

TERMOS DE FÍSICA APLICADO A INVESTIGAÇÃO EM ACIDENTES DE TRANSITO.

Eduardo Sodré Pedrosa
Edwardorafal1212@gmail.com
Wellington Joaquin Mirad

RESUMO

O uso da física é feito a todo instante, pois a mesma está em todos os atos humanos e não humanos, seu conceito é uma ciência que analisa as leis do universo adequando-as matematicamente, investigando também a energia e a matéria. A ciência utilizada no sinistro é nada menos que a física, na perícia, um meio de prova cujo cunho é examinar e esclarecer fatos onde possui crimes e contravenções em locais de sinistro, no artigo será esclarecido os termos da física mostrando previa de cálculos e noções, afim de comprovar a o uso matemático nos indícios do acidente, conseguindo assim a real simulação do fato. Para iniciar os trabalhos o técnico deve ter conhecimento de física para abordar cada ocorrência.

Palavras-chave: Entendendo o uso da física nos sinistros.

1 INTRODUÇÃO

Quando deparamos um sinistro de automóveis pensamos em morte, lesão corporal e danos materiais, mas para outros vai bem mais além, todo acidente pode ser evitado, talvez o que culminou foi a imprudência, negligencia ou imperícia de algumas das partes (Estado ou condutor), para chegarmos a conclusão do que realmente houve no acidente é necessário um técnico para examinar o local e realizar as diligências necessárias, este técnico é nomeado perito criminal. Para realizar as diligências o técnico deve ter domínio de física, o seu uso é imprescindível para a investigação no sinistro (para calcular a velocidade, o atrito dos pneus, velocidade de impacto, marcas de guinada e frenagem), que será a base do nosso artigo, é nítido observar que o nosso único problema será entender os cálculos e o raciocino dos termos e como são abordados.

A pesquisa será baseada em livros de autores renomados, entrevistas com profissionais atuantes e como voluntário em auxiliar de perícia. Conterá no conteúdo imagens e tabelas para auxiliar no entendimento do artigo, com objetivo de mostrar os cálculos e entender como funciona algumas partes do acidentes de transito através de termos da física.

Entendendo os termos e a matematica no acidente de transito.

No acidente de transito o perito oficial dará início a investigação, no qual cunho é a reconstrução do fato, em um sinistro localizado em uma via com pavimento horizontal sem inclinação, adentrando no sitio de colisão o técnico observa marcas de frenagem. As marcas de frenagem são realizadas devido o acionamento do sistema de freios fazendo com que o pneu reduza sua rotação juntamente atritando com o pavimento, gerando marcas, lembrando que as marcas podem ser geradas em vias com aclives.

Atrito no pavimento

“ As múltiplas atuações do motorista sobre os variados sistemas ligados à condução do veículo traduzem-se em correspondentes respostas do veículo, representadas por determinados comportamentos dinâmicos, subordinados às leis da dinâmica e afetadas pelas condições da pista de rolamento (Ranvier Feitosa pag. 577) ”

Na maioria dos fatos, antes das colisões o condutor aciona os freios, dependendo da velocidade são geradas marcas no pavimento, frenagem ou guinadas (dependendo o referencial inercial) em termos físico é o atrito dinâmico dos pneus no asfalto. A força de atrito é sempre contraria ao movimento sendo calculada pela proporcionalidade da força normal pelo coeficiente de atrito do asfalto, podendo sofrer alteração variando a amplitude da via. O coeficiente de atrito no pavimento sofre variações de acordo com o clima. O atrito pode ser dinâmico (em movimento) ou estático (repouso) e consiste na maioria dos cálculos em relação velocidade, na investigação.

$$F_a = \mu \cdot N \quad F_a = P \cdot \text{sen } \alpha \quad N = P \cdot \text{cos } \alpha$$

Todos objetos concretos são compostos por energias, seria impossível não falarmos de energia em acidentes de transito.

Trabalho e energia

“ A combinação de energia com matéria forma o universo: matéria é substância, energia é o que move ou transforma a substância, como vapor se condensando e se transformando em líquido. A matéria possui massa e ocupa espaço, já a energia é abstrata observamos a energia apenas quando ela está sendo transferida ou transformada. (RANVIER 2016 PAG 568)”.

“ Observando que o trabalho realizado sobre um corpo pode consumir ou transferir energia a esse corpo, de forma simples, precisa e cientificamente rigorosa, foi através do trabalho (RANVIER 2016 PAG 568)”.

