

DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO DE IMPACTO DE ESPARGIMENTOS DE SANGUE: PROPOSTA DE ABORDAGEM VIA PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

VICTOR H. C. DIAS¹, JOÃO L. A. CARVALHO²

¹ Perito Criminal da Polícia Civil do Distrito Federal, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Eletrônicos e de Automação da Universidade de Brasília (PGEA/UnB), costadias.victorhugo@gmail.com

² Professor adjunto no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília, Doutor (Ph.D.) em Engenharia Elétrica pela University of Southern California, joaoluiz@pgea.unb.br

RESUMO: Neste trabalho é apresentada uma comparação entre os resultados obtidos para ângulos de impacto de espargimentos de sangue obtidos por meio do método tradicional de medição das manchas e cálculo do ângulo e por meio de um método proposto de processamento digital de imagens feitas das manchas de sangue. Os resultados obtidos com o software, além de serem disponibilizados em segundos, ao contrário do método tradicional, que exige muito tempo, se mostraram ligeiramente mais próximos ao ângulo de referência do experimento.

Palavras-chave: manchas de sangue; ângulo de impacto; espargimento; processamento de imagens.

ABSTRACT: *In this work, a comparison between the results obtained for the impact angles of blood spatters obtained by means of the traditional method of measurement and angle calculation and by a proposed method of digital image processing of images made from blood stains is presented. The results obtained with the software, besides being available in seconds, unlike the traditional method, which requires long periods of time, were shown to be slightly closer to the reference experimental angle.*

Keywords: *bloodstain; impact angle; blood spatter; image processing.*

INTRODUÇÃO

Em uma cena de crime violento, geralmente é possível encontrar uma quantidade relevante de manchas de sangue em diferentes superfícies. Essas manchas são uma evidência muito importante na determinação da dinâmica dos eventos que ocorreram na cena, confirmando ou refutando a afirmação de envolvidos sobre o que de fato ocorreu. Os resultados dessa análise podem ajudar a responder, por exemplo, perguntas sobre que tipo de arma foi usada contra a vítima, onde esta estava posicionada no momento do ataque ou se alguém se movimentou [1]. Para definir a área de origem do sangue, isto é, a posição da vítima no momento em que o sangramento foi iniciado, duas informações geométricas sobre cada espargimento de sangue são necessárias: seu ângulo de impacto (α), o ângulo em que a gota de sangue toca a superfície em questão e seu ângulo de direção (γ), a orientação da trajetória da gota [2], como mostrado nas figuras 1 e 2.

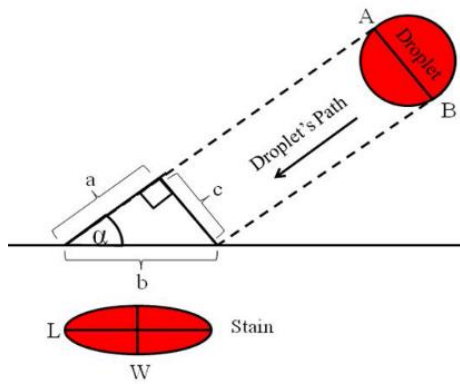


FIGURA 1. Ângulo de impacto (α) com o qual a gota de sangue toca a superfície em questão. Fonte: [3]

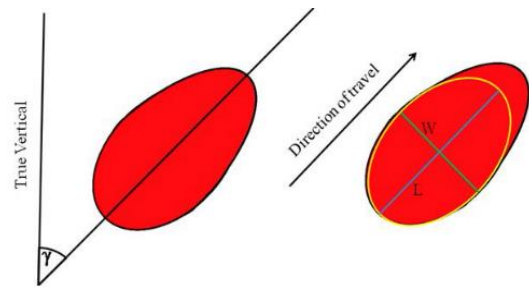


FIGURA 2. Ângulo de direção (γ), a orientação da trajetória da gota. Fonte: [3]

Como é possível inferir a partir da figura 1, se o ângulo α é de aproximadamente 90° , a mancha produzida na superfície de impacto teria uma forma aproximadamente circular e quanto mais α decresce, mais elíptica a mancha se apresentará [2]. A obtenção do ângulo γ é simples, uma vez que este pode ser medido diretamente com referência ao eixo vertical, como pode ser visto na figura 2. Por outro lado, o ângulo α não pode ser medido diretamente, sendo tradicionalmente calculado de acordo com a seguinte formulação [2]:

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{W}{L}\right), \quad (1)$$

em que W representa a largura máxima da mancha de sangue elíptica e L representa o seu comprimento.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A abordagem tradicional para encontrar a área de origem do sangue é o “método das cordas” [1], que consiste em medir a largura e comprimento das manchas de sangue de formato elíptico usualmente com um instrumento como um paquímetro, fixar cordas a cada uma delas e recuperar sua trajetória de acordo com os ângulos γ e α , que foram manualmente medidos e calculados, respectivamente. Depois que esse processo é aplicado a todas as manchas de sangue de interesse, uma região de convergência entre todas as cordas no espaço tridimensional pode ser encontrada. Esta será a região aproximada de origem do sangue.

Como se pode imaginar, o “método das cordas” pode levar muito tempo para ser aplicado, além de estar sujeito a diversas fontes de imprecisão, uma vez que todas as medidas e fixação das cordas são feitas manualmente pelos peritos criminais. Por essa razão, e considerando que deve sempre haver uma quantidade expressiva de imagens detalhadas de uma cena de crime, novas abordagens baseadas em processamento digital de imagens têm surgido. Já existem até mesmo softwares comerciais especializados nesta análise, por exemplo, BackTrackTM e HemoVisionTM. O procedimento realizado

pela maioria desses softwares é semelhante e consiste, em geral, dos seguintes passos [4]: retificação de imagem, segmentação de imagem, ajuste de elipses, cálculo de ângulo de impacto e reconstrução 3D.

A expectativa na aplicação de métodos baseados em processamento digital de imagens é, portanto, obter resultados mais rápidos e mais precisos, poupando o tempo de trabalho do perito criminal durante o processamento da cena do crime e concomitantemente reduzindo as fontes de erros envolvidas nesse processo. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo comparar os ângulos de impacto obtidos pela medição dos espargimentos de sangue na superfície em que foram produzidos com os ângulos de impacto obtidos pelo processamento das imagens feitas dessa superfície.

METODOLOGIA

Espargimentos de sangue foram criados de forma controlada para que o seu ângulo de impacto fosse conhecido. Folhas de papel foram posicionadas sobre uma superfície de madeira cuja angulação em relação à horizontal era variável e mensurável. Sobre essa superfície foram pingadas gotas de sangue bovino com a utilização de um conta-gotas, que permanecia orientado na vertical. Dessa forma, as gotas atingiam a folha de papel com ângulo de impacto equivalente à angulação em que a superfície de madeira estava posicionada. Três espargimentos foram produzidos em cada uma das seguintes angulações: 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60° e 80°. Esse arranjo experimental pode ser visto na figura 3.

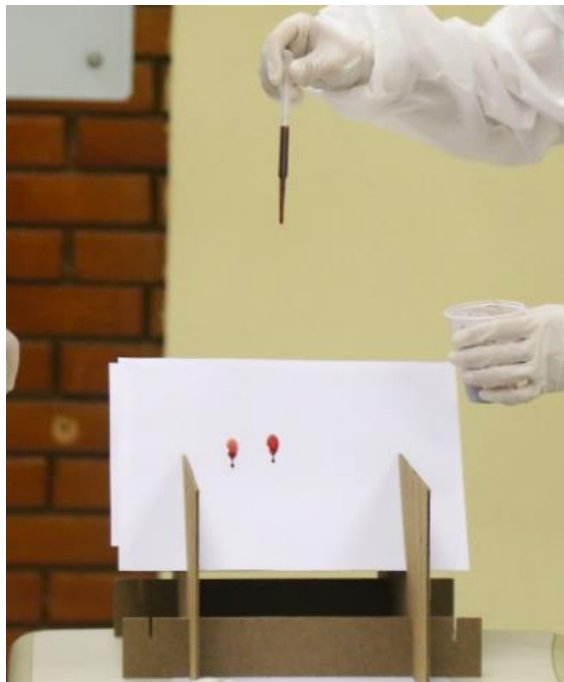


FIGURA 3. Arranjo experimental utilizado para produzir os espargimentos com ângulo de impacto desejado.

