

DETERMINAÇÃO DA TRAJETÓRIA ESPACIAL DE UM PROJÉTIL EM BALÍSTICA FORENSE UTILIZANDO TOPOGRAFIA

Determination of Gunshot's Trajectory in Forensic Ballistics by the Use of Topographic Surveying

Andrey Augusto Alves de Oliveira¹
Thiago Vitor de Paula¹
Carlos Aurélio Nadal¹
Kátia Aparecida Juliano²

¹Universidade Federal do Paraná – UFPR
Departamento de Geomática
Caixa postal 19001
Centro Politécnico, Jardim das Américas
81531-990 - Curitiba, Paraná
andreyaugusto6@hotmail.com
thiagovitordepaula@hotmail.com
cnadal@ufpr.br

²Instituto de Criminalística do Paraná
Av. Visconde de Guarapuava, 2652 - Centro
80010-100 – Curitiba, Paraná
kjuliano@pop.com.br

RESUMO

O presente estudo discute o uso da Topografia na Balística Forense. O levantamento topográfico detalhado visando a representação do ambiente proporciona a determinação da trajetória de um projétil, auxiliando na perícia criminal posicional de um caso. Com o uso dos dados levantados e com modelos matemáticos adequados, serão realizados testes e criadas hipóteses para a determinação da trajetória de um projétil, para estimar as possíveis posições de disparo da arma de fogo. Os resultados mostram-se promissores, podendo ser adotados pelos institutos de perícia criminal do Brasil como rotina de seus trabalhos.

Palavras chaves: Topografia, Balística Forense, trajetória de um projétil, representação tridimensional.

ABSTRACT

The present study discusses the use of the Topography in the Forensic Ballistics. The detailed topographic surveying rising seeking the representation of local provides the determination of the path of a projectile, aiding in the criminal investigation. With the use of the lifted up data and with appropriate mathematical models, tests will be accomplished and created hypotheses for the determination of the path of a projectile, to estimate the possible positions of shot of the gun. The promissory results could be used in criminal institutes of Brazil as routine of its works.

Keywords: Topographic surveying, forensic ballistics, trajectory of gunshot, 3D representation.

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo tem por objetivo estabelecer o uso da Topografia na Balística Forense. Utiliza-se um levantamento topográfico detalhado para a representação do ambiente que proporcionará verificar

as suas potencialidades para a determinação da trajetória de um projétil, auxiliando na perícia posicional de um caso de disparo de arma de fogo.

Com o uso dos dados levantados e com modelos matemáticos adequados, serão realizados testes e criadas hipóteses para a determinação da trajetória de

um projétil, visando a determinação das possíveis posições de disparo da arma de fogo.

A representação tridimensional do ambiente interno e externo da área em estudo permite reconstruir geometricamente a trajetória descrita pelo projétil no espaço.

2. BALÍSTICA FORENSE

A balística forense faz parte da Perícia Criminal, e a determinação da trajetória de um projétil faz parte da Engenharia Legal. A Perícia de Engenharia de uma forma geral é definida na Resolução 1010 do CONFEA (CONFEA, 2005), como a atividade que envolve a apuração das causas que motivaram determinado evento, ou da asserção de direitos, na qual o profissional por conta própria ou a serviço de terceiros, efetua trabalho técnico visando a emissão de um parecer ou laudo técnico, compreendendo: levantamento de dados, realização de análise ou avaliação de estudos, propostas, projetos, serviços, obras ou produtos desenvolvidos ou executados por outrem. A perícia criminal, utilizada nos processos criminais é de competência exclusiva dos peritos oficiais: estaduais e federais. No estado do Paraná, os peritos oficiais fazem parte do Instituto de Criminalística do Estado. Os peritos oficiais federais fazem parte do Instituto Nacional de Perícias.

A balística forense é a subdivisão da perícia criminal que estuda: a arma, o projétil disparado com a impressão das ranhuras do cano e a trajetória do projétil na cena do crime. Com a análise do projétil recolhido na cena do crime e a partir da marca deixada por este em um obstáculo qualquer, pode-se identificar a arma utilizada e a posição ou a direção de onde foi efetuado o disparo. Na maioria dos casos, quando o projétil atingir um corpo humano, irá transfixar, produzindo uma lesão, evidenciando-se um orifício de entrada, uma trajetória e um orifício de saída. No corpo humano as impressões deixadas pelo projétil são estudadas pela Medicina Legal (BARROS, 2002).