“ Para realizar trabalho, energia transferida entre diferente objetos. Assim, a energia que um objeto possui é medida pela sua capacidade de realizar trabalho. Energia é tudo aquilo que pode ser produzido do trabalho ou convertido em trabalho, ou seja, aquilo que tornam um objeto capaz de realizar trabalho é a energia. (RANVIER 2016 PAG 568)”.

Diante da mecânica clássica temos dois tipos de energia, a cinética e a potencial, calculadas com unidade em Joule. Com a ideia da energia cinética associada com o movimento, quando ocorre um trabalho, transferindo certa quantidade de energia, que por consequência realiza o movimento, é expressa em medida escalar, junto a explicação temos o teorema da energia que quando o trabalho realizado pelas forças do sistema que deslocam o corpo, o trajeto realizado pelo trabalho é igual a variação da energia cinética. Pelo outro termo a energia potencial temos o conceito mais abstrato pois o corpo pode vir a se movimentar, por isso o nome de potencial, é a energia que tem um objeto devido a sua posição a um plano.

Diante de todos estes termos, a união das energias é chamado de energia mecânica, denominado um sistema conservativo, onde o mesmo pode dissipar sua energia, sendo ela no fim do processo (E_f) é igual a energia inicial (E_i), adicionada ou reduzida da energia.

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \quad \text{Energia cinética}$$

$$E_p = mgh \quad \text{Energia potencial}$$

$$W = \Delta EC = EC_f - EC_i \quad \text{Teorema da energia cinética}$$

$$EM = EC + EP \quad \text{Energia mecânica}$$

$$E_f = E_i + E_a - E_s \quad \text{Energia dissipativa}$$

Velocidade

A velocidade em automóveis é o ponto chave para uma cadeia de danos, nos vestígios deixados por ela no sinistro e com mais alguns termos de física fazemos a reconstrução do fato. É o ramo da física em particular da mecânica clássica para explicar o movimento de uma partícula num espaço em relação ao tempo.

$$V = \frac{d}{dt}$$

Calculo da estimativa de parada

“ Conforme os primeiros trabalhos a que tivemos acesso, desenvolvidos nas décadas de 50 e 60, o tempo de percepção-reação variava de 0,75 segundos a 1,5 segundos entre nós, generalizando-se a adoção do tempo de 1,0 segundo para uma pessoa em condições físicas e psicológicas normais, o qual poderíamos chamar de *tempo de percepção-reação padrão*. (Ranvier 2016 pag 31)”.`

Unindo a informação do tempo de reação mais a velocidade de um veículo podemos lançar resultados que são imprescindível à perícia.

Distancia de percepção (baseando em 1 segundo) – velocidade dividido por 3,6, o resultado será quantos metros foi percorrido durante a percepção de 1 segundo.

$$D_{pr} = v: 3,6$$

Distancia de frenagem – Um veículo em movimento aciona os freios, sua parada dependera da velocidade da marcha.

$$d = v^2: 202,3$$

Um veículo que se embala em 110 km/h após acionar do sistemas de freios seu repouso será em aproximadamente em 60 metros.

$$d = 110^2: 202,3 \cong 60 \text{ m}$$

Para finalizar este tópico temos DTP distancia total de parada, apenas a soma da percepção de reação mais a distância de frenagem.

- Um automóvel animado a 60 km/h observa um veículo que está a 25m, realizando os cálculos através da DTP, haverá colisão?

$$DTP = D_{pr} + D =$$

$$TP = 60: 3,6 + 60^2: 202,3 = 16 + 17,8 = 33,8 \text{ m}$$

O veículo imobilizará a 33,8 metros conseqüentemente ocorrerá a colisão.

Avaliação básica da estimativa da velocidade de frenagem em pavimento horizontal

“ Assinalamos fatores que interferem na física da frenagem. Em resumo, para os cálculos práticos das velocidades de frenagem, observando-se que são adotadas valores fixos de coeficientes de atrito, a função velocidade de frenagem, ou seja, o comprimento das marcas de frenagem. (Ranvier 2016 pag 598).”`

As marcas de frenagem comumente são mais intensas na visualização no pavimento seco, sendo duas marcas contínuas e paralelas, escuras e nítidas. No pavimento úmido ou molhado as marcas ficam imperceptíveis ou desaparecer.

“ A efetividade dos resultados desses cálculos cumpre sempre definir o grau de precisão correlato a realidade. O cálculo da velocidade de frenagem tem como base a distância de frenagem (Ranvier 2016 pag. 599) ”.

“ Observe que um veículo em movimento possui energia cinética. Para reduzir sua velocidade ou pará-lo, consoante o princípio da conservação da energia, a energia cinética é convertida em outra modalidade de energia, respectivamente, parcial ou total (Ranvier 2016 pág. 599).”

