

Cuidados na elaboração de laudos periciais envolvendo vítimas fatais de queda de alturas usando o Tracker

B.R. Segatto

Departamento de Ciências Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus (ES), Brasil

**Endereço de e-mail para correspondência: breno.segatto@ufes.br Tel.: +55-27-33121652.*

Recebido em 20/07/2018; Revisado em 25/10/2018; Aceito em 19/11/2018

Resumo

Nesse trabalho busca-se averiguar se o *Tracker* é confiável na elaboração de laudos periciais, em casos envolvendo vítimas de queda de alturas, quando esses são captados por câmeras de vídeo monitoramento/segurança. Para isso, foram investigados na literatura os dados extraídos do *Tracker*, principalmente as grandezas físicas como aceleração e velocidade para corpos em queda. Recomenda-se a não utilização do *Tracker* quando a aceleração da gravidade obtida pela análise das imagens seja consideravelmente destoante do padrão medido na localidade do incidente (precipitação).

Palavras-Chave: Queda Livre; *Tracker*; Vídeo Análise; Laudo Pericial.

Abstract

In this work we try to make sure that the *Tracker* is reliable in the elaboration of forensic reports involving victims from fall from high when these are recorded by security/ monitoring video cameras. For that, was investigated in the literature the data extracted by *Tracker*, mainly the physics quantities as acceleration and velocity to bodies in fall. We recommend the non use of the *Tracker* when the acceleration of the gravity obtained by video analyses be considerable different from the standard measured in the incident (precipitation) location.

Keywords: Free Fall; *Tracker*; Video Analyses; Forensic Reports.

1. INTRODUÇÃO

Casos envolvendo vítimas de quedas de grandes e pequenas alturas são frequentes e geralmente fatais [1-5]. Na prática as autoridades policiais baseiam-se principalmente no depoimento de testemunhas oculares e/ou evidências deixadas no local inicial da queda. Entretanto, nem sempre isso é possível ou há divergência entre as evidências e as testemunhas. Atualmente para se determinar a altura de queda do corpo, os cientistas forenses/peritos criminais baseiam-se em dois principais métodos: Pelas fraturas no corpo da vítima [6-10] e/ou por simulações biomecânicas [11-15].

Entretanto, ambos os métodos possuem suas limitações. O primeiro método, segundo alguns autores [9], possui uma imprecisão de até 39m do ponto inicial da queda calculado e do ponto real. Essa incerteza se dá pelo fato das fraturas dependerem fortemente da posição do corpo durante o impacto com o solo, bem como os tipos

de solo [2,11]. O segundo método apesar de ser preciso no resultado das análises, demanda grande tempo de simulação computacional, pois depende fortemente das condições iniciais [14], outro ponto negativo é o alto custo dos simuladores [14], em muitos casos, as polícias e institutos de criminalistas de alguns países ou estados na nossa federação não dispõem de recursos para aquisição dos referidos equipamentos. Sendo assim, propõe-se nesse trabalho um método mais acessível e rápido através do uso de análise de imagens de câmeras de vídeo monitoramento.

2. METODOLOGIA

Nesse trabalho realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre quedas de vítimas de alturas em duas revistas internacionais: *A International Forensic Science* e a *Journal of Forensic Science*. Foram consultados os títulos de mais de 900 artigos em ambas as revistas, selecionando

os que continham o tema de interesse. Durante a revisão bibliográfica verificou-se, em todos os artigos consultados, que a determinação da altura de queda dos corpos, principalmente de grandes alturas, é realizada pela análise das fraturas no corpo da vítima [6-10], análise esta que possui grande divergência entre o andar real do ponto de partida da queda e o calculado [9]. Isso ocorre principalmente, pois, as fraturas não obedecem a um padrão em relação à altura da queda, um exemplo é a posição do corpo com o primeiro contato com o solo e o tipo de solo.

No caso de pequenas alturas, principalmente envolvendo escadas [11-15] um método preciso para determinar a dinâmica do corpo é a simulação computacional através da análise biomecânica, entretanto, esse método depende fortemente das condições iniciais do evento, por exemplo, para que a simulação possa ser executada devem-se considerar as condições iniciais do problema, bem como deve se definir o alcance das variáveis não conhecidas no problema [11-15], demandando grande tempo e tentativas de simulação [11-15]. Sendo assim, propõe-se neste trabalho uma metodologia para análise de vídeos, destinada a determinar a altura da queda do corpo quando este é captado mesmo que parcialmente por uma câmera de segurança.

