

## O USO DA FÍSICA NO ENSINO DE ENGENHARIA E SEGURANÇA DE TRÁFEGO

**Archimedes A. Raia Jr.** - [raiajr@power.ufscar.br](mailto:raiajr@power.ufscar.br)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Departamento de Engenharia Civil

Via Washington Luis, km 235 Cx.P. 676 Home page: [www.ufscar.br/~deciv](http://www.ufscar.br/~deciv)

Fone (16) 260-8262 Fax (16) 260-8259

13565-905 - São Carlos - SP

***Resumo.** As disciplinas que tratam o assunto Engenharia de Tráfego nos Cursos de Engenharia Civil, da grande maioria das Universidades brasileiras, procuram formar o aluno através de ensinamentos que proporcionem ações em planejamento e operações do trânsito com o objetivo de maior fluidez, racionalidade, eficiência, com algumas “pitadas” de segurança. O Código de Trânsito Brasileiro, por sua vez, enfatiza de forma clara uma preocupação quanto à segurança, principalmente através de medidas de educação. Em vista disso o Departamento de Engenharia Civil da UFSCar criou a disciplina Fundamentos de Segurança no Trânsito-FST, com o objetivo precípua de completar a disciplina Engenharia de Tráfego, que tem caráter obrigatório. Dentre os itens considerados de importância na ementa da disciplina FST, julgou-se pertinente que o engenheiro conhecesse a maneira pela qual os acidentes de trânsito ocorrem. Para isto, alguns aspectos sobre a física do movimento foram incluídos: forças de atrito, distância de frenagem, resultantes de vetores, energia cinética, força centrífuga, equilíbrio etc. Há que se lembrar que essa abordagem nada mais se trata do que uma recordação dos ensinamentos ministrados durante a etapa básica do Curso, agora porém, com enfoque específico de aplicação no trânsito. A Física, dessa forma, se tornou uma ferramenta fundamental para um melhor entendimento de ações em favor da segurança do trânsito.*

**Palavras-chave:** trânsito; segurança no trânsito; física; ensino de engenharia.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a preocupação com o trânsito e suas conseqüências tem sido alvo de cobranças, debates, providências no sentido de se equacionar a problemática pela constante expansão da frota veicular no mundo inteiro.

“Uma das maiores realizações da humanidade foi, sem dúvida, o automóvel. Além de nos permitir uma mobilidade antes inimaginável, o carro, em pouco mais de um século, transformou radicalmente a nossa sociedade...Se por um lado o trânsito é uma expressão do desenvolvimento e do progresso, por outro lado acarreta graves conseqüências. Os alarmantes dados estatísticos referentes ao tráfego urbano e rodoviário preocupam hoje toda a comunidade científica, as entidades governamentais, as indústrias e a escola, que buscam desenvolver meios que propiciem uma melhor integração do homem com a máquina e com o

meio ambiente. Esta nova postura visa diminuir os indicadores numéricos dos acidentes, que conferem ao Brasil o lamentável título de recordista mundial de mortes no trânsito” (Fiat, s.d.).

O trânsito se tornou importantíssimo na vida dos cidadãos nas últimas décadas, devido ao aumento extraordinário na frota de veículos, fazendo crescer significativamente o número de acidentes de trânsito, com resultados de mortos e feridos que mais se assemelham àqueles contabilizados ao final de uma guerra.

Engenheiros civis são formados, geralmente, com conhecimentos técnicos suficientes para planejar e gerenciar o trânsito urbano ou rodoviário, porém pouco sabem sobre as causas físicas dos acidentes de trânsito. No curso de Engenharia Civil da UFSCar, a abordagem sobre a segurança no trânsito sempre foi tratada no curso de Engenharia de Tráfego, disciplina obrigatória dentro da Ênfase de Engenharia Urbana. No entanto, essa abordagem sempre foi considerada insuficiente na formação do engenheiro, que aprendia a engenharia do tráfego, no sentido de proporcionar maior fluidez, racionalização, e apenas algumas “pitadas” sobre a maneira como os acidentes de trânsito ocorrem.