Para o cálculo da velocidade de frenagem

$$V = \sqrt{2\mu g d}$$

V = velocidade estimada em m/s

μ = Coeficiente de atrito do pneu com o pavimento

g = Gravidade (resultante da análise de forças)

D = Tamanho da marca de frenagem

$$V = 15,9\sqrt{\mu d} \text{ Km/h}$$

μ = *Coeficiente de atrito dos pneus com o pavimento*

D = tamanho da marca de frenagem

Exemplificando –

Em um acidente de trânsito na BR 040, o veículo imprimiu 63 metros de marcas de frenagem retilíneas e contínuas, o pavimento é asfáltico, horizontal e seco ($\mu = 0,8$). Qual a velocidade do veículo?

$$V = 15,9\sqrt{0,8 \cdot 63} = 113 \text{ km/h}$$

O veículo imprimia uma velocidade de 113km/h.

Marcas intercaladas

- A marca de frenagem pode ser intercalada no pavimento devido alguma falha no sistema dos freios ou até mesmo do condutor no afrouxar do pedal.

“ As marcas de frenagens intercaladas, sucessão de marcas descontínuas podem ser oriundas de falhas no sistema de freio, de ressaltos das rodas ou de interrupções na aplicação dos freios. Nesses casos, para efeitos de cálculos da velocidade de frenagem num mesmo pavimento ou tipo de pavimento, deve-se descontar os vazios entre as marcas. Ranvier 2016 pag 599) ”.

$$v = 15,9\sqrt{\mu d_1 + d_2}$$

V = velocidade de frenagem com interrupção nas marcas

μ = coeficiente de atrito dos pneus com o pavimento.

d_1 e d_2 = comprimento da marca de frenagem

Velocidade através de marcas de frenagem em pavimentos distintos

Pode ocorrer do veículo em uma frenagem sair da pista e derrapar em pavimento diferente (barro, cascalho, gelo e etc).

$$v = 15,9 \sqrt{\mu d_1 + \mu d_2}$$

V = velocidade

D – comprimento da marca de frenagem

M_{1,2} – Coeficiente de atrito de cada solo

Calculo da estimativa da velocidade de frenagem em pavimento horizontal quando as rodas de cada lado do veículo frear em pavimentos distintos.

A velocidade de frenagem em pavimento horizontal, quando as rodas de cada lado frearam em pavimentos diferentes.

$$v = 15,9 \sqrt{d_1(\mu_1 + \mu_2)}$$

V – velocidade

D – comprimento da marca de frenagem

M_{1,2} – Coeficiente de atrito do solo 1 e 2

Calculo da estimativa de velocidade em pavimento inclinado com perfil longitudinal inclinado.

Quando se depara com uma inclinação no pavimento possui variados graus de amplitude, em decorrência de um veículo nesta inclinação temos um jogo de forças e energias atuantes, que dependendo do sentido sua parada poderá ser lenta ou rápida.

Quando a inclinação longitudinal do pavimento é menor ou igual a 10% ou 6°, a velocidade no início da frenagem é dada pela seguinte equação:

$$v = 15,9 \sqrt{d(\mu \pm h)}$$

Quando a inclinação for superior que 10% ou 6°, mudará a forma de calcular a amplitude devendo ser somado o seno e cosseno do ângulo de inclinação

$$v = 15,9 \sqrt{d(\mu \cdot \cos\theta \pm \sin\theta)}$$

Lembrando que quando for acento o sinal da raiz será positivo e negativo quando for declive.

Calculo da estimativa da Velocidade através de marcas de guinada

“ Na terminologia da perícia de acidente de trafego, ou mesmo da dinâmica veicular, *guinada*, que pode ser expressa pela velocidade veicular, representa brusca mudança de direção de um veículo que se encontra sob ação de dois movimentos, um na direção longitudinal e outro na transversal, resultando num movimento com trajetória curva, assemelhada a um ramo de cicloide, com progressão no sentido de uma das bordas da via. (Ranvier 2016 pag. 609 a 610) ”.

Pelas guinadas traduzimos, o trajetória que o veículo percorreu e o raio de giração aproximado, sendo base para calcularmos a estimativa de velocidade do veículo no início das marcas.

“ Sempre que o veículo tem de a derrapar lateralmente, há sempre uma força centrípeta, fornecida pelos pneus, resistindo á derrapagem até certo limite, por efeito da força de atrito entre os pneus e o pavimento (Ranvier 2016, pag. 610).