A Topografia trata dos estudos, levantamentos, planejamentos, projetos de posição e locação de trabalhos de engenharia, considerando uma parte restrita da Terra modelada como um plano, o qual é denominado plano topográfico, único para uma pequena região onde os erros de projeções possam ser considerados desprezíveis (NADAL, 2000).

A Topografia está sendo usada cada vez mais na perícia criminal, principalmente em casos como este em estudo, onde se torna fundamental a determinação da geometria do problema. Os trabalhos técnicos devem ser efetuados com rigor científico e servirão como subsídio à definição da prova técnica, fundamental para elucidação de crimes.

3. ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso escolheu-se o Prédio da Administração, localizado no Centro Politécnico,

Campus III da Universidade Federal do Paraná. Trabalhou-se com a hipótese da ocorrência de um crime, onde dois tiros foram disparados para dentro de um prédio, perfurando o vidro de uma porta e não o estilhaçando, mas deixando furos. Um tiro atinge uma vítima e o outro atinge a parede, sendo este último o objeto do estudo.

Para o levantamento dos pontos, foi utilizado o método topográfico de irradiação tridimensional, utilizando como instrumento uma estação total, que permite realizar o levantamento de detalhes em campo a partir do marco ocupado pela estação total medindo-se uma direção horizontal, uma direção vertical e uma distância para definir-se a posição de um alvo. As coordenadas tridimensionais de um alvo são obtidas pelas componentes do vetor que une o marco no terreno ao alvo, dadas pela expressão:

$$X = A \quad (1)$$

onde:

$$X^T = [Xa \quad Ya \quad Za] \quad (2)$$

e,

$$A = \begin{bmatrix} d_{OP} \cdot \text{sen } V \cdot \text{sen } A_{OP} \\ d_{OP} \cdot \text{sen } V \cdot \text{cos } A_{OP} \\ d_{OP} \cdot \text{cos } V + I \end{bmatrix} \quad (3)$$

Onde:

d_{OP} - Distância inclinada até o ponto;

V - Direção vertical;

A_{OP} - Azimute da direção OP;

I - Altura da estação total.

Na figura 1, fotografia obtida pelos autores, é mostrado, na forma de um ponto, o suposto impacto de um projétil na janela, a uma altura de 1,94 metros a partir do piso. Na figura 2, mostra-se na forma de um ponto na parede, o suposto impacto do mesmo projétil nesta, a uma altura de 2,45 metros do chão.



Fig. 1 – Marca de impacto do projétil na janela.



Fig. 2 – Marca de impacto do projétil na parede.

Foram levantados cerca de 400 pontos tridimensionais que permitiram o detalhamento do local escolhido para o trabalho. Os dados do levantamento de campo foram armazenados no instrumento, descarregados e tratados com o modelo matemático descrito, obtendo-se as coordenadas tridimensionais dos pontos. Posteriormente, os dados foram convertidos para o ambiente gráfico, começando assim o processo de desenho e edição dos elementos gráficos. As figuras 3 e 4 mostram as representações tridimensionais do exterior e interior do prédio. Para estas representações foi utilizado o software Google SketchUp.

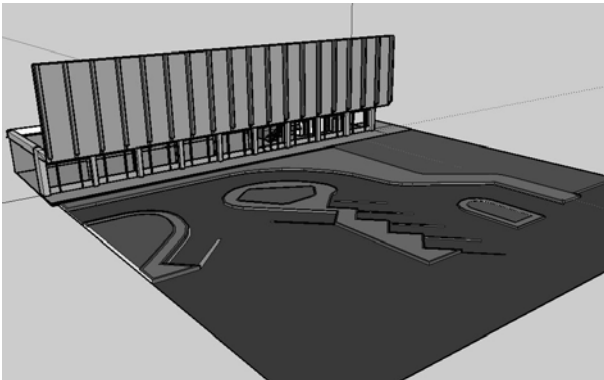


Fig. 3 - Vista externa do prédio.