De posse dos espargimentos produzidos com ângulos de impacto conhecidos, foram utilizados dois métodos para o cálculo desses mesmos ângulos de impacto. Inicialmente, as medidas de largura e comprimento das manchas elípticas foram tomadas com o uso de um paquímetro digital. Assim, utilizando essas medidas na equação 1, obteve-se os ângulos de impacto da forma tradicional.

Em seguida, as manchas produzidas foram fotografadas com uma câmera de telefone celular de 13 MP. A essas imagens, foi aplicado o processamento digital necessário para calcular os ângulos de impacto dos espargimentos de sangue. Os códigos utilizados para esse cálculo foram desenvolvidos na linguagem de programação Matlab®.

Para calcular corretamente os ângulos γ e α , o primeiro requisito é que a imagem seja tomada em uma perspectiva ortogonal com a respectiva mancha analisada. Se a imagem utilizada não atender a esse requisito, as distâncias medidas não corresponderão à realidade. Por esse motivo, é necessário realizar uma correção de imagem, que foi realizada por meio de uma transformação projetiva linear usando o algoritmo de Transformação Linear Direta (DLT) [5].

Com a imagem corretamente retificada, o próximo passo foi converter a imagem colorida em representação RGB para uma imagem em níveis de cinza e, em seguida, executar uma operação de *thresholding*, resultando em uma imagem binária, ou seja, apenas com cores branca e preta. A operação de *thresholding* foi realizada utilizando um algoritmo de *threshold* adaptativo que utiliza estatísticas locais de primeira ordem para definir o valor de limiar que definirá quais níveis de cinza se tornarão pretos e quais níveis de cinza se tornarão brancos na imagem binária resultante [6].

Para garantir um melhor resultado, uma operação morfológica de *flood-fill* foi aplicada para preencher possíveis buracos presentes no interior de regiões de interesse da imagem binária. Para a análise do ângulo de impacto, o interesse reside apenas na mancha deixada pelo primeiro contato da gota de sangue com a superfície. As manchas secundárias produzidas pela ação do primeiro impacto ou pela ação da gravidade não devem ser consideradas na análise, pois elas não mantêm relação direta com o ângulo de impacto a ser calculado. Para remover as manchas indesejadas, uma operação morfológica de *opening* foi satisfatoriamente aplicada utilizando um disco como elemento estruturante. O passo seguinte consistiu em segmentar e marcar regiões da imagem, de forma que cada objeto encontrado fosse equivalente a uma mancha de sangue de formato elíptico, o que foi realizado utilizando o algoritmo Run Length Encoding [7].

Para calcular os ângulos de impacto de acordo com a equação 1, é necessário encontrar a largura e o comprimento das elipses que melhor aproximam a mancha de sangue em questão. Assim, para cada um dos objetos presentes na imagem binária, que representam as manchas de sangue da imagem original, foram encontrados os seus maiores e menores eixos. O comprimento desses eixos, se aplicados a equação genérica de uma elipse, definem matematicamente a elipse que melhor representa o espargimento de sangue analisado. Desta forma, em posse da largura e comprimento de cada uma das elipses, é possível calcular o ângulo α de cada espargimento pelo uso direto da equação 1.

RESULTADOS E ANÁLISES

A figura 4 apresenta exemplos dos resultados obtidos para a aproximação das manchas de sangue por elipses realizada para que seja possível a determinação dos ângulos de impacto. Em amarelo, apresenta-se o delineamento da elipse que melhor representaria o formato da mancha em questão, de acordo com os critérios utilizados. O método de processamento foi capaz de obter elipses que desconsiderassem partes das manchas que não eram de interesse, como as suas manchas satélites e escorrimentos.

