

METODOLOGIA DE CÁLCULOS UTILIZADOS NO APLICATIVO

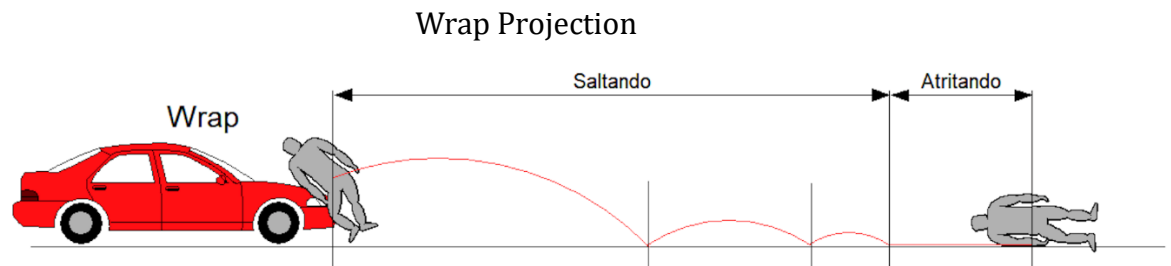
Forward:

O veículo deve estar freando no momento do impacto e/ou imediatamente após, o lançamento ocorre devido a força aplicada por um veículo de frente reta para que não exista rotação no entorno do centro de gravidade.

Wrap:

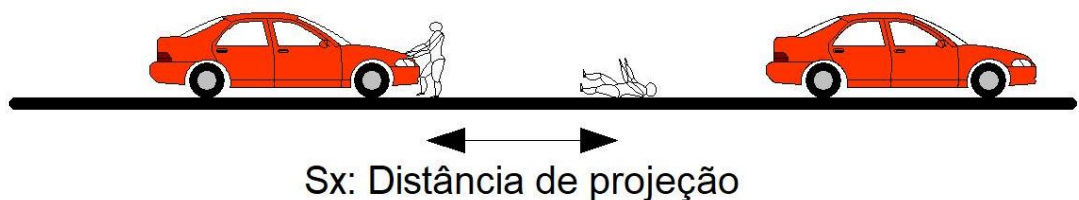
O coeficiente de atrito do corpo com o solo varia de acordo com as vestes, piso e condições climáticas, sugerimos variar entre 0,6 e 0,8.

Os atropelamentos que envolvem a colisão da porção anterior do veículo contra o corpo do pedestre podem ser classificados em dois grupos, *wrap projection* e *forward projection*, explicados a seguir.



Engloba os seguintes tipos de atropelamento:

1. *wrap*
 - ✓ CG do pedestre está acima do ponto mais elevado da frente do veículo.
 - ✓ Veículo em desaceleração.
 - ✓ Baixa velocidade $30 \text{ km/h} \leq v \leq 60 \text{ km/h}$;
2. Passagem pelo para-lama (fender vault): em geral, a vítima está em movimento transversal ao veículo;



A velocidade do pedestre influi sobre o deslizamento.

3. Passagem por sobre o teto (*roof vault*): mesma situação geométrica do *wrap*, mas aqui o corpo toca a parte superior do para-brisa e/ou o teto.
 - ✓ CG do pedestre está acima da linha média do capô.

- ✓ Alta velocidade: $v > 85 \text{ km/h}$.



4. Salto Mortal (*somersault*): mesma situação da passagem sobre o teto, porém o corpo não toca outras partes do veículo.

- ✓ CG do pedestre está acima da linha média do capô;
- ✓ Alta velocidade: $v > 100 \text{ km/h}$.



Modelos

Para estimar a velocidade do veículo nesse tipo de sinistro, utiliza-se os seguintes métodos:

MÉTODO DE SEARLE

Searle, The physics of throw distance in accident reconstruction, (No. 930659). SAE Technical Paper., 1993, pág. 73).

$$v_p = \sqrt{\frac{2\mu_p g S}{1 + \mu_p^2}}$$

Onde:

μ_p : coeficiente de atrito do corpo contra o piso, adimensional (sugerimos 0,6 e 0,8 para abranger os dois extremos);

g : aceleração da gravidade, em geral usa-se $9,81 \text{ m/s}^2$;

S : distância total de projeção, em metros;

v_p : velocidade de projeção do pedestre em m/s;

Para encontrar a velocidade de impacto do veículo, ou seja, a velocidade com que o veículo trafegava no instante em que atingiu o pedestre, é preciso encontrar a eficiência de projeção do pedestre por meio da equação:

$$e = \frac{h_v}{h_{cg}}$$

$$v_i = \frac{v_p}{e}$$

Em que:

v_p : velocidade de projeção do pedestre em m/s;

h_v : é a altura da extremidade anterior da tampa do compartimento do motor do veículo;

h_{cg} : é a altura do centro de gravidade do pedestre (em geral, fica aproximadamente a 59% da altura para o sexo masculino e 56% para o sexo feminino).

v_i : a velocidade de impacto do veículo, em m/s

$$v_i = \frac{v_p}{e}$$

Para converter a velocidade para km/h multiplica-se o resultado por um fator de 3,6 (já incluído no resultado apresentado pelo aplicativo).

