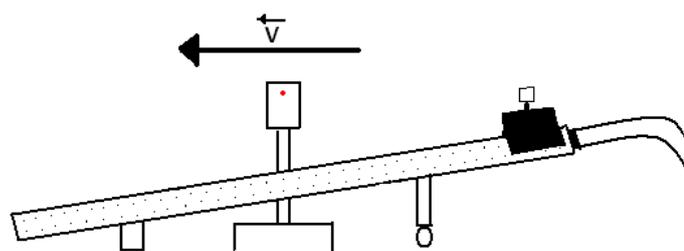


Figura 1 – Esquematização do trilho de ar utilizado na validação do método proposto

Primeiramente foi medida a inclinação do trilho em relação ao solo do laboratório, atentando para o fato de que a bancada onde o experimento é realizado pode não estar totalmente plana, causando grandes transtornos nos resultados finais. A *webcam* foi posta em um suporte a fim de que, nesta localização, suas imagens captadas fossem exatamente a trajetória completa que o carrinho pudesse descrever ao longo do trilho de ar. Conectou-se então a *webcam* a um computador pessoal e iniciou-se a gravação das imagens. No instante em que a gravação começou a ser feita, o carrinho foi posicionado no início do trilho (na



extremidade mais inclinada) para então ser solto. Quando finalmente o carrinho atingiu a outra extremidade do trilho, a filmagem pôde ser interrompida para então submetê-la ao processamento automatizado. Tal processamento forneceu valores de posição, onde cada valor deste também foi associado a um intervalo de tempo bem definido. Com os resultados numéricos em mãos, uma análise estatística foi feita em busca da determinação da melhor curva que se ajustava no gráfico de dados obtidos, para assim poder, no final de tudo, compará-la a curva teórica. Os fatores fundamentais que mais interessaram na elaboração destas curvas foram os coeficientes que representam a aceleração do carrinho, visto que este não estava submetido a forças externas, a aceleração presente era simplesmente a aceleração que o planeta Terra exerce sobre todos os corpos, aceleração gravitacional. Portanto, para efeito de validação efetiva, foi comparado o valor de aceleração obtido com o aparato experimental criado e o valor da aceleração gravitacional local.

2.2. Tratamento das imagens

O tratamento das imagens coletadas, registradas em vídeos, foi separado em etapas bem definidas, de modo que facilitasse a localização do objeto móvel. Estas etapas foram divididas em: aplicação de filtros de imagens, determinação da posição virtual e conversão de posição virtual em posição real.

A aplicação de filtros de imagens foi subdividida em duas etapas, uma lidando com as cores das imagens e a outra com a área em que o objeto descreve sua trajetória. O filtro de cores aplicado serviu para ter um ganho de tempo de processamento, visto que imagens coloridas ocupam mais espaço de HD e memória RAM do computador, ocasionando extrema lentidão. Todo o vídeo foi convertido em apenas duas cores, preto e branco, para que fosse obtida uma matriz binária para cada imagem extraída do vídeo. O segundo filtro, um filtro de corte, foi usado para isolar a área de estudo, também reduzindo tempo de processamento, visto que, o computador não precisa analisar a imagem inteira, o interessante é apenas o retângulo central em que o objeto descreve seu movimento retilíneo. É possível a visualização do resultado dos filtros nas imagens presentes nas Figuras 2 e 3.

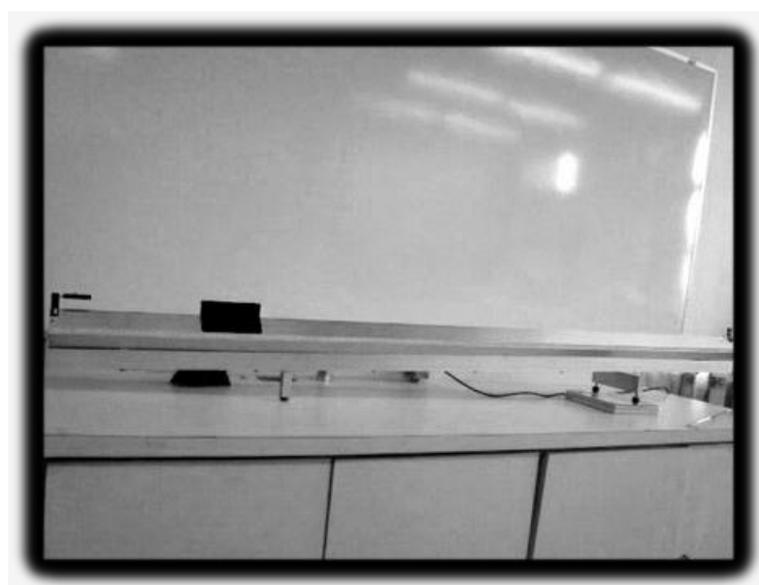


Figura 2 – Foto instantânea do carrinho em uma posição qualquer sob aplicação do filtro em tonalidades de cinza.