Quando um automóvel descreve uma curva durante a trajetória os pneus fazem atrito com o pavimento junto a uma força, impedindo do veículo tangenciar a curva, toda curva possui um raio critico mínimo o qual o veículo pode percorrer, mas caso o veículo transitar com o raio menor do a curva descreve será projetado para fora da mesma, transitar com o raio menor a hipótese é de que a velocidade de marcha superou a velocidade limite da curva.

Através da velocidade limite da curva (velocidade crítica da curva) são corriqueiramente usadas quando o sinistro não deixar pneumáticas no pavimento ou mesmo quando o pavimento úmido ou molhado.

As pneumáticas em curvas são identificadas por guinadas produzidas pelo pneus em rotação derrapando lateralmente em processo de frenagem, rolando livre ou acelerando. Para o cálculo através das guinadas:

$$= 11,27 \sqrt{\mu \pm e \cdot R} \quad \text{Formula utilizada para superelevação da via até 10 \%}$$

$$V = 11,27 \frac{11,27 \sqrt{(\mu \pm e) \cdot R}}{\sqrt{1 \pm \mu e}} \quad \text{Formula para superelevação da via maior que 10\%}$$

M – coeficiente de atrito do pavimento

E – inclinação percentual de superelevação

R – raio de curvatura (+ para raiz quando for acento e – quando for declive)

Calculo da estimativa de velocidade limite ou velocidade crítica de uma curva

“ No cotidiano da vida, todos passam pela sensação de que estão sendo puxados para o lado de fora quando o veículo descreve uma curva. Por isso, é do entendimento das pessoas comuns a crença de que existe uma força dirigida para fora da curva, à qual deram o nome de *força centrífuga*, que foge do centro.

“Na realidade não existe força centrífuga. À luz da física, sobredita sensação é explicada pelo Princípio da Inércia ou da Primeira Lei de Newton: a cada instante, o veículo está mudando constantemente de direção, ou seja, está dobrando para um dos lados, percorrendo a trajetória curva. Entretanto a inércia, os passageiros tendem a continuar diretamente para frente, tangenciando a curva em movimento retilíneo uniforme. (Ranvier 2016 pag. 612)“.

No veículo tem atuação da força centrípeta, agindo radialmente para dentro, centro da trajetória circular, o qual obriga-se a realizar o movimento circular onde ocorre atrito transversal entre as bandas de rodagens dos pneumáticos. Quando o condutor rotaciona o volante surge a força centrípeta a bandas dos pneus contrariam a inércia consequentemente realizando o movimento tangencial, surgindo automaticamente um força lateral relacionada ao atrito que conduz o veículo para o centro da curva. A força de atrito cresce exponencialmente, no depender da velocidade imprimida pelo automóvel pode superar o limite da velocidade, resultando o abandono do veículo a trajetória da curva (saindo pela tangente). Posto isso toda curva tem um limite para percorrê-la, conduzindo o automóvel adequadamente, caso contrário poderá ocorrer sinistros (deslizamento, tombamento ou capotamento).

Para o cálculo da velocidade crítica da curva, em tese valores mais precisos são obtidos acrescentando-se o coeficiente de atrito nos percentuais indicados, para trabalharmos com a curva iniciaremos com o raio de curvatura (R).

$$R = \frac{C^2}{8M} + \frac{M}{2}$$

Velocidade crítica de tangenciamento em curva plana

Em uma curva plana a atuação da força centrípeta é certa e deve ser fornecida devido o atrito, caso esse atrito seja superado o automóvel sairá pela tangente ao contrário o veículo continuará sua trajetória quando as forças de atrito e centrípeta forem iguais, no sistema de forças serão atuantes Força peso, Força Normal, Força de atrito e Centrípeta.

$$\frac{m \cdot V_L^2}{R} = \mu \cdot m \cdot g \quad V_L = \sqrt{\mu \cdot g \cdot R} \text{ m/s} \quad V_L = 11,3 \sqrt{\mu \cdot R} \text{ k/h}$$

Velocidade crítica de tangenciamento em curva superelevada.

Com intuito de reduzir ocorrências de acidentes de trânsito foram projetadas curvas com elevação, assim durante a trajetória o veículo não fica dependente do atrito, porém em algumas construções pode ocorrer falhas ou erros matemáticos dando uma superelevação negativa o que representa um risco a mais para ocorrência de sinistro.

Devido a inclinação, determina-se componentes do peso horizontal e vertical, forças centrípeta, atrito e peso horizontal.

$$V_L = 11,3\sqrt{\mu \cdot R} \text{ km/h}$$

Velocidade pela energia de deformação

As evidências mais notórias nos acidentes de trânsito são as deformações permanentes ou danos. Possibilitam fazer estimativas sobre o ângulo de ataque, as primitivas direções e sentidos de marcha dos veículos e, onde queremos chegar agora, servem de base de cálculo das primitivas velocidades dos veículos implicados.

