

Segurança nas Rodovias e Força Centrífuga

Vinicius Isoppo Rodrigues (LASTRAN/UFRGS)

João Fortini Albano (PPGEP/UFRGS)

Resumo

No Brasil ocorrem anualmente cerca de 35mil mortes e mais de 400mil feridos em decorrência dos acidentes de trânsito. Este é um dos maiores problemas enfrentados pela sociedade brasileira. As estatísticas apontam a imprudência como responsável pela maioria dos acidentes face ao excesso de velocidade praticado por condutores. O custo global dos acidentes nas rodovias também é elevado, atingindo cifras de 22 bilhões de reais por ano. Informações coletadas indicam que 30% dos acidentes nas rodovias federais ocorrem nos trechos em curva. Com o objetivo de estudar e esclarecer um pouco mais esta questão decidiu-se desenvolver um estudo com foco nos valores da velocidade praticada por veículos e dos raios de curvas horizontais de rodovias. Partindo-se do pressuposto de que o valor da Força Centrífuga pode ser associado à possibilidade de ocorrência de acidentes em curvas, pois o mesmo é proporcional ao quadrado da velocidade e inversamente ao raio, desenvolveu-se uma verificação da variação da Força Centrífuga para dois veículos típicos da frota. Foram simulados vários cenários com diferentes valores de raio e velocidade dos veículos. Para cada combinação calculou-se o valor correspondente da Força Centrífuga. Por último, foram construídos gráficos de variação da Força Centrífuga que possibilitam a comparação com situações consideradas limites de segurança. Os resultados demonstram de forma didática a falta de segurança e a influência dos fatores estudados nos trechos em curva através da proposição de um índice designado por Grau de Periculosidade em Curvas. Situações muito críticas ocorrem com a combinação alta velocidade e baixo valor do raio horizontal. Palavras chave: segurança em rodovias; força centrífuga.

1 Introdução

Os acidentes rodoviários constituem um dos maiores problemas da realidade brasileira. Os dados pesquisados indicam que ocorrem anualmente cerca de 35mil mortes e mais de 400mil feridos (BRASIL, 2009). As causas dos sinistros são variadas, mas a imprudência dos condutores é a maior de todas. As estatísticas oriundas dos boletins de ocorrência de acidentes (BO) apontam a imprudência como responsável por 80% dos mesmos ficando os restantes por conta de problemas com veículos, estado das rodovias e condições climáticas adversas. De acordo com Albano (2009), existe uma interação entre os fatores apontados. Segundo o DNIT (2007) o custo global dos acidentes nas rodovias brasileiras é de 22 bilhões de reais por ano, correspondente a 1,2% do PIB nacional. As projeções para o futuro não são animadoras face ao crescimento da frota de veículos incentivado por isenções fiscais. Informações coletadas indicam que 30% dos acidentes nas rodovias federais ocorrem nos trechos em curvas horizontais (DNIT, 2009).

Partindo-se da condição física que o valor da força centrífuga varia com o quadrado da velocidade do veículo, objetiva-se, através do presente trabalho, estabelecer uma associação quanto à potencialidade de ocorrência de acidentes em curvas, através de verificações das condições de variação da força centrífuga para situações encontradas frequentemente nas rodovias brasileiras.

2 Base Conceitual

A força centrífuga (FC) é a força de inércia real que empurra um peso para fora do movimento curvilíneo quando o veículo estiver em uma trajetória curva. Esta força centrífuga aparece em todos os movimentos curvilíneos. Ao percorrer um trecho de rodovia em curva horizontal com certa velocidade, um veículo fica sujeito à ação da FC, que atua no sentido de dentro para fora da curva, facilitando saídas de pista e capotagens (LEE, 2002).

A FC é calculada por:

$$F_C = \frac{m.V^2}{R} \quad (1)$$

Onde:

- F_c - Força Centrífuga (N);
- m - massa do veículo (kg);
- V - Velocidade Tangencial (m/s);
- R - Raio da curva (m).