MÉTODO DE LIMPET

A velocidade de impacto de um veículo em um atropelamento pode ser estimada se for obtido o valor da desaceleração real ou experimental (a_v) do veículo envolvido e a distância de projeção total (S) do pedestre (Limpert, 1994, p. 545):

$$\left(v_i = 19,2\sqrt{2,56f^4 + fS - 32f^2 \pm 4} \right)^1$$

Onde:

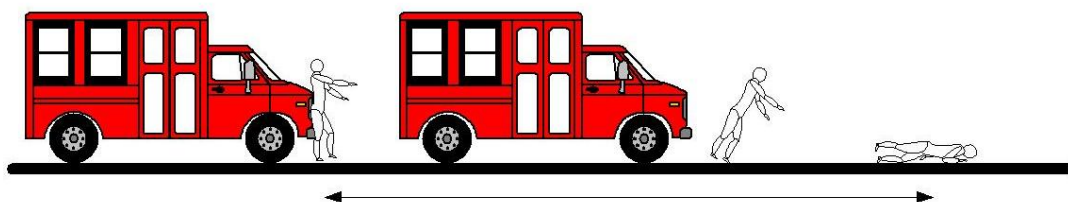
S: distância total de projeção;

f: fator de desaceleração do veículo;

v_i : velocidade de impacto do veículo em km/h.

Forward Projection

Projeção para frente (*forward projection*): o corpo é lançado horizontalmente para a frente.



Sx: Distância de projeção

- ✓ CG do pedestre está abaixo do ponto mais elevado da frente do veículo.

¹ A equação apresentada é uma adaptação da original para apresentar o resultado no sistema métrico

- ✓ Distância de projeção proporcional à velocidade do veículo.
- ✓ Lesões tórax ou dorso.

Para estimar a velocidade do veículo nesse tipo de sinistro, utiliza-se os seguintes métodos:

Modelo de Northwestern

Nesse modelo aplica-se uma composição de movimentos, por um lado a queda livre com velocidade inicial horizontal e por outro lado o deslizamento sobre o chão (Collins & Morris, 1979; Fricke & Baker, Traffic Accident Reconstruction, 1990, pp. 77-11).

Para aplicar este método, em primeiro lugar é calculada a distância de voo (d_f):

$$d_f = 2\mu_p h_{cg} - 2h_{cg} \sqrt{\mu_p^2 - \left(\frac{\mu_p S}{h_{cg}}\right)}$$

S : distância total de projeção;

d_f : distância de voo (da colisão até o contato com o solo);

h_{cg} : altura do centro de gravidade do pedestre (deve ser negativo);

Posteriormente, a velocidade inicial de saída do pedestre pode ser calculada usando, indistintamente, a velocidade de voo como a velocidade de deslizamento.

$$v_{proj_voo} = d_f \sqrt{\frac{-g}{2h_{cg}}}$$

$$v_{proj_deslizamento} = d_f \sqrt{2\mu_p g d_s}$$

Para encontrar a velocidade de impacto do veículo, ou seja, a velocidade com que o veículo trafegava no instante em que atingiu o pedestre, é preciso encontrar a eficiência de projeção do pedestre por meio da equação:

$$e = \frac{m_v}{m_v + m_p}$$

Em que:

m_v : é a massa do veículo;

m_p : massa do pedestre.

A velocidade de impacto do veículo é dada por:

$$v_i = \frac{v_{proj}}{e}$$

Modelo de Toor

Em um primeiro trabalho eles alcançaram uma fórmula baseada em uma análise estatística de uma ampla amostra de casos de atropelamento e o

resultado foi o seguinte (Happer, Araszewski, Toor, Overgaard, & Johal, 2000, p. 6; Toor, Araszewski, Johal, Overgaard, & Happer, 2002, p. 5) :

$$v_v = 11,4\sqrt{S} - 0,4$$

Com um erro de $\pm 10,5$ km/h para o percentil 85 da amostra. Dois anos depois, foram analisados os dados de 359 atropelamentos de pedestres fornecidos por várias fontes para rever e validar modelos estatísticos anteriores (Toor, Araszewski, Johal, Overgaard, & Happer, 2002, p. 8).

$$v_v = 11,3\sqrt{S} - 0,3$$

Com um erro estimado de $\pm 10,5$ km/h no intervalo dos percentis 15 a 85 e de ± 14 km/h no intervalo dos percentis 5 a 95. Um ano depois, os mesmos autores publicaram uma lei de potência que ligava a velocidade de atropelamento do veículo à distância de projeção horizontal (Toor & Araszewski, Theoretical vs empirical solutions for vehicle/pedestrian collisions, SAE paper 2003-02-0883, 2003, p. 121)

$$v_v = 8,25 S^{0,61}$$

- $\pm 7,7$ km/h para o intervalo de percentis de 5 a 95.
- $\pm 12,2$ km/h para o intervalo de percentis de 15 a 85.

