

## **COLISÃO ENTRE MOTOCICLETA E VEÍCULO DE PASSAGEIROS: ANÁLISE PELO MÉTODO DA CONSERVAÇÃO DO MOMENTO LINEAR**

CLAUDERSON MARCHESAN BIALI<sup>1</sup>, JOÃO CARLOS PINHEIRO BECK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Especialista, Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Controle e Automação, Instituto IBC de Perícias e Avaliações Forenses (www.ibcpericias.com.br), Porto Alegre-RS, eng.clauderson@gmail.com;

<sup>2</sup>Doutor, Engenheiro Metalurgista, Físico, Instituto IBC de Perícias e Avaliações Forenses (www.ibcpericias.com.br), Porto Alegre-RS, jcpinheirobeck@gmail.com;

**RESUMO:** Neste trabalho é apresentada uma análise detalhada, através do método Físico da Conservação do Momento Linear, de sinistro de trânsito envolvendo veículo de passageiros e motocicleta, tendo como objetivo identificar a culpabilidade pela colisão. A metodologia de análise aqui utilizada fundamentou-se nos seguintes elementos: nas massas dos veículos; velocidades antes e após a colisão; nos ângulos de entrada e de saída dos veículos do sítio do impacto, entre outros elementos. Desta maneira, para o tipo de colisão em tela, concluiu-se que a motocicleta foi o veículo responsável pela colisão em análise, apresentando ângulo de entrada no provável ponto de colisão (PPI) em 12,41° e ângulo de saída em 16°. Ângulos os quais corroboram a informação de posição de imobilização da motocicleta presente no registro desta colisão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Velocidade, colisão, ângulo de entrada, ângulo de saída.

### **COLLISION BETWEEN MOTORCYCLE AND PASSENGER VEHICLE: ANALYSIS BY THE LINEAR MOMENT CONSERVATION METHOD**

**ABSTRACT:** This work presents a detailed analysis, through the Physical Method of Linear Moment Conservation, of a traffic accident involving bus and motorcycle, aiming to identify the culpability for the collision. The analysis methodology used here was based on the following elements: vehicle masses; speeds before and after the collision; at the angles of entry and exit of vehicles from the impact site, among other elements.

In this way, for the type of collision in the screen, it is concluded which vehicle was responsible for the collision under analysis.

**KEYWORDS:** Velocity, collision, entry angle, exit angle.

### **INTRODUÇÃO**

Nas discussões judiciais envolvendo sinistros de trânsito nas quais atuamos como Peritos Judiciais, com análises que são, praticamente, indiretas, pois, quando a discussão atinge a esfera judicial já se passou algum tempo e os elementos do sítio do sinistro já foram alterados ou perdidos, e os documentos juntados aos autos pelas Partes envolvidas são fortemente utilizados para auxiliar na reconstrução do evento acidentológico (Negrini Neto, 2003). Nos acidentes em que órgão oficial competente realiza análise imediata e com levantamento de local adequado, o trabalho dos Peritos Judiciais e Assistentes Técnicos é facilitado. De qualquer maneira, os relatos do acidente pelos envolvidos no sinistro devem ser analisados criteriosamente pelos Auxiliares da Justiça.

O caso aqui analisado trata de sinistro de trânsito envolvendo veículo de passageiros e motocicleta, ocorrido em trecho em curva na rodovia RS 400, próximo às cidades de Candelária-RS e Passa Sete-RS.

O desafio para esclarecer este sinistro de trânsito, tendo em vista o tempo decorrido desde o sinistro até a realização da Perícia, mais de cinco anos, bem como as declarações completamente opostas dos condutores dos veículos em relação ao evento de colisão, foi o que fez este caso ser merecedor de destaque.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho apresenta estudo detalhado acerca de colisão entre veículo de passageiros e motocicleta, estudo o qual utilizou o método físico da “Lei da Conservação do momento linear” (Dayli et al., 2006), para esclarecer o evento acidentológico em tela. Suscintamente, temos, segundo Dayli et al. (2006), que tal método considera as massas dos veículos, velocidades antes e depois da colisão e os ângulos de entrada e saída no ponto de impacto:

$$L = m \cdot v;$$

Eq. 01

Onde:

L= momento linear;

m= massa do veículo;

v= velocidade do veículo.