Muitos dos engenheiros civis acabam se tornando técnicos em transporte e trânsito durante sua carreira profissional, e conhecer o processo de ocorrência dos acidentes é uma forma de ajudar a reduzi-los. Afinal, “a necessidade de promover a conscientização dos jovens sobre a importância crescente da educação e da segurança no trânsito é um objetivo social que mais do que nunca merece os esforços e a atenção de todos” (Fiat, s.d.).

O Código de Trânsito Brasileiro-CTB, que entrou em vigor em 1998, traz em seu bojo uma preocupação manifesta quanto aos aspectos de segurança e educação no trânsito, que compete ao Órgão Gestor Municipal parte da competência com relação aos aspectos de educação e segurança no trânsito municipal. Como exemplo, pode-se citar o Art. 24, item V, do CTB que prevê a competência dos órgãos e entidades executivos dos municípios, no âmbito de suas circunscrição “coletar dados e elaborar estudos sobre acidentes de trânsito e suas causas” (Brasil, 1998). Ora, para atuar de maneira plena essa atribuição que a Lei confere ao Município, é necessário que os técnicos da área estejam preparados para exercer esta atividade. Portanto, para “elaborar estudos sobre os acidentes e suas causas” passa necessariamente pelo conhecimento e domínio de aspectos relacionados à física.

Faz parte também do Art. 24, item XV, que compete ao órgão gestor municipal “promover e participar de projetos e programas de educação e segurança de trânsito”; portanto, para que o desempenho do gestor municipal seja aquele esperado pela sociedade, seus engenheiros e técnicos precisam estar totalmente familiarizados com a “produção” do acidente de trânsito. Como a maior parte das ocorrências de trânsito são inspiradas nas leis da Física, ignorá-las significa proporcionar condições para a sua ocorrência.

### **3. A DISCIPLINA FUNDAMENTOS DA SEGURANÇA NO TRÂNSITO**

Para cobrir esta lacuna existente com relação ao ensinamento de práticas de segurança no trânsito e para complementar a disciplina Engenharia de Tráfego, obrigatória aos alunos da Ênfase em Engenharia Urbana do Curso de Engenharia Civil da UFSCar, foi criada, em 1999, a disciplina Fundamentos de Segurança no Trânsito. A sua ementa prevê, dentre outros assuntos, o estudo de aspectos associados à física dos deslocamentos, tais como forças de atrito, distâncias de frenagem, resultantes de vetores de forças, centros de gravidade etc. Isto permitirá ao engenheiro de tráfego atuar de maneira pró-ativa no sentido de evitar que deficiências nos projetos de construção ou manutenção de vias e de operação de tráfego venham a contribuir para a ocorrência ou agravamento dos acidentes.

A ementa da disciplina de Fundamentos de Segurança no Trânsito prevê as seguintes abordagens:

- A física do deslocamento: forças de atrito, cálculo de velocidades, distância de frenagem, vetores resultantes de forças, força centrípeta etc.;
- Principais causas dos acidentes automobilísticos;
- Vias de locomoção e sinalização de trânsito;
- A importância do banco de dados de acidentes;
- A segurança de trânsito em países desenvolvidos; e
- Medidas que minimizam a ocorrência de acidentes.

Os recursos utilizados na disciplinas vão desde a exposição oral, o uso do computador, TV e Vídeo Cassete, incluindo filmes ilustrativos. Durante o curso os alunos desenvolvem trabalhos que requerem levantamento e estudo de condições em campo, particularmente de locais considerados como pontos críticos de acidentes. Este locais são mapeados, os dados de acidentes são obtidos através de convênio entre o Departamento de Engenharia Civil da UFSCar e a Polícia Militar-PM. Esses dados são coletados junto aos Boletins de Ocorrência elaborados pela PM e implantados em um Banco de Dados Informatizado, que serve de base para a criação de base de dados georreferenciada com o uso de ferramenta denominada Sistema de Informações Geográficas-SIG.