Na figura 3 é mostrada uma vista externa do prédio. Na figura 4, tem-se a vista interna renderizada e com os pontos de impacto “P₀” e “P₁” indicados na reta trajetória do projétil.

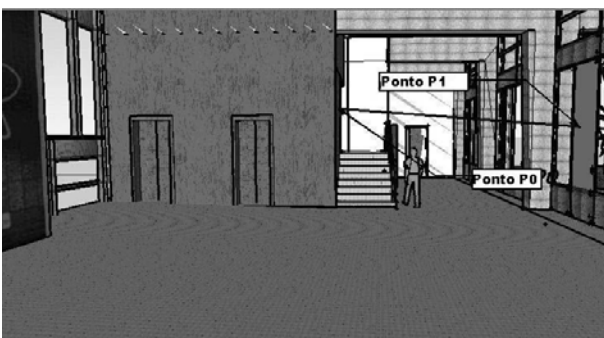


Fig. 4 - Vista interna do prédio.

3.1 Determinação geométrica da trajetória

Para a determinação da trajetória do projétil, foi utilizada a hipótese simplificada de que a mesma ocorreu numa reta. Utilizou-se então, a equação de uma reta que contém os dois pontos de impacto. A geração do perfil da trajetória se deu através do plano formado entre a reta descrita pela trajetória e o plano vertical passante por ela.

As equações paramétricas de uma reta necessitam de um ponto e de um vetor diretor para serem definidas. O vetor diretor é o responsável pela inclinação da reta, e especifica dentre as infinitas retas passantes por um ponto “P”, a que se procura, pois ele é paralelo a esta. Tendo um ponto P₀(x₀,y₀,z₀) e um vetor diretor r(a,b,c), podemos especificar as equações paramétricas da reta passante por “P” como sendo (BERRI, 2004):

$$X = X_0 + t \cdot V \quad (4)$$

Sendo:

$$\begin{aligned} X^T &= [x \quad y \quad z] \\ X_0^T &= [x_0 \quad y_0 \quad z_0] \\ V^T &= [a \quad b \quad c] \end{aligned}$$

Para que um ponto qualquer P(x,y,z) pertença a esta reta, ele necessita ter o mesmo parâmetro “t”. Quando se têm dois pontos da reta, P₀(x₀,y₀,z₀) e P₁(x₁,y₁,z₁), pode-se encontrar o vetor diretor fazendo:

$$r = P_1 - P_0 \quad (5)$$

Então a equação matricial (4) pode ser escrita na forma:

$$X = X_0 + t \cdot (X_1 - X_0) \quad (6)$$

Onde o parâmetro “t” é um número real.

Com base nas coordenadas dos pontos de impacto coletados em campo, sendo “P₁” o ponto de impacto com o vidro da janela e “P₀” o ponto de impacto na parede, foi calculada a reta trajetória do projétil. As coordenadas dos pontos num sistema topográfico local são mostradas na tabela 1:

TABELA 1 – COORDENADAS DOS PONTOS DE IMPACTO DO PROJÉTEL.

Ponto	x (metros)	y (metros)	z (metros)
P ₀	-5,69675	10,60475	2,45694
P ₁	-0,53617	12,79447	1,94173

Com as coordenadas fornecidas chega-se às equações desta reta:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5,69675 \\ 10,60475 \\ 2,45694 \end{bmatrix} + t \cdot \begin{bmatrix} 5,16058 \\ 2,18972 \\ -0,51521 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Toda reta calculada passante por “P₀” e “P₁” pode ser tratada como um segmento de reta que une esses pontos, pois se o valor do parâmetro “t” for igual a 0, o ponto resultante das equações é “P₀”, se o valor de “t” for igual a 1 a resultante será “P₁”.

A condição para que três pontos A₁(x₁,y₁,z₁), A₂(x₂,y₂,z₂) e A₃(x₃,y₃,z₃), estejam alinhados é que os vetores A₁A₂ e A₁A₃ sejam colineares, isto é:

$$A_1 \cdot A_2 = m \cdot A_1 \cdot A_3 \quad (8)$$

Para todo “m” pertencente aos números reais, ou pela relação a seguir, que permite prolongar uma reta ao infinito com base em apenas dois pontos:

$$\frac{X_2 - X_1}{X_3 - X_1} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_3 - Y_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_3 - Z_1} \quad (9)$$

Para se determinar as possíveis posições do ponto de disparo é necessário o conhecimento da inclinação da reta (i) que une os pontos “P₀” e “P₁”. Esta pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$i = \arctg \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}} \quad (10)$$

Utilizando a equação (10), com as coordenadas dos pontos de impacto, calcula-se o ângulo de inclinação que resulta em 5,251°.