De acordo com Dayli et al. (2006), e Feitosa Aragão (2009), a teoria da conservação do momento linear coloca que os momentos lineares antes da colisão ( $\vec{P}$ ), são iguais aos momentos após a colisão ( $\vec{q}$ ):

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{q}_1 + \vec{q}_2$$

Temos que:

v= velocidade da motocicleta antes da colisão = 60 km/h = 16,66 m/s;

u= velocidade da motocicleta após a colisão;

v<sub>1</sub>= velocidade do ônibus antes da colisão = 60 km/h = 16,66 m/s;

u<sub>1</sub>= velocidade do ônibus após a colisão = 60 km/h = 16,66 m/s;

m= massa da motocicleta + ocupantes;

m<sub>1</sub>= massa do ônibus + passageiros;

ψ= ângulo de entrada da motocicleta no sítio da colisão;

φ= ângulo de saída da motocicleta no sitio da colisão;

α= ângulo de entrada do ônibus no sítio da colisão;

β= ângulo de saída do ônibus no sítio da colisão.

Decompondo-se os vetores no eixo x (sentido Candelária - Passa Sete) temos, após algum esforço algébrico, conforme Dayli et al. (2006), e Feitosa Aragão (2009), a expressão em função da velocidade:  $v = m_1/m \cdot u_1 \cdot \text{sen}(\beta - \alpha) + u \cdot \text{sen}(\varphi - \alpha) / \text{sen}(\psi - \alpha)$

Eq. 02

As características dos veículos envolvidos são as seguintes:

Veículo de passageiros Mercedes Benz	Motocicleta Honda 125
Ano/modelo de fabricação: 1994; Largura: 2.600 mm; Comprimento: 13.150 mm; Altura: 380 mm; Massa: 11.080 kg.	Ano/modelo de fabricação: 1984; Comprimento: 1.935 mm Massa + passageiros: 240 kg; Distância entre eixos: 1.270 mm.

Tabela 01- Características dos veículos envolvidos.

Segundo declarações das Partes envolvidas neste sinistro de trânsito, o evento ocorreu da seguinte maneira:

**Versão do condutor da motocicleta:** deslocava-se em sentido oposto ao veículo de passageiros, respeitando o limite de velocidade da via quando, em trecho em curva, no quilômetro 25 da RS 400, o ônibus teria invadido a pista de rolamento da motocicleta com sua parte traseira e dado causa ao acidente.

**Versão do condutor do veículo de passageiros:** deslocava-se em sentido oposto ao da motocicleta, respeitando o limite de velocidade da via quando, no quilômetro 25 da RS 400, a motocicleta teria invadido a pista de rolamento do ônibus e colidido contra a traseira do veículo de passageiros, entre as rodas traseiras do lado esquerdo.

O órgão oficial que atendeu a ocorrência desenvolveu a seguinte triangulação posicional do sítio do sinistro:

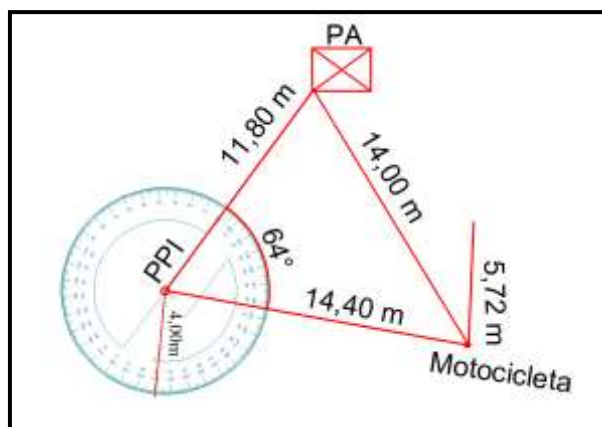


Figura 01- Triangulação posicional estabelecida por órgão oficial. Representação do transferidor por estes Peritos.