Os SIGs têm sido uma revolução no campo de sistema de gerenciamento de base de dados computadorizados nos últimos anos (Prastacos, 1991) e sua utilização no campo da engenharia de trânsito tem proporcionado um ganho significativo de eficiência, fazendo com que os alunos possam visualizar claramente determinadas situações que eles “desenhavam” na imaginação (Raia Jr., 1996).

### 3. A FÍSICA E OS ACIDENTES

Embora esteja previsto na ementa das Engenharias que os alunos devam cursar disciplinas de Física na etapa básica, nem sempre estes ensinamentos estão voltados para uma aplicação direta na engenharia, muito menos para as atividade relacionadas à Engenharia de Tráfego. Assim, é preciso “tirar a Física dos livros e levá-la para o meio da estrada” (Fiat, s.d.). Afinal, todos concordam que o ensino da Física na escola (...) deve enfatizar a Física do cotidiano” (Kleer *et al.*, 1997) e também é verdade que o cotidiano do Engenheiro de Tráfego não pode prescindir da Física.

Dessa forma, “uma investigação de um acidente de trânsito, conduzida por profissionais, aplica extensivamente os princípios de Mecânica, com o objetivo de inferir sobre as causas do acidente. Os princípios da Mecânica utilizados numa investigação são vistos nos cursos de Física de 2º grau [e aprofundados na universidade] e as técnicas de investigação utilizadas são interessantes e podem ser facilmente entendidas...” (Kleer *et al.*, 1997).

A importância da Física no estudo de acidentes é também ressaltado por Beaux (1974), quando afirma que “impõe-se conhecer e levar em conta o que seja viva, força centrífuga, impulso, queda, conjugação de forças etc., com o fim precípua de se poder interpretar os fatos, de determinar a velocidade dos veículos participantes do evento, a sua direção, itinerário, os limites de velocidade além dos quais o condutor perde o domínio do veículo e a segurança (...) sem o conhecimento dos mesmos, nem sempre se pode fazer um juízo de valor, coerente acerca do fato”.

Quando da apresentação da disciplina recém criada aos alunos, uma aparente indignação surgiu: “mas professor, nós já nos livramos da Física no período básico, teremos que vê-la novamente nas disciplinas técnicas? O que tem a ver a segurança do trânsito e a Física?”. A seguir serão apresentadas algumas fundamentações teóricas relacionando a Física e a Engenharia de Tráfego, mostrando a relação direta entre elas. Os princípios básicos da Mecânica utilizados na reconstituição dos acidentes de trânsito são aqueles apresentados abaixo (Kleer *et al.*, 1997),e que serão posteriormente detalhados:

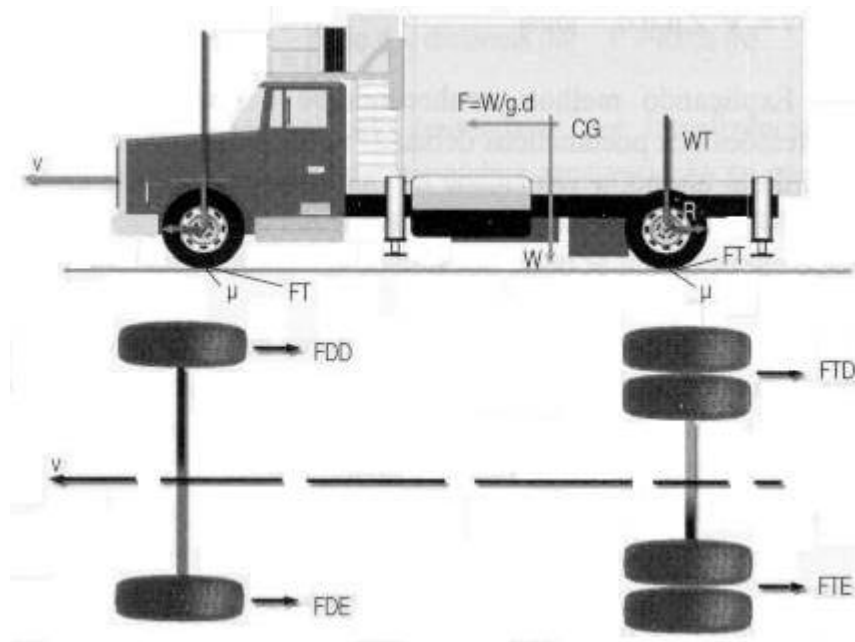
- Atrito;
- Aceleração constante;
- Leis de Newton;
- Conservação do movimento linear;
- Movimento circular; e
- Movimento de projéteis.