3.2 Estudo dos possíveis pontos de disparo

Com o perfil horizontal da reta determinado, analisaram-se as possíveis posições de um atirador. Supôs-se no estudo de caso, que o disparo foi efetuado por um suspeito com altura de 1,70 metros, considerando-se ainda que efetuou os disparos com o braço esticado. Foram também adotadas três hipóteses quanto a posição do atirador ao efetuar o disparo: de pé na calçada em frente ao prédio, sentado dentro de um carro que passava pelo local ou deitado na calçada mais afastada do prédio. Adotou-se também para o problema que a arma que efetuou o disparo foi uma pistola. Estimou-se que a distância do eixo do braço do atirador para o ponto de disparo era de 8 centímetros, conforme é mostrado na figura 5.

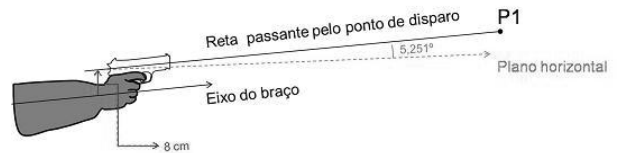


Fig.5 – Esquema mostrando a distância entre o eixo do braço do atirador e a reta passante pelo ponto do disparo.

Com a distância total entre o eixo do braço e do disparo, a altura do suposto atirador e a inclinação de 5,251° temos uma redução de 8,033 centímetros em relação a altura do disparo. Para a altura do disparo foram efetivadas as hipóteses a seguir.

3.2.1 Primeira hipótese: Atirador de pé

Com a altura do suspeito igual a 1,70 metros, a altura encontrada para o eixo do braço em relação ao chão foi de 1,36 metros, conforme mostra a figura 6.

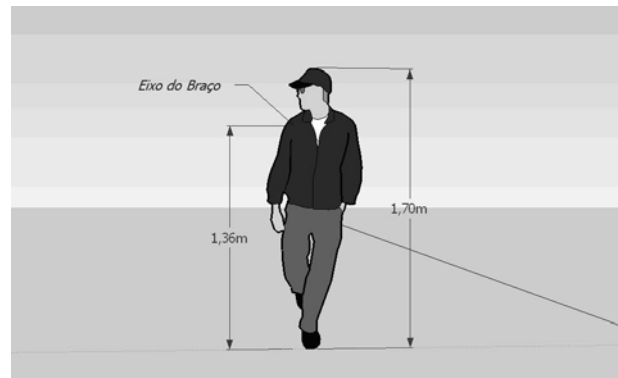


Fig. 6 - Eixo do braço.

Com esta distância conhecida foi gerado o plano 1, paralelo ao horizonte e com a altura de 1,36m, medida a partir do chão na área de possível disparo. Sendo assim, foi verificado o ponto em que a reta trajetória cortava o plano, conforme pode ser visto na figura 7.



Fig. 7 - Intersecção da reta trajetória com o plano 1.

Com este ponto determinado, foram então calculadas as coordenadas e a distância inclinada de 7,002 metros entre a possível posição de disparo e a perfuração no vidro, o que pode ser visto na figura 8.

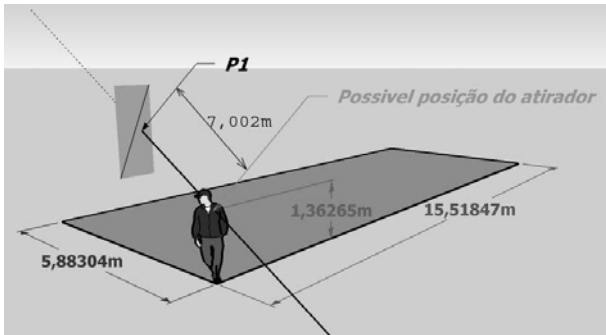


Fig. 8 - Coordenadas do possível atirador 1.