Figura 3 – Foto anterior após todos os filtros de cores e corte aplicados, transformando a imagem em binária. Há apenas pontos pretos e pontos brancos sem escalas de tonalidade intermediárias.

Na determinação da posição virtual do carrinho, necessitou-se de ferramentas estatísticas apropriadas para que se pudesse obter um ponto referencial de posição. Após cuidadosamente estudados, conseguiu-se aplicar uma estatística que, em cada cena analisada busca o centro geométrico do objeto móvel, para então com isso obter a posição virtual (chamada assim devido ao fato de esta posição ser a posição em pixels que o objeto se encontra na tela do computador).

A última etapa no tratamento das imagens foi executar a conversão da posição virtual (em pixels) para a posição real (em metros) do carrinho. Inicialmente foram estudados os melhores posicionamentos da câmera, como visto na figura 1, em que pudesse facilitar a geometria que relacionasse a posição virtual com a posição real. Com base nessas posições fixas e bem determinadas, estudos de trigonometria foram aplicados arduamente (demonstrados na Figura 4), tornando-se cada vez mais complexos, visando a elaboração de tal equação que relacionasse a posição em pixels vista na tela do computador com a posição em metros efetiva do carrinho. Tais análises trigonométricas são descritas a seguir, baseadas na montagem experimental demonstrada na Figura 5.

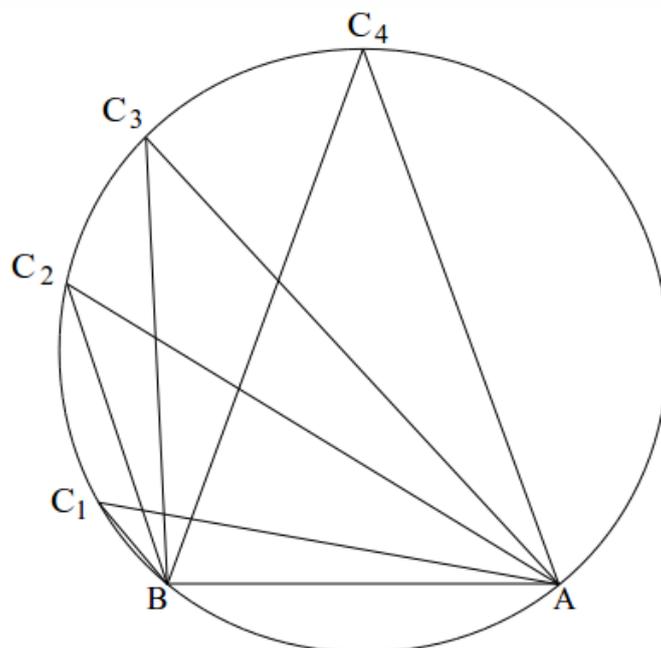


Figura 4 – O segmento AB representa a trajetória do carrinho e os pontos C_n (com $n = 1, 2, 3$ e 4) descrevem as possíveis localizações da câmera para que se possibilitasse a filmagem completa do movimento do carrinho.

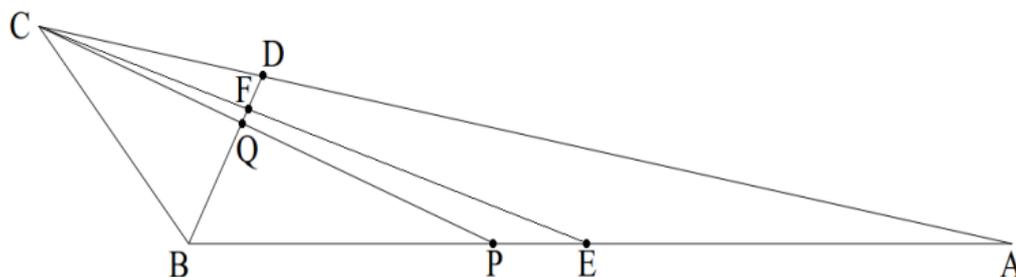


Figura 5 – Representação geométrica do arranjo experimental. A câmera foi posicionada na posição C e o trilho de ar representa o segmento de reta AB. A relação com a tela do computador está relacionada no segmento BD.