Os "percentis" referem-se a uma medida estatística que indica o valor abaixo do qual uma determinada porcentagem de observações em um grupo de observações cai. Por exemplo, o 5º percentil é o valor abaixo do qual 5% das observações podem ser encontradas. O uso de percentis aqui sugere que os erros estimados foram calculados ou observados para cobrir a maior parte das medições, excetuando-se os extremos (os 5% mais baixos e os 5% mais altos no primeiro caso, e os 15% mais baixos e os 15% mais altos no segundo caso), provavelmente para minimizar o impacto de valores atípicos ou extremos na análise.

Determinação da Velocidade de Impacto Pelas Marcas de Frenagem

Em situações que o veículo atinge o pedestre com as rodas travadas e permanece assim até sua imobilização é possível estabelecer a velocidade desenvolvida pelo veículo por meio da extensão das marcas de frenagem por meio da equação:

$$v_i = 3,6\sqrt{2fgS}$$

Onde:

3,6 é o fator de conversão de metros por segundo para quilômetros por hora.

v_i : velocidade do veículo em km/h;

f : fator de arrasto do veículo, adimensional;

g : aceleração da gravidade, em geral usa-se $9,81$ m/s²;

S: o comprimento, em metros, da marca pneumática desde o início até as rodas traseiras.

Determinação do Fator de Arrasto em Inclinação

1. Entrada de Dados

O aplicativo coleta as seguintes informações do usuário:

Coeficiente de atrito (μ) da superfície

Inclinação da superfície (em decimal, por exemplo, 0.1 para 10%)

Tipo de inclinação (subida ou descida)

Indicador se a inclinação é menor que 10%

2. Ajuste da Inclinação

Dependendo do tipo de inclinação selecionado, a inclinação é ajustada:

Para descida, a inclinação é considerada negativa.

Para subida, a inclinação é considerada positiva.

O fator de arrasto (f) é calculado usando duas equações diferentes, dependendo se a inclinação é menor ou maior que 10%.

(para inclinações menores que 10%):

$$f = \mu \pm \text{inclinação}$$

(para inclinações maiores que 10%):

$$f = \frac{\mu \pm \text{inclinação}}{\sqrt{1 + \text{inclinação}^2}}$$

Determinação da Distância Total de Parada

1. Entrada de Dados

O aplicativo coleta as seguintes informações do usuário:

- Tipo de veículo (veículo de passeio ou caminhão)
- Condição da superfície da estrada (asfalto novo, concreto velho, terra solta, etc.)
- Distância de frenagem (em metros)
- Tempo de reação (em segundos)
- Coeficiente de atrito mínimo
- Coeficiente de atrito máximo

2. Seleção do Coeficiente de Atrito

O usuário escolhe a condição da superfície da estrada de uma lista predefinida. Cada condição tem diferentes coeficientes de atrito mínimo e máximo, tanto para veículos de passeio quanto para caminhões.

3. Cálculo da Velocidade Dissipada

A velocidade dissipada do veículo é calculada usando a seguinte fórmula:

$$v_i = \sqrt{2fgS}$$

Onde:

- 9.81 é a aceleração devido à gravidade (m/s²)
- f : fator de arrasto do veículo, adimensional;
- g : aceleração da gravidade, em geral usa-se 9,81 m/s²;
- S : a distância em metros das marcas de frenagem.

4. Cálculo da Distância de Reação

A distância de reação é calculada multiplicando a velocidade do veículo no início das marcas de frenagem (realizado acima) pelo tempo de reação:

$$d_r = v_i \times t_r$$

5. Cálculo da Distância Total de Parada

A distância total de parada é a soma da distância de reação e da distância de frenagem:

Distância total de parada = distância de reação + distância de frenagem.

$$S = d_r + d_f$$

$$S = v_i t_r + \sqrt{2fgS}$$

ADVERTÊNCIA

Este aplicativo é projetado como uma ferramenta auxiliar para peritos criminais, oferecendo suporte em suas investigações. É importante enfatizar que o app destina-se a auxiliar no processamento de locais de atropelamento, mas não substitui o julgamento crítico e a expertise do perito criminal. A responsabilidade pela interpretação dos resultados e pela

tomada de decisões informadas com base nessas interpretações recai exclusivamente sobre o profissional que utiliza a ferramenta.

Além disso, embora o aplicativo seja construído para oferecer dados precisos e confiáveis, deve-se notar que todas as ferramentas computacionais têm limitações inerentes. Portanto, é aconselhável que os peritos criminais corroborem os resultados do app com outras evidências e por meio de métodos de verificação independentes. Os usuários também devem estar cientes do potencial de discrepâncias devido a variações na qualidade dos dados de entrada ou comportamentos de software imprevistos.

Em última análise, este aplicativo deve ser visto como um componente de um kit de ferramentas de análise forense abrangente. Ele visa agilizar certos processos e fornecer insights úteis que podem auxiliar peritos criminais em suas investigações detalhadas. No entanto, a expertise e o julgamento do profissional forense permanecem primordiais na avaliação da significância e confiabilidade de quaisquer achados obtidos por meio desta ferramenta.

Como utilizar o aplicativo:

Assista ao vídeo no YouTube ou grupos de WhatsApp.

É isso completo não água gravar o vídeo salvar aqui