3.2.2 Segunda hipótese: Atirador sentado dentro de um carro

Para a segunda hipótese foi imposta a condição de que no momento do disparo tinham carros no estacionamento, restringindo as posições de disparo consideravelmente. Conforme é mostrado na figura 9, a largura da rua é de 5,11728m, considerando que um carro popular possui em média uma largura de 2,0000m, e que a distância dos carros seja de no mínimo 0,1500m até o meio fio, a área de ação para o ponto de disparo se resumiria a 0,820m, como a trajetória do tiro não é paralela a rua, a área do disparo reduz-se para 0,740m.

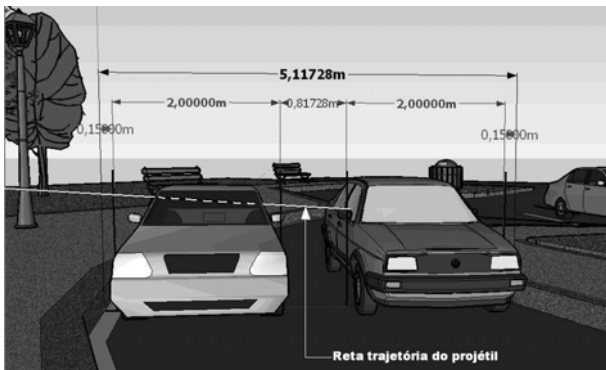


Fig. 9 - Área de ação do possível atirador 2.

Dentro deste valor e considerando a inclinação na trajetória do projétil, a altura do possível atirador dentro do carro variaria entre 1,227 a 1,145 metros, a distância para o primeiro ponto de impacto do projétil estaria entre 11,510 e 12,250 metros, figura 10.

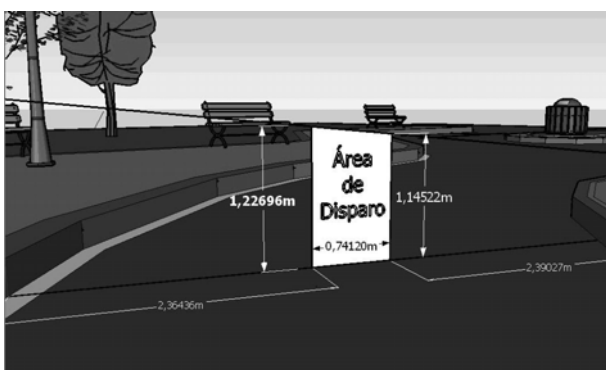


Fig. 10 - Provável área de disparo 2.

3.2.3 Terceira hipótese: Atirador deitado

Na terceira hipótese foi considerado o atirador deitado ao chão, para esta chegou-se a conclusão que o ponto de disparo estaria a 0,220 metros do chão, foi gerado um plano horizontal com esta altura, sendo assim, o atirador estaria a uma distância inclinada de 18,420 metros do vidro da porta, a figura 11 mostra as coordenadas do ponto de disparo para esta hipótese.

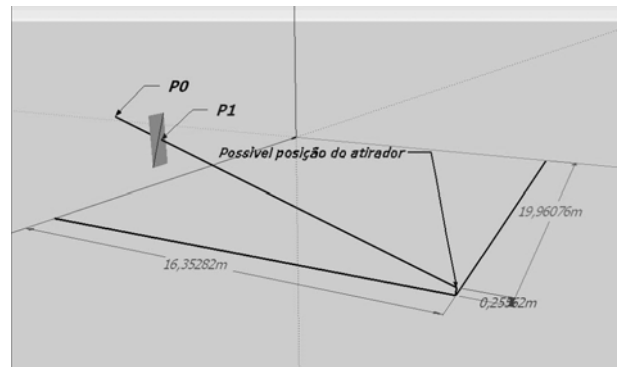


Fig. 11 - Coordenadas do ponto de disparo 3.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para análise da qualidade dos dados levantados e processados, foram realizadas medidas com trena calibrada em campo. Foram medidas cinco distâncias na direção de cada um dos três eixos coordenados do sistema topográfico adotado, comparando-as com observações efetuadas com a estação total. Foi também realizado o cálculo das diferenças entre os valores medidos a trena e os valores obtidos com o levantamento topográfico.