Para se realizar o estudo trigonométrico, foram verificados comprimentos de segmentos do triângulo formado e ângulos importantes, descritos na Figura 6, onde a Equação 1 é o resultado final da fórmula matemática utilizada para conversão da posição em metros.

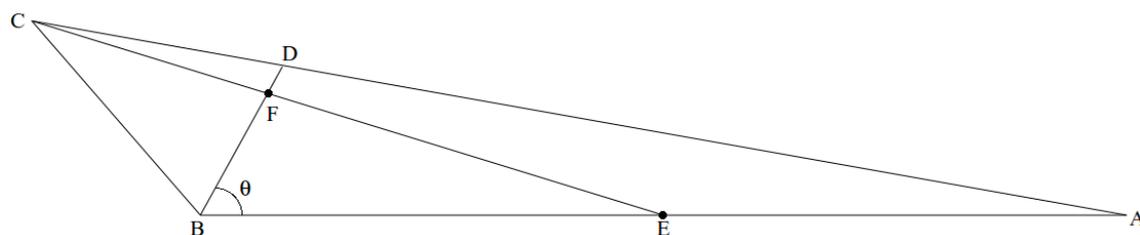


Figura 6 – Esta figura apresenta os segmentos de reta importantes no estudo da determinação de uma equação que possibilitasse converter posição virtual em posição real.



$$p = \frac{k C_y E_x}{\text{tg}\theta E_x - \text{tg}\theta C_x + C_y \frac{(AB)\text{tg}\hat{A}}{\text{tg}\hat{A} + \text{tg}\theta}} \quad (1)$$

Onde p representa a posição em pixels do objeto observado na tela do computador e k está associado à resolução da imagem. E_x é a posição em metros do objeto. Abaixo seguem as fórmulas necessárias para o bom entendimento da Equação 1.

$$E_x = \frac{\text{tg}\theta C_x - C_y}{\text{tg}\theta - \frac{k C_y (\text{tg}\hat{A} + \text{tg}\theta)}{mAB \text{tg}\hat{A}}} \quad (2)$$

$$C_x = \frac{\overline{BC}^2 - \overline{AC}^2 + \overline{AB}^2}{2\overline{AB}} \quad (3)$$

$$C_y = \sqrt{\overline{BC}^2 - \frac{\overline{BC}^2 - \overline{AC}^2 + \overline{AB}^2}{2\overline{AB}}} \quad (4)$$

$$\hat{A} = \cos^{-1} \frac{\overline{AC}^2 + \overline{AB}^2 - \overline{BC}^2}{2 \times \overline{AC} \times \overline{AB}} \quad (5)$$

$$\text{tg}\theta = \frac{\text{tg}\hat{A} \frac{b \overline{BD}}{a \overline{BQ}} - \frac{b}{\overline{BP}}}{1 - \frac{b \overline{BD}}{a \overline{BQ}}} \quad (6)$$

$$a = \overline{AB} \times \text{tg}\hat{A} \quad (7)$$

$$b = \frac{\overline{BP} \cdot \sqrt{\overline{BC}^2 - \frac{\overline{BC}^2 - \overline{AC}^2 + \overline{AB}^2}{2\overline{AB}}}}{\overline{BP} - \frac{\overline{BC}^2 - \overline{AC}^2 + \overline{AB}^2}{2\overline{AB}}} \quad (8)$$