Onde, PPI é “provável ponto de impacto”, localizado, segundo órgão oficial que atendeu a ocorrência, na pista de rolamento do ônibus, e foi estabelecido por ter sido observado resíduo de óleo lubrificante sobre a pista e orifício no bloco do motor da motocicleta. E PA é “ponto de ônibus” presente no local do acidente.

Com a utilização de ferramentas computacionais adequadas, foi possível transferir a triangulação (Meriam, 1976), identificada por órgão oficial (Polícia Rodoviária Estadual-RS), a partir dos Exames Pericial e Documental, para o local do ocorrido.

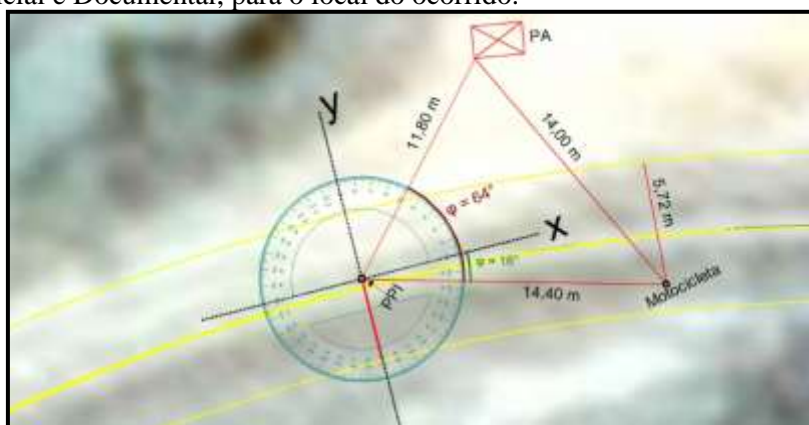


Figura 02- Sobreposição da triangulação do ponto de colisão na figura do sítio do acidente.

**Segundo o condutor da motocicleta:** com base nas informações do condutor da motocicleta, características dimensionais dos veículos e das pistas de rolamento, e no ponto de colisão, foi possível estabelecer a seguinte triangulação dimensional apresentada na figura 03. Atribuiu-se  $10^\circ$  para  $\alpha$ , pois para valores de ângulo de entrada do ônibus ( $\alpha$ ) inferiores, a traseira do veículo não invadiria a pista de rolamento da motocicleta.

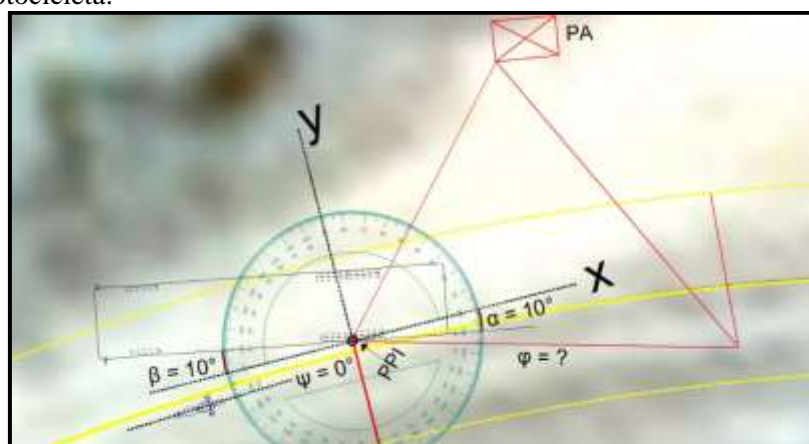


Figura 03- Triangulação dimensional com ônibus invadindo a pista da motocicleta.