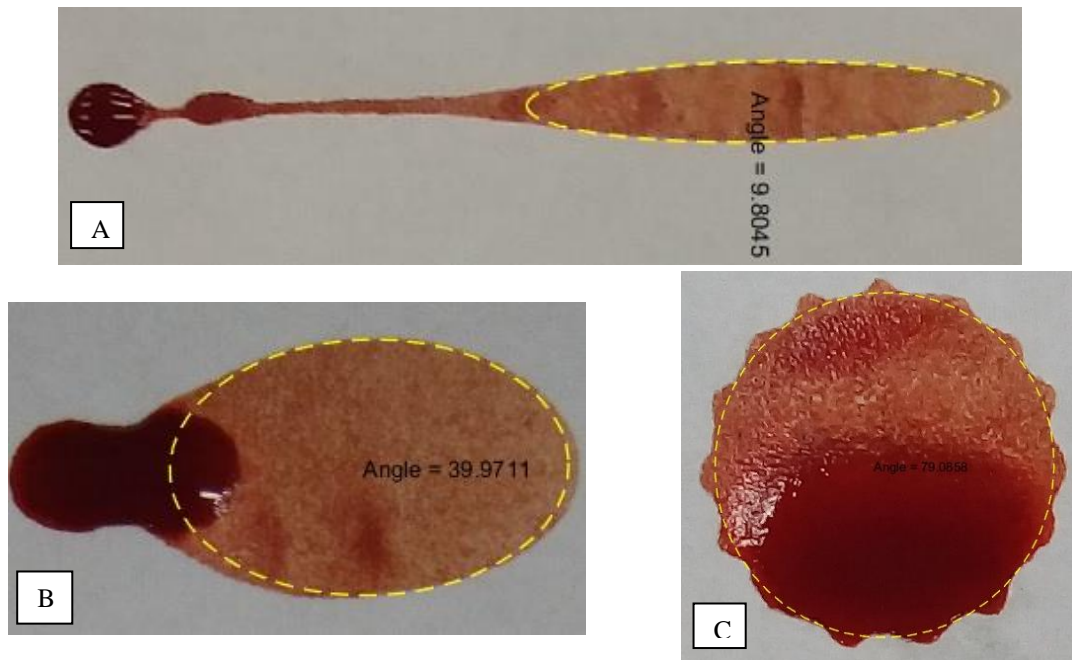


FIGURA 4. Exemplos dos resultados obtidos com a determinação do ângulo α por meio da abordagem de processamento digital de imagens, exibindo o ajuste de elipses ao espargimento de sangue. A) um espargimento produzido com ângulo conhecido de 10° ; B) um espargimento produzido com ângulo conhecido de 40° ; C) um espargimento produzido com ângulo conhecido de 80° .

Na tabela 1, são apresentados os resultados obtidos para os ângulos α utilizando o método tradicional e o método via software proposto. Verifica-se, a partir dos dados apresentados, que ambos os métodos apresentaram ângulos próximos ao ângulo experimental conhecido. Porém, de forma geral, o ângulo calculado por ambos os métodos apresentou-se inferior ao ângulo definido no experimento. Uma possível explicação para isso é o fato de que as folhas de papel utilizadas no experimento absorvem parte do sangue, afetando o resultado final.

TABELA 1. Comparação dos ângulos de impacto (α) obtidos para cada um dos espargimentos produzidos no experimento pelos dois métodos utilizados: medição manual com paquímetro e processamento digital das imagens.

α experimento	Espargimento 1		Espargimento 2		Espargimento 3	
	α calculado	α software	α calculado	α software	α calculado	α software
10°	10,47°	9,80°	9,55°	9,20°	7,92°	6,90°
20°	17,55°	18,27°	17,24°	17,10°	17,55°	19,22°
30°	24,68°	25,91°	23,93°	24,58°	29,06°	25,61°
40°	40,01°	39,97°	36,29°	37,13°	34,02°	38,14°
50°	46,14°	44,53°	52,55°	45,23°	49,29°	45,61°
60°	74,46°	53,88°	65,23°	58,66°	57,83°	57,88°
80°	82,12°	76,23°	85,68°	78,14°	80,68°	78,48°

A tabela 2 apresenta as discrepâncias, em forma de percentuais, observadas entre os ângulos de impacto calculados pelo método tradicional, com medição manual das dimensões das manchas, e o ângulo experimental conhecido, bem como as discrepâncias observadas entre os resultados obtidos utilizando o software de processamento de imagens e o ângulo experimental conhecido.

Os campos em destaque na tabela apresentam os casos em que o resultado obtido por meio do software foi mais próximo ao ângulo conhecido do que o resultado obtido pelo método tradicional. Isso ocorreu em 11 dos 21 espargimentos produzidos durante o experimento. Para os demais casos, o resultado produzido pelo software produziu resultado semelhante ao produzido pelo método tradicional, com exceção dos terceiros espargimentos produzidos para cada ângulo, que nos casos de 10°, 30° e 50° apresentaram um resultado consideravelmente mais distante do ângulo conhecido quando comparados ao resultado produzido pelo método tradicional.