Dentre as quinze medidas efetuadas, duas foram desconsideradas por apresentarem erros grosseiros. Com as medidas restantes, foi calculada a média que resultou em 0,0084m e o desvio padrão, que resultou em 0,0071m. Analisaram-se os resíduos estatisticamente utilizando-se a distribuição “t” de Student (GEMAEL, 2004). Ao nível de confiança de 95%, obteve-se que o erro de observação máximo foi da ordem de 0,0119m. Utilizando este erro calculou-se o ângulo de inclinação entre a reta trajetória e a reta com o erro médio, e também a sua influência na determinação da trajetória do projétil, a figura 12 ilustra esta inclinação.

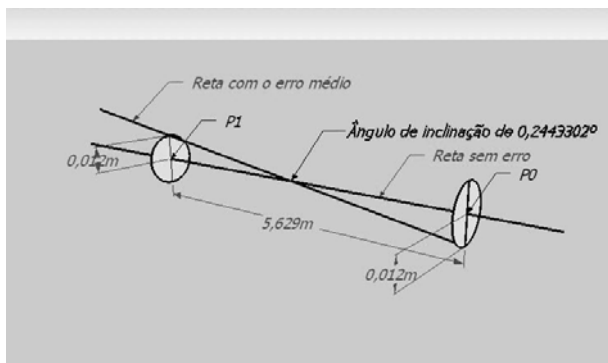


Figura 12 – Inclinação entre a reta teórica e a reta com erro médio.

Com o valor do ângulo de inclinação (transformado em radianos) e a distância do ponto de disparo ao ponto “P₁”, pode-se calcular a influência do erro médio na determinação da posição de disparo através da equação (11) a seguir:

$$R = 0,0042644 \times (D + 2,814) \quad (11)$$

Onde:

R - é o raio da esfera de erros;

D - é a distância do “ponto de disparo” ao ponto “P₁”.

Com a equação (11) obteve-se que a distância inclinada do “ponto de disparo” ao ponto de impacto “P₁”, com o atirador em pé varia entre 7,00m e 7,04m, para o atirador sentado a distância varia de 11,51m a 12,25m e, finalmente, para o atirador deitado entre 18,42m e 18,51m.

5. CONCLUSÕES

A cartografia proporciona ferramentas para a realização de uma perícia, principalmente com a utilização de representação tridimensional, onde é possível a criação de diversos tipos de hipóteses e testes. Na perícia posicional de um caso de disparo de arma de fogo o fundamental é identificar o local do disparo do projétil, com os resultados obtidos neste estudo de caso, considerou-se que este objetivo foi atingido.

O acúmulo de erros com o aumento da distância e sua influência na orientação da reta trajetória com certeza merecerão estudos profundos. Outros processos de controle de qualidade devem ser efetivados neste tipo de levantamento.

Os trabalhos desenvolvidos podem ser convertidos em modelo, para uso nos institutos de criminalísticas do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.

BARROS, P. L. **Balística forense**. Monografia jurídica apresentada ao curso de Direito da Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2002.

BERRI, R. A. **Intersecção de faces de sólidos triangulares no espaço**. Monografia apresentada ao curso de Ciências da Computação, UDESC. Joinville, 2004. 57p.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA – CONFEA. **Resolução Nº 1010** de 22 de agosto de 2005. Disponível em: <<http://www.confea.org.br>> Acesso em: 15/11/2008.

FAGGION, P. L.; VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z. **Fundamentos de Topografia**. Notas de aula, UFPR. Curitiba, 2007. 195p.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações**. Editora UFPR. Curitiba, 1994. 319p.

OLIVEIRA, A. A. A.; PAULA, T. V. **Determinação geométrica da trajetória de um projétil em balística forense com a utilização de topografia e representação tridimensional**. Monografia apresentada ao curso de Engenharia Cartográfica, UFPR. Curitiba, 2008. 50p.

NADAL, C. A. **Método da Interseção Óptica Tridimensional Aplicado à Engenharia de Precisão**. Tese de doutorado, UFPR. Curitiba, 2000. 116p.

TOPCON. **Manual da Estação Total GPT 3007**. Tóquio, 2003.