### 3.1. Coeficiente de Atrito

Uma investigação quantitativa mostra que, em módulo, a força de atrito  $F_a$  é aproximada e diretamente proporcional à força normal de reação  $N$ . Numa superfície em nível, a reação normal é igual ao peso  $P$  de um objeto. A relação entre o atrito e a normal é constante e depende apenas da natureza das superfícies que estão em contato. Essa constante é denominada de *coeficiente de atrito* ( $\mu$ ), e é dada por:

$$\mu = \frac{F_a}{N} \text{ ou } F_a = \mu \times N \quad (1)$$

O valor do coeficiente de atrito geralmente é inferior a 1; para o asfalto liso seco, seu valor é 0,6. O valor do coeficiente de atrito entre o pneu do veículo e a superfície da via é um valor fundamental na investigação dos acidentes de trânsito. A Figura 1 mostra alguns detalhes das forças que atuam em um caminhão durante a frenagem.



CG centro de gravidade

WD reação do peso no eixo dianteiro

FD força de frenagem no eixo dianteiro

$\mu$  coeficiente de atrito entre pneu e solo

d desaceleração

W peso total do caminhão

WT reação do peso no eixo

FT força de frenagem no eixo traseiro

R raio de rolamento

g aceleração da gravidade

**Figura 1 – Influência do veículo na frenagem**

Fonte: Leonardo (s.d.)

### 3.2. Atrito existente entre a superfície da via e os pneus dos veículos

Para que o veículo seja desacelerado ou venha a parar, é necessário o acionamento do sistema de freios que, em situações emergenciais, são acionados de maneira firme e forte. Salientam Kleer *et al.* (1997), que utilizando os freios convencionais, ou seja aqueles diferentes do tipo ABS (sistema anti-travante), as rodas são travadas e impedidas de rodar, resultando em uma desaceleração e derrapagem do veículo. A força de desaceleração é, portanto, o atrito de escorregamento, ou melhor, uma força do solo que atua sobre os pneus. Considerando uma via em nível, essa força corresponde ao produto do coeficiente de atrito ( $\mu$ ) dos pneus com o pavimento e o peso do veículo ( $mg$ ), ou seja,  $F_a = \mu mg$ , onde  $F_a$  é a força de atrito,  $m$  é a massa do veículo e  $g$  é a constante gravitacional. As forças de atrito automaticamente se opõem ao movimento do veículo. Em um automóvel, por exemplo, cerca de 20% da potência do motor são utilizados para contrabalançar as forças de atrito (Resnick e Halliday, 1973).

Quando a superfície da via estiver seca, o valor de  $\mu$  depende apenas da natureza da superfície dos pneus e do pavimento, portanto, independentemente do peso do veículo. O valor de  $\mu$  varia muito pouco com a velocidade, assumindo valores um pouco menores para velocidades mais altas. No entanto, se a superfície da pista estiver molhada, o valor de  $\mu$  passará a depender das condições dos pneus, da velocidade e do peso do veículo, além do grau de umidade.