O programa sugerido para a vídeo análise foi o *Tracker*, este programa foi escolhido tanto por ser de código aberto quanto por poder ser obtido gratuitamente [16]. Inicialmente vamos definir quedas de pontos elevados como sendo um evento no qual um corpo percorre uma trajetória sobre ação da gravidade, de um ponto inicial a um ponto de impacto. Em termos práticos, podemos considerar que esta queda para corpos humanos é uma queda livre, uma vez que, para até 100 m ou aproximadamente 28 andares (considerando 3,6 m por andar [1]) a resistência do ar pode ser desconsiderada [11]. Como definição do evento para a análise, vamos considerar que a imagem de um corpo em queda livre foi capturada por uma câmera de segurança em qualquer etapa de sua trajetória.

A pergunta a ser respondida é: Pode-se utilizar o *Tracker* para determinar o ponto inicial da queda do corpo, e conseqüentemente usar essa análise como prova em um laudo pericial?

Com o *Tracker* é possível acompanhar a trajetória do corpo utilizando uma marcação, identificando a posição do corpo em queda e analisando a variação da sua posição. A posição do corpo pode ser acompanhada quadro a quadro para um intervalo de 33 ms na versão do *Tracker* 5.0.5 ou versões anteriores. A posição do pixel central do corpo em cada quadro deve ser identificada com o marcador no programa e suas coordenadas serão registradas como uma função do tempo de queda. Nesta etapa o erro pode ocorrer devido à marcação da posição.

Além de que, o centro de massa do corpo, pode não coincidir com um pixel individual, mas entre os pixels.

A incerteza na marcação e na localização do centro do corpo depende amplamente na aparência do corpo em movimento, mas pode ser fixada em dois pixels.

Uma vez feita a marcação, o programa necessita de uma escala para calibração, nesta etapa, é necessário conhecer a dimensão entre dois pontos fixos na imagem. Recomenda-se que após observação da filmagem obtida por câmeras de segurança, o perito criminal retorne ao local do incidente (precipitação), para realizar as medições para a calibração da escala.

Uma consideração que iremos fazer é que o plano da câmera está paralelo ao plano da imagem, com isso, iremos discutir quais efeitos são intrínsecos ao uso do *Tracker* para determinar a altura de queda.

3. DISCUSSÃO

Uma vez realizadas as medições na cena do crime/precipitação e calibrado o *Tracker*, a priori, o perito criminal poderia extrair do programa a função horária da trajetória do corpo da vítima e, conseqüentemente, determinar o ponto inicial de sua trajetória e confrontar com as evidências da cena do crime ou depoimentos.

Para o caso de queda dos corpos na superfície terrestre, podemos considerar a aceleração da gravidade como constante e com valor de aproximadamente 9,83 m/s² [17] uma vez que para alturas de até 10000 metros a aceleração gravitacional varia apenas 0,3% [17].

Conseqüentemente, através da cinemática Newtoniana para aceleração constante temos:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \quad (1)$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a}t \quad (2)$$

uma vez que

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (3)$$

temos

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0t + \frac{\vec{a}}{2}t^2 \quad (4)$$

Onde \mathbf{a} , \mathbf{v} e \mathbf{r} são, respectivamente, a aceleração, velocidade e posição do corpo em função do tempo e \mathbf{r}_0 e \mathbf{v}_0 são a posição e velocidade inicial, respectivamente. Entretanto, como iremos discutir a seguir, temos que tomar alguns cuidados ao utilizar o *Tracker* em um eventual caso no qual parte da queda do corpo da vítima foi captada. O programa *Tracker* pode ser utilizado para analisar corpos em queda livre, no trabalho de C. Sirisathitkul e colaboradores [18] em um ambiente controlado onde plano de imagem foi cuidadosamente arranjado para ficarem paralelo ao plano de movimento,

com intuito de minimizar erros sistemáticos de projeção, para cinco lançamentos de uma bola do repouso, todos os gráficos de altura de queda versus tempo ao quadrado obtidos dos experimentos, resultaram em uma linha reta passando próxima à origem, indicando uma velocidade inicial nula quando abandonadas manualmente. Além do mais, o valor da aceleração da gravidade obtido com melhor precisão foi de $9,80 \text{ m/s}^2$, uma diferença de apenas 0,15% do padrão que era de $9,78120 \text{ m/s}^2$ [19].