2.3. Interpolação de dados de posição virtual com posição real

Como demonstrado anteriormente, utilizar equações trigonométricas fez com que o método proposto se tornasse algo de enorme complexidade, dificultando estudantes que almejassem reproduzi-lo, onde muitas variáveis deveriam ser modificadas e olhadas cautelosamente para cada alinhamento do arranjo experimental. Outra ideia foi pensada então, a fim de facilitar todo o processo. O pensamento facilitador se voltou para uma não necessidade de utilização das equações trigonométricas ora deduzidas, onde se necessitava saber exatamente a localização relativa entre a câmera e o plano inclinado. Decidiu-se então a realização de uma calibração com o carrinho em posições pré-determinadas e bem conhecidas no trilho de ar, onde fotos foram tomadas em cada uma dessas posições. A vantagem de se fazer desta maneira é que não se precisava mais conhecer exatamente a posição relativa da câmera ao trilho de ar, como única condição a de se manter a câmera estática por todo o processo de captura de imagens, seja na hora das fotos como na hora da filmagem, ou seja, uma vez definida a posição inicial, esta só poderia ser modificada ao término do experimento. De posse das imagens do carrinho com as posições conhecidas, foi possível determinar a posição virtual em cada fotografia, relacionando então posição virtual com posição real. Devido ao fato de esta não ser uma relação linear, não se pôde aplicar qualquer tipo de interpolação. Neste caso a interpolação aplicada foi do tipo *Spline* (AHLBERG *et al.*, 1967), onde esta determina uma relação bastante fiel ao comportamento dos dados. Esta equação para conversão dos dados é excelente por ser uma equação geral aplicada a um conjunto de dados, dados estes que são obtidos com a calibração do equipamento feita antes da utilização.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com os dados obtidos, diversas curvas foram geradas pelo método dos mínimos quadrados (CHUMNEY & SIMPSON, 2005) em diferentes ângulos de inclinação e posicionamento da câmera na hora da filmagem. Um exemplo de curva gerada é demonstrado na Figura 7 abaixo, onde a linha contínua representa a curva ideal, gerada utilizando a aceleração gravitacional local, e os pontos marcados com “+” representam os dados extraídos com o algoritmo.

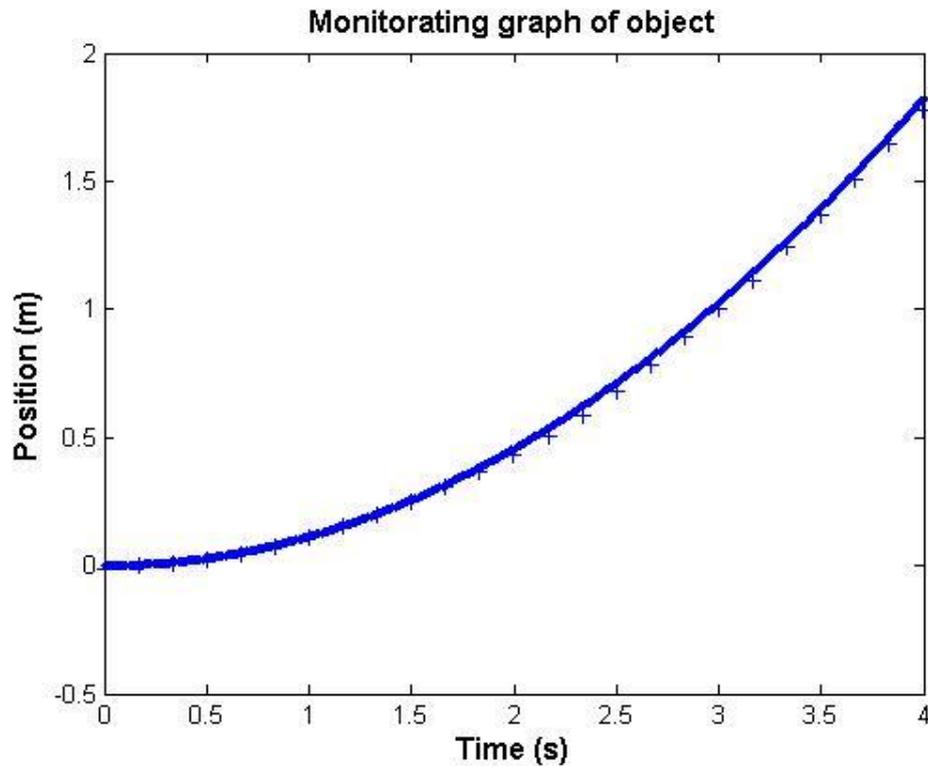


Figura 7 – Demonstração da comparação entre os dados obtidos teoricamente com valores ideais e os dados obtidos experimentalmente.

É possível observar o comportamento quadrático dos pontos plotados, descrevendo uma equação de segundo grau:

$$Y = AX^2 + BX + C \quad (9)$$

Onde A , B e C são constantes, X e Y são as variáveis associadas aos eixos ortogonais do gráfico. Esta equação pode ser comparada com a função horária do movimento (HALLIDAY *et al.*, 2008).

$$S = S_0 + V_0t + \frac{at^2}{2} \quad (10)$$

$$\begin{cases} S = \text{posição} \\ S_0 = \text{posição inicial} \\ V_0 = \text{velocidade inicial} \\ a = \text{aceleração} \\ t = \text{tempo} \end{cases}$$

É observado na Figura 8 um gráfico que relaciona o erro à posição em que o carrinho se encontrava no trilho de ar. Estes dados foram feitos quando a câmera estava mais próxima do final do trajeto, ou seja, visto que seu início se encontrava mais afastado das lentes, o erro se tornou maior do que no final do percurso.