### 3.3. Estimativa da velocidade considerando as marcas de derrapagem

As marcas deixadas pela derrapagem são encontradas, geralmente, em vias com maior intensidade de fluxo. Adotando-se, por exemplo, que um veículo de massa  $m$  trafega em uma via em nível com uma velocidade  $v$  antes que ocorra a derrapagem, a energia cinética é dada por:

$$E_c = \frac{1}{2} m \times v^2 \quad (2)$$

Após derrapar uma distância  $d$ , o veículo então pára. Assim, a força responsável pela desaceleração corresponde ao atrito entre os pneus e o pavimento da via ( $F = \mu mg$ ). O trabalho realizado pela força de atrito corresponde a:

$$W = F \times d = \mu \times m \times g \times d \quad (3)$$

Quando o veículo pára, a sua energia cinética é então reduzida a zero; a variação da energia cinética é igual ao trabalho feito contra a força de atrito, ou seja:

$$\frac{1}{2} m \times v^2 = \mu \times m \times g \times d \quad (4)$$

logo,

$$d = \frac{v^2}{2\mu \times g} \quad \text{ou} \quad v = \sqrt{2 \times \mu \times g \times d} \quad (5)$$

A formulação acima aponta que o trecho percorrido pelo veículo após a frenagem depende tão somente do atrito e da velocidade antes de ocorrer a derrapagem. Salientam Kleer *et al.* (1997) que a formulação acima fornece apenas a velocidade do veículo no início da derrapagem, porém não no momento em que os freios são aplicados. Quando estes são acionados fortemente, ocorre uma intensa desaceleração em um intervalo muito curto de tempo, antes de as rodas serem travadas completamente e ocorrer a derrapagem. A velocidade inicial que o veículo tinha antes da derrapagem não é possível de ser estabelecida; conhece-se, portanto, o mínimo valor da velocidade antes da derrapagem.

### 3.4. Estimativa da derrapagem a partir de uma velocidade conhecida

Na condição em que um veículo venha a colidir com outro veículo, ou mesmo se choque contra um objeto fixo (p. ex. um poste, uma caçamba de entulhos) após ter derrapado a uma distância qualquer, a velocidade  $v$  no começo da derrapagem pode ser determinada se a velocidade de impacto  $V$  for conhecida. A velocidade de impacto pode ser determinada a partir do estrago no veículo, ou mesmo pela aplicação do *Princípio de Conservação do Momento Linear*.

Ao derrapar, um veículo qualquer sofre uma desaceleração, cuja força é dada por  $F = -\mu mg$ , onde  $g$  é a força da gravidade e  $m$  é a massa do veículo. O sinal negativo indica que a direção do atrito é oposta a do movimento. Se a desaceleração média durante a frenagem for  $a$ , então, pela 2ª Lei de Newton, tem-se  $F = ma = -\mu mg$ . Logo,  $a = -\mu g$ .

Aplicando-se a equação de movimentos com aceleração constante, tem-se:

$$V^2 - v^2 = 2 \times a \times d \quad (6)$$

Substituindo-se  $a$ , obtém-se:

$$V^2 - v^2 = -2\mu \times g \times d \quad (7)$$

finalmente, isolando-se a velocidade no início da derrapagem, tem-se que

$$v = \sqrt{V^2 + 2 \times \mu \times g \times d} \quad (8)$$

### 3.5. Desaceleração na derrapagem e frenagem

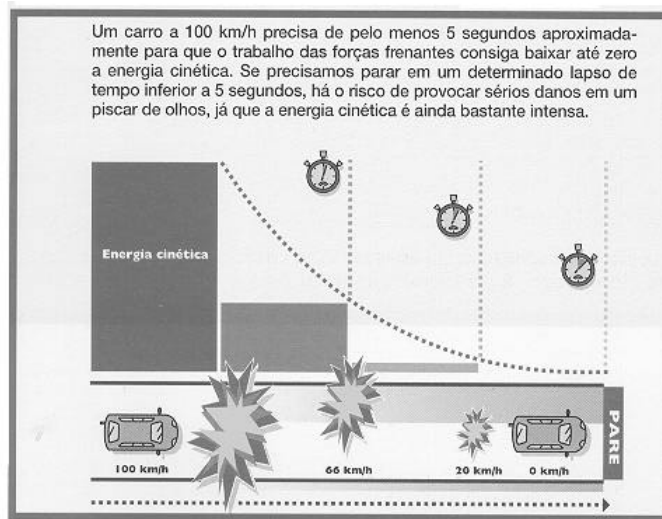
Num processo de derrapagem, a aceleração  $a$  de um veículo é dada por  $a = -\mu g$ , onde  $\mu$  é o coeficiente de atrito entre os pneus do veículo com o pavimento da via e  $g$  é a aceleração da gravidade. Rearrmando-se, tem-se que  $\mu = -\frac{a}{g}$ .