Entretanto, o valor médio da aceleração da gravidade nos cinco lançamentos foi de $10,06 \text{ m/s}^2$. Caso utilizássemos os dados acima, em termos práticos, os valores encontrados aplicados para a determinação do andar que originou a queda não variam mais que 0,6 m para uma queda de 4 s, o que seria uma queda equivalente a 20 m em média ou 5,5 andares. Erro muito inferior aos encontrados da literatura [9].

Um fator que deve ser levado em consideração para a emissão do laudo pericial é o contraste de cores entre o corpo em queda e o plano de fundo em que o evento ocorre. Este contraste pode consideravelmente resultar em uma análise falsa, comprometendo o laudo pericial.

Isto se deve principalmente a fatores como a claridade na qual a queda foi capturada (quanto maior menor o erro) e a distorção da imagem (buscando sempre a menor distorção possível). Por exemplo, para lançamentos de três bolas de cores diferentes laranja (comprimento de onda na faixa de 590 a 620 nm), azul (comprimento de onda na faixa de 450 a 495 nm) e verde (comprimento de onda na faixa de 495 a 570 nm) em um fundo branco de uma altura de 2,2 m foram rastreados com o *Tracker* [18] e o número de pontos obtidos para a análise do programa foram 19, 18 e 15, respectivamente. Esta redução ocorre devido à imagem se tornar borrada no fundo branco quando o objeto atinge maior velocidade, não sendo possível obter um maior número de pontos. Para este experimento o valor da aceleração da gravidade com maior precisão foi obtido quando a bola laranja foi usada, enquanto que para a bola verde teve o maior desvio em relação ao padrão [19]. Em situações reais, nem sempre o plano de fundo é fixo e com uma única cor.

Entretanto, foi realizado um experimento de um corpo em queda com dois planos de fundo no mesmo evento, fundo amarelo e fundo branco [18]. Os quadros para análise no *Tracker* foram divididos em três conjuntos (quadros 1-8, quadros 8-16, quadros 16-24) e analisados a partir de cinco medições repetidas. O valor médio da aceleração da gravidade derivado dos quadros iniciais (fundo amarelo) tem o maior desvio do padrão (11,76%). O desvio é reduzido para 4,28% no caso dos quadros intermediários (transição amarelo-branco) e os quadros terminais (fundo branco), de longe, possuem o desvio mínimo no valor da aceleração da gravidade (1,47%). Indicando que a principal fonte de erros é o baixo

contraste de cores entre o objeto em movimento e o fundo.

A distância entre a posição da câmera e o plano de queda também pode influenciar na mensuração da aceleração da gravidade, fornecendo um valor superior ou inferior em relação ao valor padrão, isso ocorre devido à variação na claridade e à distorção na imagem. Isto é, máxima claridade e mínima distorção conforme reportado em [18]. Este aspecto depende das condições da cena do crime/precipitação no dia do ocorrido, sendo difícil, em alguns casos, para o perito criminal repetir o evento. Neste caso, uma vez que, o valor da aceleração da gravidade desvie consideravelmente do valor padrão, recomenda-se não usar o *Tracker* como ferramenta de análise durante a elaboração do laudo pericial.

4. CONCLUSÕES

Apesar do *Tracker* ser amplamente utilizado na área de ensino de física, devido a sua capacidade de obter as variáveis cinemáticas segundo a Mecânica Newtoniana, nem sempre é recomendado seu uso na elaboração de laudos periciais envolvendo corpos em queda. Uma vez que sua precisão é severamente afetada pela distância da câmera e o contraste entre o corpo em queda e o plano de fundo. Sendo assim, recomenda-se que somente use o *Tracker* na elaboração do laudo pericial caso encontre o valor da aceleração da gravidade próximo do valor padrão da localidade. O uso forense do software pode acarretar resultados não compatíveis com os fatos, principalmente no que tange à análise envolvendo acidentes de trânsito, como por exemplo, fornecer valores incorretos de velocidade desses veículos quando flagrados por câmeras de vídeo monitoramento. Em trabalhos futuros pretende-se analisar o efeito da paralaxe nas análises com o *Tracker*.

AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer aos físicos e policiais Renan Costa Loyola (Perito Criminal da Polícia Civil do Estado do Espírito Santo) e Carlos Magno Alves Girelli (Papiloscopista da Polícia Federal lotado na Superintendência Regional no Espírito Santo) pela inspiração e discussões sobre lacunas na área de perícia criminal e à Suziane Kirmse Comério pela revisão gramatical.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Risse; A. Bijnsch; B. Schneiderb; G Bauer. Risk of dying after a free fall from height. *Forensic Sci. International* **78**: 187-191 (1996).

- [2] S. Goren; M. Subasi; Y. Týrasci; F. Gurkan. Fatal falls from heights in and around Diyarbakir, Turkey. *Forensic Sci. International* **137**: 37-40 (2003).
- [3] A. Thierauf; J. Preuß; E. Lignitz; B. Madea. Retrospective analysis of fatal falls. *Forensic Sci. International* **198**: 92-96 (2010).
- [4] R. Cross. Fatal Falls from a Height: Two Case Studies. *J Forensic Sci* **51**: 93-99 (2006).
- [5] T.A. Peng; C.C. Lee; J. C. C. Lin; C. T. Shun; K. P. Shaw; T. I Weng. Fatal Falls from Height in Taiwan. *J Forensic Sci* **59**: 978-982 (2014).
- [6] A. Petaros; M. Slaus; M. Coklo; I. Sosa; M. Cengija; A. Bosnar. Retrospective analysis of free-fall fractures with regard to height and cause of fall. *Forensic Sci. International* **226**: 290-295 (2013).
- [7] B. M. Casali; A. Battistini; A. Blandino; C. Cattaneo. The injury pattern in fatal suicidal falls from a height: An examination of 307 cases. *Forensic Sci. International* **244**: 57-62 (2014).
- [8] S. K. Rowbotham; S. Blau. Skeletal fractures resulting from fatal falls: A review of the literature. *Forensic Sci. International* **266**: 582.e1 - 582.e15 (2016).
- [9] G. Laua; P. L. Ooi; B. Phoon. Fatal falls from a height: The use of mathematical models to estimate the height of fall from the injuries sustained. *Forensic Sci. International* **93**: 33-44 (1998).
- [10] T. C. Atanasijevic; S. N. Savic; S. D. Nikolic; V.M. Djokic. Frequency and Severity of Injuries in Correlation with the Height of Fall. *J Forensic Sci* **50**: 1-5 (2005).
- [11] W. Wach; J. Unarski. Fall from height in a stairwell – mechanics and simulation analysis. *Forensic Sci. International* **244**: 136-151 (2014).
- [12] S. Park; J. G. Cha; Y. Lee; I. Seo; B. Lee; Y. Choi; W. Choi; K. Yang. Biomechanical analysis of biphasic distribution of skull injury in falls from height. *Forensic Sci. International* **255**: 112-117 (2015).
- [13] M. Milanowicza; K. Kędzior. Active numerical model of human body for reconstruction of falls from height. *Forensic Sci. International* **270**: 223-231 (2017).
- [14] J. Adamec; K. Jelen; P. Kubovy; F. Lopot; E.Schuller. Forensic Biomechanical Analysis of Falls from Height Using Numerical Human Body Models. *J Forensic Sci* **55**: 1615-1623 (2010).
- [15] H. Muggenthaler; S. Drobnik; M. Hubig; M. Schönplflug; G. Mall. Fall from a Balcony—Accidental or Homicidal? Reconstruction by Numerical Simulation. *J Forensic Sci* **58**: 1061-1064 (2013).
- [16] D. Brown. Tracker Video Analysis and Modeling Tool. Acessado em 19/07/2018 de <https://physlets.org/tracker/>
- [17] D. Halliday; R. Resnick; J. Walker. *Fundamentos de Física: Gravitação Ondas e Termodinâmica 4ª Ed.*, LTC, Brasil (1996) 54-56.
- [18] C. Sirisathitkul; P. Glawtanong; T. Eadkong; Y. Sirisathitkul. Digital video analysis of falling objects in air and liquid using Tracker. *Rev. Brasileira de Ens. de Física*, **35**: 1504-1 – 1504-6 (2013).
- [19] National Institute of Metrology (Thailand). Thailand Absolute Gravity Measurement Project, <http://www.nimt.or.th/nimt/include/g.html>, acessado em 17/03/2011.