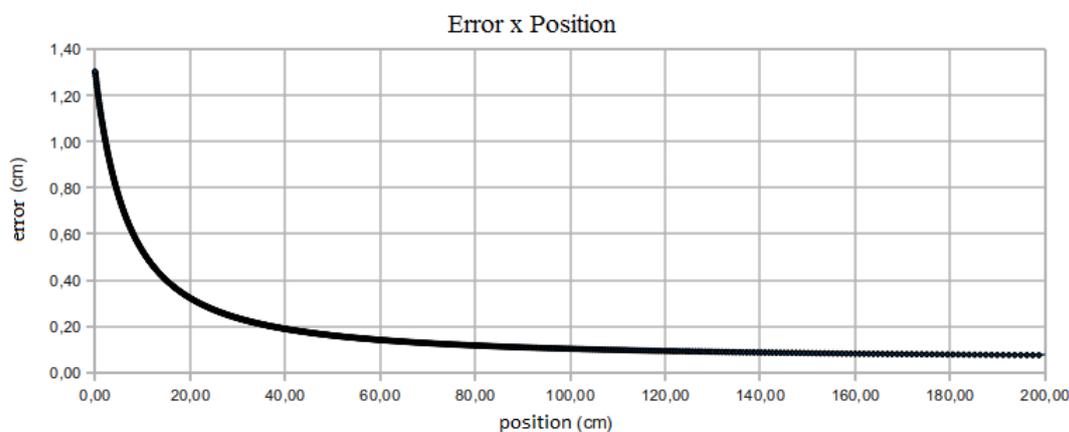


Figura 8 – Gráfico que representa o erro variável calculado ao longo da trajetória do carrinho.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Utilizando o método proposto no experimento mencionado, foi possível uma observação mais apurada e minuciosa dos resultados, onde estes se comportaram de maneira satisfatória. Com base nos resultados obtidos, o método proposto obteve sua validação efetivada de forma bastante eficaz, estando de acordo com a tolerância estatística estipulada para um erro limite de 5% de diferença entre aceleração local determinada por aparelhos utilizados como padrões de comparação e a aceleração verificada experimentalmente. Devido ao seu baixo custo, este método pode ser aplicado em qualquer instituição de ensino de engenharia, sua montagem busca ser o mais simples e robusta possível, para ser manipulada por qualquer estudante sem transtornos. Aliado à precisão e exatidão dos resultados, o projeto torna-se muito interessante não somente para engenheiros, como também para professores de física básica que podem se utilizar desta metodologia desenvolvida para a criação de rotinas laboratoriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLBERG, J. Harold; NILSON, Edwin Norman; WALSH, Joseph Leonard. The Theory of Splines and Their Applications, v.38. New York: Elsevier, 1967. 284 p, il.

CHUMNEY, Elionor C. G.; SIMPSON, Kit N. Methods and Designs for Outcomes Research. In: Ordinary Least Squares. Bethesda: American Society of Health System Pharmacists, 2005. p.[93]-104.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física; tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi, v.1: Mecânica. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 372 p, il.



METHOD TO DETECT MOVING OBJECTS USING A USB CAMERA

Abstract: *There are numerous hardware and software available on the market to perform digital image processing. However, they are used only as illustrative tools in classes. When the difficulty to setup laboratory activities is high, a supervising teacher is essential. It results in a commitment to individualized attention causing disorders in large classes. This project was intended to develop a method with the use of which it was possible to determine the position of a moving object with robustness, easy application and especially low-cost. Through a USB camera (webcam), images were captured of the object moving along its track. The images recorded by the camera were applied in computational algorithms for processing. The process revealed results relevant in determining the moving object position. In order to validate the proposed method, tests were done using a basic teaching physics experimental task. This task consists in an inclined bench where a little car slides on with friction practically zero. This computational method developed is interesting due the low-cost materials and accuracy in determination of object position offering a high precision. It can be used as a great way to introduce engineering under graduating to instrumentation of all educational institutes.*

Key-words: *position detection, computational method, low-cost material, physics experiment, instrumentation*