Assim, o valor do coeficiente de atrito  $\mu$  pode ser considerado como uma fração decimal da aceleração da gravidade  $g$ . Dado que  $v$  é a velocidade inicial,  $t$  o tempo gasto,  $V$  a velocidade final,  $a$  é a aceleração e  $d$  a distância percorrida, e substituindo-se  $a$  por  $-\mu g$ , as equações para o movimento acelerado, tão conhecidas, poderão ser anotadas como:

$$V = v - \mu \times g \times t; \quad d = vt - \frac{1}{2} \mu \times g \times t^2; \quad V^2 = v^2 - 2\mu \times g \times d \quad (9)$$

A Figura 2 mostra um diagrama com relacionando a diminuição da energia cinética, a velocidade e tempo, durante a frenagem até o instante de parada do veículo.

A desaceleração de um veículo na frenagem, porém sem travar as rodas, ou seja, sem deslizar, depende da força com que o freio é acionado. Por questão de conveniência, a desaceleração é, de maneira freqüente, expressa como uma fração decimal de  $g$ . Caso não haja evidências de derrapagem, o perito deve assumir um certo valor para a desaceleração do veículo na frenagem. Lembrem ainda Kleer *et al.* (1997), que as equações para o movimento com aceleração constante são igualmente úteis nestes casos.



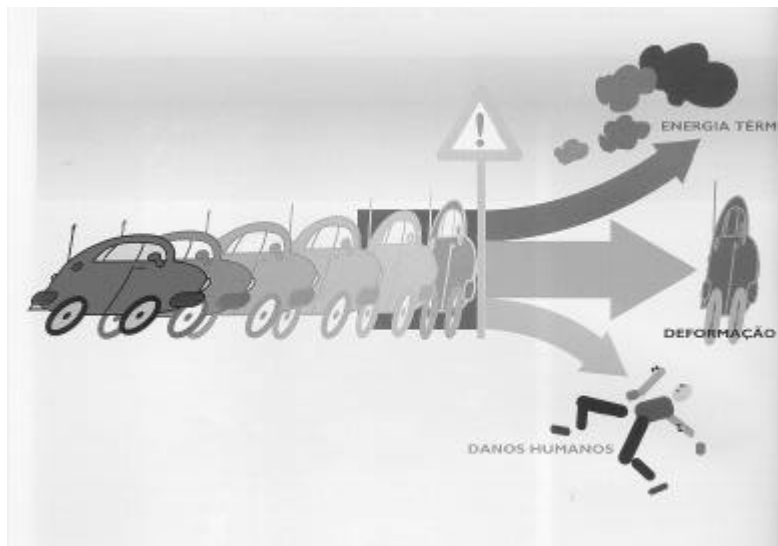
**Figura 2 – Tempo necessário para que o veículo pare após acionamento dos freios**

Fonte: Fiat (s.d.)

### 3.6. Colisões

Os acidentes de trânsito, de maneira geral, envolvem colisões dos mais diversos tipos. O *Princípio de Conservação do Momento Linear* pode, então, ser aplicado. No entanto, isso depende de se conhecer a trajetória e as velocidades dos veículos antes e após o impacto. Este Princípio pode ser aplicado para determinar as velocidades pré-impacto dos veículos se a massa e as velocidades após o impacto sejam conhecidas. Neste caso, as velocidades pós-impacto podem ser determinadas a partir das marcas da derrapagem.

A Figura 3 mostra a resultante de um processo de colisão: a liberação de energia térmica, a deformação do veículo e, infelizmente, danos às pessoas.



**Figura 3- Resultantes em uma colisão**

Fonte: Fiat (s.d.)