**Segundo o condutor do veículo de passageiros:** a partir das declarações do motorista do ônibus, características dimensionais dos veículos e das pistas de rolamento, e do ponto de colisão, foi possível estabelecer a seguinte triangulação dimensional:



Figura 04- Triangulação dimensional com a motocicleta invadindo a pista do ônibus.

O ângulo de saída da motocicleta ( $\phi$ ) é conhecido e mede  $16^\circ$  (figura 02), a variável nesta situação é o ângulo de entrada da moto ( $\psi$ ) no PPI. Conforme relato do condutor da motocicleta, ele trafegava sobre a sua pista de rolamento, sentido Candelária - Passa Sete e, não, sobre o acostamento. Portanto, traçando-se uma linha a partir do PPI que tangencia a faixa limite entre pista de rolamento e o acostamento, pode-se limitar o ângulo máximo de entrada deste veículo no momento do impacto. O valor deste ângulo deve ser no máximo  $15,5^\circ$ , ângulos maiores que este, indicam que a moto estaria trafegando pelo acostamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Respeitando-se a **versão apresentada pelo condutor da motocicleta**, e utilizando-se a teoria da conservação do momento linear, foi verificado se o ângulo de saída da moto confere com o ângulo encontrado segundo triangulação apresentada por órgão oficial (figuras 01 e 02). A velocidade inicial da motocicleta foi assumida, respeitando a informação de seu condutor, em 60 km/h. A velocidade da moto após a colisão foi estimada, segundo Negrini Neto (2003) ou Feitosa Aragão (2009), por  $V_p = (2 \cdot \mu \cdot g \cdot x)^{1/2} = 13,02 \text{ m/s}$  (46,87 km/h).

Onde:

$V_p$  = velocidade do veículo após impacto;

$\mu$  = coeficiente de atrito (neste caso, sendo conservador, adotou-se 0,60), de Dayli et al., (2006);

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ;

$x = 14,40 \text{ m}$  (figura 01).

Continuando, temos ângulo de saída da motocicleta ( $\phi$ ), após substituições e manipulações algébricas na equação 02:  $167,863 \cdot \cos^2 \phi + 13,016 \cdot \cos \phi - 154,44$ . Utilizando-se a equação de Bhaskara:

$$\text{De: } x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\cos \phi = 0,921 \text{ e } -0,998$$

O valor -0,998 significa, fisicamente falando, que a motocicleta teria finalizado sua trajetória após o sinistro na pista de rolamento do ônibus, ou seja, a moto não teria sofrido nenhuma reação com o impacto e mantido sua trajetória, deslocando-se no sentido do lado direito do ônibus, situação que é impossível.

Portanto, **ângulo de saída da motocicleta do PPI:**  $\phi = \cos^{-1}(0,921) = \phi = 22,92^\circ$

Com base agora **na versão apresentada pelo condutor do ônibus**, de que a motocicleta teria invadido sua pista, considerando que a massa do veículo de passageiros é 64 vezes maior do que a da moto, o ângulo de entrada do ônibus no PPI será o mesmo de saída e é  $0^\circ$ . Portanto, temos como variável o ângulo de entrada da motocicleta no PPI ( $\psi$ ). Logo, o ângulo de saída da motocicleta estimado pela equação 01:  $16,66 = 0 + 13,02 \cdot \sin(16) / \sin(\psi) = \sin(\psi) = 0,215 = \sin^{-1} 0,215$ . Portanto, **ângulo de entrada da moto do PPI:**  $\psi = 12,41^\circ$

Graficamente:

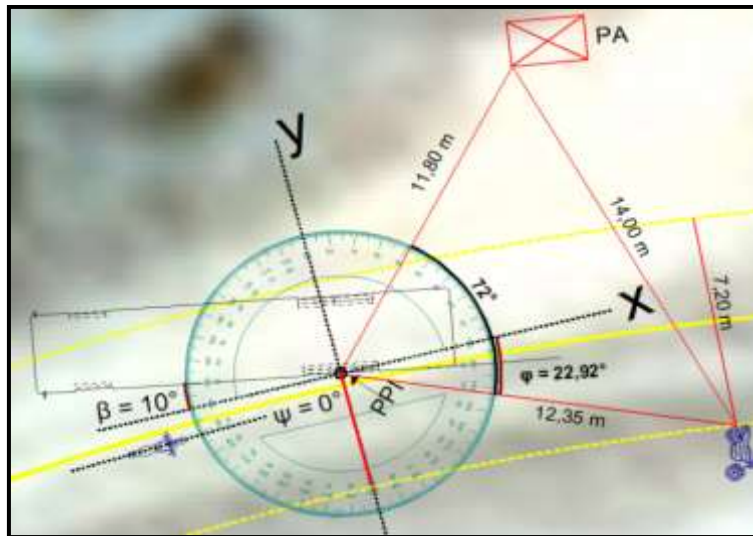


Figura 05- Posição de imobilização da motocicleta de acordo com a versão do condutor da moto.

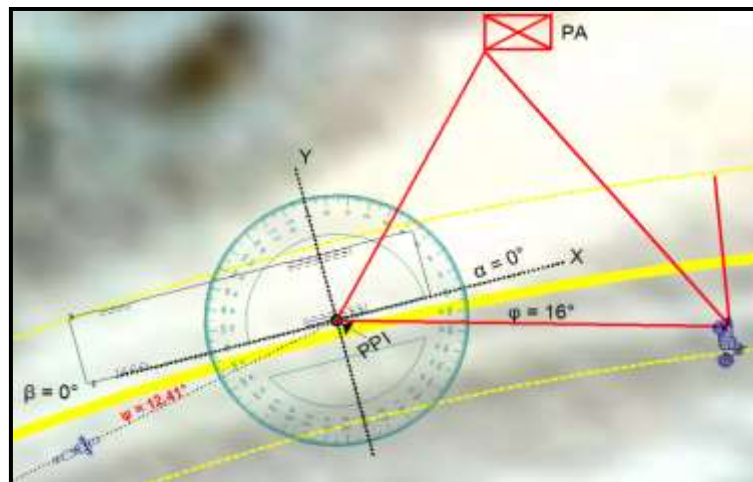


Figura 06- Posição de imobilização da motocicleta de acordo com a versão do condutor do ônibus.

## CONCLUSÃO

Tendo realizado criteriosas análises, após verificações das triangulações possíveis segundo o método físico da “Lei da Conservação do momento linear”, chegou-se apenas a uma conclusão. Comparando-se as figuras 05 e 06 com a figura 02, é possível verificar que na versão do sinistro segundo o condutor da motocicleta, a posição de imobilização da moto seria diferente do registro apresentado por órgão oficial (figura 01).

Portanto, é possível afirmar que a motocicleta invadiu a pista de rolamento do veículo de passageiros - com ângulo de entrada no PPI ( $\psi$ ) em  $12,41^\circ$  e ângulo de saída ( $\phi$ ) em  $16^\circ$  -, dando, assim, causa ao sinistro de trânsito em tela.

## REFERÊNCIAS

Dayli, John. Fundamentals of Traffic Crash Reconstruction, volume 2. Jacksonville, Florida: Editora IPTM, 2006.

Feitosa Aragão, Ranvier. Acidentes de Trânsito: Análise da Prova Pericial, 4ª edição. Campinas, SP: Editora Millenium, 2009.

Negrini Neto, Osvaldo. Dinâmica dos Acidentes de Trânsito: Análise e Reconstruções. Campinas, SP: Editora Millenium, 2003.

Meriam, J.L. Dinâmica, segunda edición. Editorial Reverté, S.A., Barcelona, 1976.