Os resultados obtidos não permitem inferir se o método de processamento de imagens produz um resultado melhor para uma determinada faixa de ângulos de impacto, uma vez que os melhores ou piores resultados não se mostraram concentrados em nenhuma faixa de valores.

TABELA 2. Erros entre o ângulo de impacto (α) calculado pelo método tradicional e o ângulo de impacto experimental conhecido e erros entre o ângulo de impacto calculado pelo método de processamento digital das imagens e o ângulo de impacto experimental conhecido. Em destaque, os casos em que o software apresentou resultado mais próximo ao ângulo conhecido do que o método tradicional.

α experimento	Erro - experimento x calculado			Erro - experimento x software		
	Esparg. 1	Esparg. 2	Esparg. 3	Esparg. 1	Esparg. 2	Esparg. 3
10	4,46%	4,73%	26,20%	1,99%	8,74%	44,88%
20	13,98%	15,99%	13,98%	9,48%	16,95%	4,06%
30	21,54%	25,36%	3,24%	15,77%	22,06%	17,13%
40	0,03%	10,22%	17,59%	0,07%	7,72%	4,86%
50	8,36%	4,86%	1,45%	12,28%	10,54%	9,62%
60	19,42%	8,02%	3,75%	11,35%	2,29%	3,67%
80	2,58%	6,63%	0,85%	4,95%	2,37%	1,94%

Observando a tabela 2, é possível ainda verificar que mesmo o método tradicional de cálculo dos ângulos de impacto apresenta discrepâncias substanciais em relação ao ângulo conhecido do experimento. Esse fato se deve principalmente a dois fatores: a precisão da determinação do ângulo de impacto na construção experimental não é alta, uma vez que o aparato mecânico utilizado não possui precisão satisfatória; e a equação 1, tradicionalmente utilizada para o cálculo do ângulo de impacto, não reflete satisfatoriamente a dinâmica de produção dos espargimentos, por considerar que a trajetória das gotas de sangue no ar se dá de forma linear.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem de processamento de imagens foi capaz de calcular os ângulos envolvidos na dinâmica dos espargimentos de sangue de forma satisfatória. Os trabalhos futuros seriam a avaliação completa da incerteza envolvida nos resultados, a verificação da possível influência de diferentes cores de fundo na técnica e o desenvolvimento de outros algoritmos para melhorá-la, se necessário.

Com os resultados obtidos, é possível afirmar que utilizar técnicas de processamento de imagens para realizar análises de padrões de manchas de sangue, em específico na análise de espargimentos de sangue, pode ser mais eficiente que a abordagem tradicional. Isso, pois além de produzir resultados que são disponibilizados em segundos, o método proposto apresentou, no experimento conduzido, resultados ligeiramente melhores do que o obtido com o método tradicional.

Os métodos automatizados de processamento de imagens também podem ser aplicados para melhorar ou mesmo substituir outros métodos tradicionais em ciências forenses, como a estimação da distância de disparo pela avaliação da dispersão de balins ou a estimação do tempo de deposição de uma poça de sangue pela observação do processo de coagulação de suas bordas.

REFERÊNCIAS

1. ECKERT, W.G.; JAMES, S.H. Interpretation of Bloodstain Evidence at Crime Scenes. CRC Press, 2nd edition, 1999.
2. BEVEL, V.T.; GARDNER, R.M. Bloodstain Pattern Analysis: With an Introduction to Crime Scene Reconstruction, CRC Press, 2nd edition, 2002.
3. BOONKHONGI, K.; KARNJANADECHA, M.; AIYARAK, P. "Impact angle analysis of bloodstains using a simple image processing technique," Songklanakarin J. Sci. Technol., vol. 32, no. 2, pp. 169-173, Apr. 2010.
4. SHEN, A.; BROSTOW, G.; CIPOLLA, R. "Toward automatic blood spatter analysis in crime scenes," Department of Engineering, University of Cambridge.
5. HARTLEY, R.; ZISSERMAN, A. Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press, 2nd edition, 2003.
6. BRADLEY, D.; ROTH, G. "Adapting Thresholding Using the Integral Image," Journal of Graphics Tools. Vol. 12, No. 2, 2007, pp.13-21.
7. EDDINS, S. "Connected component labeling – Part 7", Steve on Image Processing, MathWorks Blogs, 2007.