Se dois veículos colidem com um ângulo, o vetor soma do Momento antes do impacto deve ser igualada ao vetor soma do Momento após o impacto. alternativamente, pode-se equacionar as componente  $x$  e  $y$  do Momento, antes e depois do impacto.

### 3.7. Velocidade crítica nas curvas

Um veículo, ao fazer uma curva numa pista em nível, pode ser considerado mover-se ao longo de uma trajetória circular, onde a força centrípeta é dada por:

$$F_c = m \times v^2 / r \quad (10)$$

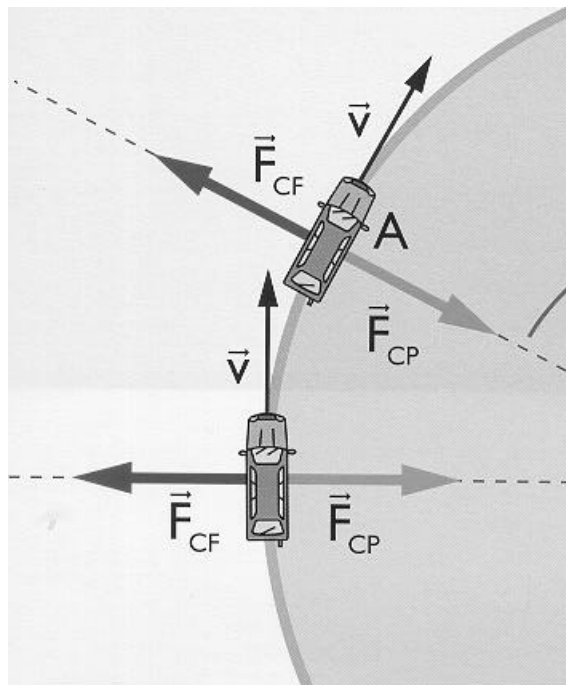
onde  $m$  é a massa do veículo,  $v$  a sua velocidade e  $r$  o raio da curva. A força centrípeta aponta em direção ao centro da curva e é fornecida pelo atrito lateral entre os pneus do veículo e a superfície da pista, ou seja,  $m \times m \times g = m \times v^2 / r$ . A Figura 4 mostra o exemplo de um veículo em uma curva, com as forças centrífuga e centrípeta representadas.

Equacionando-se as duas forças, tem-se que:

$$v = \sqrt{m \times g \times r} \quad (11)$$

Essa velocidade  $v$  é chamada de *velocidade crítica para a curva* e independe da massa do veículo; depende, isto sim, do coeficiente de atrito dos pneus do veículos com a estrada e do raio da curva. Dessa forma, pode-se tirar as seguintes conclusões (Kleer *et al.*, 1997):

- se a velocidade do veículo for menor do que a velocidade crítica da curva, o veículo não encontra dificuldades em fazê-la;
- se o veículo andar com a velocidade crítica da curva, estará no limite da adesão para a pista. Qualquer frenagem ou guinada na direção pode significar o risco da derrapagem lateral;
- se a velocidade do veículo for maior que a crítica, a força de atrito não será suficiente para fornecer a força centrípeta e, como resultado, o veículo é “atirado” para fora da pista.



**Figura 4 – Veículo em trajetória de curva**

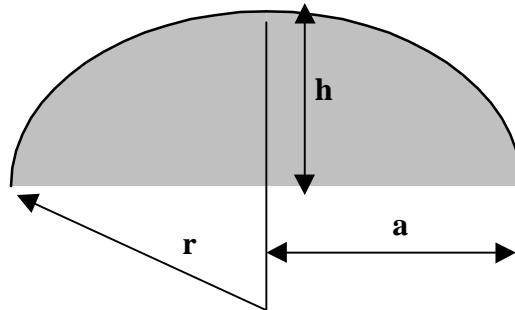
Fonte: Fiat (s.d.)