A aplicação de uma força sobre o objeto pode provocar a alteração da sua quantidade de movimento ($q = m \cdot v$), produzir deformações ou, como é mais comum, os dois fenômenos simultaneamente, pelo que a positividade de deformações sobre um veículo denota a atuação de uma força sobre a área deformada. (RANVIER, 2016 p.632)

Afirmamos que para ocorrer uma deformação o trabalho deve ser igual a variação da energia cinética.

Para uma noção básica de velocidade de impacto a massa do corpo não varia durante a colisão, podemos idealizar um que o objeto possui uma massa e uma mola, no qual essa mola representa uma força de resistência a deformação.

Para determinarmos a velocidade de impacto será necessário sabermos a energia de deformação, através de uma tabela com os valores de rigidez e coeficientes de rigidez, logo após determinar qual a classe (1 a 5) analisar o setor que sofreu o dano (dianteiro, traseiro ou lateral) lá estará os coeficientes, A e B relacionado a cada região deformada.

Entendendo a fórmula é preciso ter a medida da largura da região deformada (L) engloba tanto lado horizontal, frontal ou traseira, também precisamos da tabela onde será identificado a profundidade do dano (C). No sinistro surge milhares de formas de colisões, para padronizar os cálculos foram organizadas fórmulas de acordo com a cota de deformação.

Quando se dispõe de duas cotas de deformações:

$$E_c = L \left[\frac{A}{2} \cdot (C_1 + C_2) + \frac{B}{6} \cdot (C_1^2 + C_1 \cdot C_2 + C_2^2) + \frac{A^2}{2B} \right]$$

Energia dispõe de quatro cotas de deformações

$$E_c = \frac{L}{3} \cdot \left[\frac{A}{2} \cdot (C_1 + 2C_2 + C_4) + \frac{B}{6} \cdot (C_1^2 + 2C_2^2 + 2C_3^2 + C_4^2 + C_1 \cdot C_2 + C_2 \cdot C_3 + C_3 \cdot C_4) + \frac{3A^2}{2B} \right]$$

Energia dispõe de seis cotas de deformações

$$E_d = \frac{L}{3} \cdot \left[\frac{A}{2} \cdot (C_1 + 2C_2 + 2C_3 + 2C_4 + 2C_5 + 2C_6) + \frac{B}{6} \cdot (C_1^2 + 2C_2^2 + 2C_3^2 + 2C_4^2 + 2C_5^2 + 2C_6^2 + C_1 \cdot C_2 + C_2 \cdot C_3 + C_3 \cdot C_4 + C_4 \cdot C_5 + C_5 \cdot C_6) + \frac{3A^2}{2B} \right]$$

Com a energia de deformação já identificada conseguimos a velocidade de impacto.

$$V = \sqrt{\frac{2E_d}{m}}$$

Em casos de colisões não colinear a linha de simetria do veículo, realiza o produto da tangente do ângulo com a energia de deformação.

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot E_d \cdot (1 + \tan^2 \alpha)}{m}}$$

3 CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os termos da física associados a acidentes de trânsito é de grande relevância para os profissionais atuantes, sendo usado na maioria das ocorrências. Os cálculos e teorias demonstradas foi retirada do livro de Ranvier Feitosa Aragão (Acidentes de trânsito análise da prova pericial, publicado em 2016) onde dispunha de 726 páginas relacionadas a acidentes em trânsito, sendo a pesquisa reforçada com demais livros de física e matemática. A pesquisa foi de grande proveito devido ao resultado obtido com os materiais, onde o objetivo era mostrar os cálculos envolvendo teorias de física e tendo um resultado de um termo físico. Se fossemos deparar com os autores renomados de criminalística este artigo será apenas uma revisão para seu conteúdo pois devido à falta de cientistas na área há uma escassez de teorias. Conclui-se que a física é uma ciência que em seu centro de conteúdo bastamos ter um pouco de entendimento sobre dinâmica e cinemática conseguimos ter um levantamento de sinistros, com as formulas dispostas vimos o quão é interessante uma análise de acidentes.

4 REFERÊNCIAS

Aragão R.F. **Acidentes de trânsito**, análise da prova pericial. 6º edição. Campinas: Millennium,2016.

Aragão R.F. **Investigação pericial e, locais de acidentes de trânsito**, 1º edição. Campinas: Millennium,2016.

Soares P.A.T., Ferraro N.G. **Física**, básica volume único, 2º edição. São Paulo: Atual,2004.

Mello J.L.P, **Matemática**, volume único, 1º edição. São Paulo: Moderna,2005.