Para efeito de análise, o raio de curvatura da pista somente poderá ser medido de maneira indireta e a Geometria dispõe de um método interessante. O raio  $r$  de um arco pode ser calculado usando-se uma corda e a fórmula da ordenada do meio:

$$r = \frac{a^2 + h^2}{2h} \quad (12)$$

onde  $a$  é a metade do comprimento de uma corda do arco e  $h$  o comprimento da ordenada do meio, tal como apresentado na Figura 5.



**Figura 5 – Elementos necessários para o cálculo do raio de uma curva**

Esse método pode ser utilizado, em campo, para medir o raio de uma curva qualquer alinhando-se duas balizas, em dois pontos quaisquer, separadas pela distância  $2a$ .

### 3.7. Projéteis de um veículo

A velocidade de um veículo no momento onde ocorre um impacto poderá ser estimada se a distância percorrida por seus “projéteis” puder ser determinada. No entanto, deve-se assegurar que a posição em que um projétil se encontra no solo é de fato o local no qual ele bateu pela primeira vez. Despreza-se qualquer efeito de resistência do ar ou energia requerida para liberar o projétil do veículo. Um projétil pode ser lançado de um veículo num determinado ângulo ou o veículo pode cair em um precipício de uma pista inclinada. O ângulo com o qual o projétil é lançado afeta consideravelmente seu alcance; ignorar esse ângulo, de acordo com Kleer *et al.* (1997), “significa fornecer uma estimativa errônea da velocidade. Porém, se o ângulo do projétil não for conhecido, deve-se assumir um valor dependente de evidência circunstancial.

## 4. CONCLUSÕES

O trabalho aqui apresentado teve o intuito de demonstrar a relação direta que guardam os aspectos de segurança no trânsito e a Física. A repulsa inicial apresentada pelos alunos quando tomaram conhecimento do contato com a ementa do curso Fundamentos de Segurança no Trânsito, do curso de Engenharia Civil da UFSCar, foi substituída gradativamente quando a Física se mostrou como resposta para alguns questionamentos sobre a ocorrência de acidentes.

A relação entre a Física e a Engenharia e Segurança do Tráfego, aqui apresentada, em absoluto esgota todos os princípios que podem ser utilizados nas análises sobre a ocorrência de acidentes. A investigação sobre a ocorrência dos acidentes, por sua vez, despertou bastante interesse nos alunos, desfazendo aquela reação inicial apresentada por eles com o primeiro contato com a Física e, pelo contrário, sugere que esta ciência quando aplicada aos problemas que estão afetos à engenharia, desperta a simpatia e passa a ser vista como ferramenta de trabalho.

“Compreender objetivamente os riscos do trânsito é, com certeza, melhor do que assimilar, sem nenhum filtro, a sensação de onipotência que os filmes e vídeo games oferecem aos jovens em proezas emocionantes, heróicas e antigravitacionais (Fiat, s.d.).”

## 5. REFERÊNCIAS

- Beaux, A. (1974). *Acidentes de trânsito na Justiça*. v.III. Brasília, Forense.
- Brasil. Leis, decretos etc. (1998). Código de Trânsito Brasileiro. Lei Federal nº9.503/97. Piracicaba: Editora Unimep/Xerox do Brasil.
- Fiat (s.d.). *Moto Perpétuo: a segurança através da ciência e da educação*. Fórmulas no Trânsito. Guia do Professor. Fiat Automóveis/Ministério da Educação e Cultura.
- Kleer, A.A.;Thielo, M.R.; Santos, A.C.K. (1997). *A Física utilizada na investigação de acidentes de trânsito*. Caderno Catarinense de Ensino de Física. v.14, n.2. p.109-222.
- Leonardo, F.J. (s.d.). *Vida no trânsito*. Campinas, Editora Albatroz.
- Prastacos, P. (1991). *Integrating GIS technology in urban transportation planning and modelling*. Transportation Research Record. n.1305.
- Raia Jr., A.A. (1996). *O uso de Sistemas de Informações Geográficas no ensino de Engenharia de Transportes*. In: XXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Manaus. Anais. v.2. p.465-488.
- Resnick, R.; Halliday, D. (1973). *Física I*. v.1. Rio de Janeiro. Ao Livro Técnico.