3 Método

Todo veículo que descreve uma trajetória curvilínea sofre ação da força centrífuga. A severidade dos acidentes em curvas depende fortemente do valor da força centrífuga. Assim, pretende-se desenvolver uma verificação da variação da força centrífuga para avaliação de suas consequências no que se refere a segurança de veículos nas curvas horizontais de rodovias.

Foram simulados vários cenários com diferentes valores de raio de curvatura e velocidade para dois veículos típicos existentes na frota. Para cada combinação de valores (velocidade e raio horizontal) calculou-se o valor correspondente da força centrífuga. Com estes dados construíram-se gráficos de variação da FC que demonstram situações de falta de segurança e a influência destes fatores nos trechos em curva.

Definiu-se como situação de referência, o limite de raio mínimo da Norma para Projeto de Rodovias (DAER, 1991) considerado ainda com existência de segurança. Correlaciona-se alto valor da FC com falta de segurança.

Os limites entre segurança e insegurança são definidos pelas combinações dos parâmetros velocidade diretriz e raio de curvatura horizontal de rodovias em região montanhosa para todas as Classes de Projeto.

Tabela 1 – Valores referência para cálculo de força centrífuga

Velocidade (km/h)	Raio (m)
30	25
40	50
50	80
60	115
80	210

Diferentes valores da Força Centrífuga decorrentes das combinações de velocidade e raio foram comparados com os de referência, definindo-se um indicador de periculosidade para os trechos em curva.

4 Desenvolvimento do estudo

Calculou-se a força centrífuga para diversas combinações de raio e velocidade de acordo com os valores constantes na Tabela 1 para dois veículos típicos da frota: um veículo de passeio, Renault Mégane 1.6 (Figura 1), com 2 ocupantes e peso bruto total 1.430 kg e um veículo de carga, semi-reboque tipo 3S3 (Figura 2), peso bruto total 50.925 kg, de acordo com o valor máximo permitido pela legislação.



Figura 1 – Veículos tipo: Renault Mégane 1.6



Figura 2 – Veículos tipo: semi-reboque tipo 3S3

A variação da força centrífuga em todas as combinações pode ser analisada através dos gráficos mostrados a seguir:

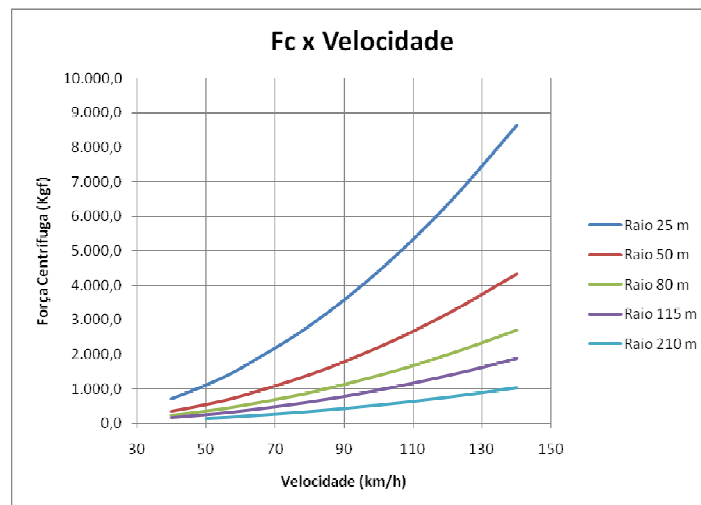


Figura 3 – Variação de Força Centrífuga – Veículo de passeio

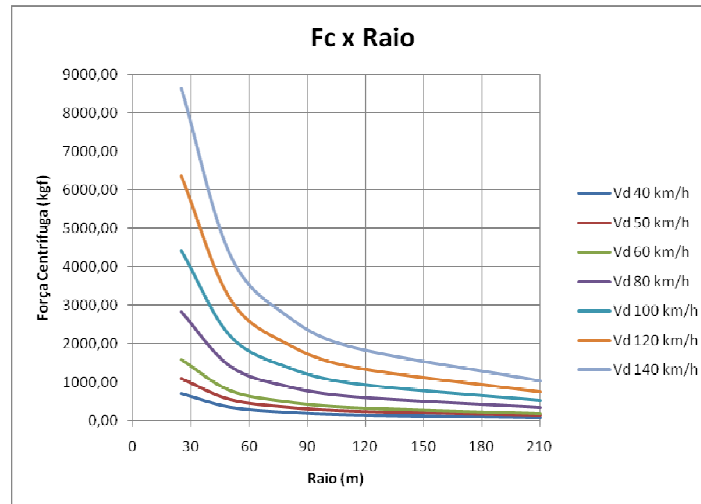


Figura 4 – Variação de Força Centrífuga – Veículo de Passeio

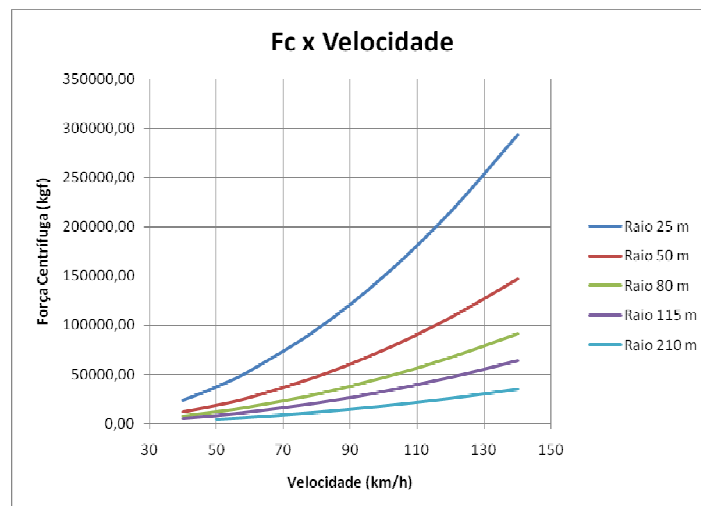


Figura 5 - Variação de Força Centrífuga – Veículo de Carga

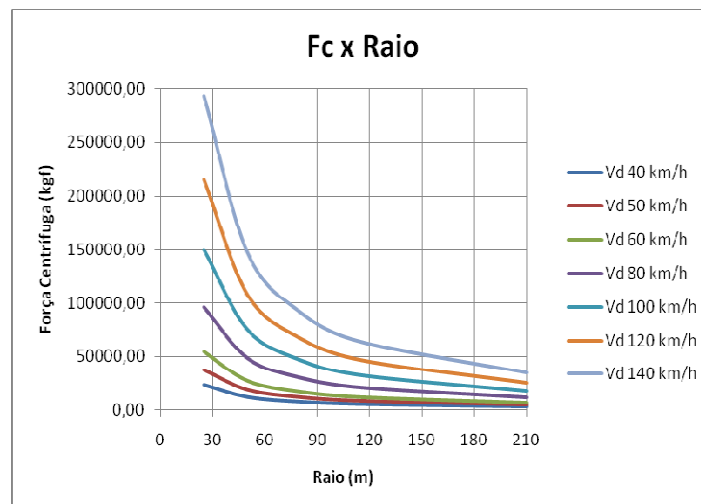


Figura 6 - Variação de Força Centrífuga – Veículo de Carga

Com base nos dados obtidos pelas simulações, desenvolveu-se um indicador, denominado *Grau de Periculosidade em Curvas* (Gp_c), calculado através da seguinte relação entre forças centrífugas:

$$Gp_c = \frac{Fc_{cenário}}{Fc_{ref}} \quad (2)$$

Onde:

- Gp_c : Grau de periculosidade em curvas;
- $Fc_{cenário}$: Força centrífuga no cenário estudado;
- Fc_{ref} : Força centrífuga na situação de referência.

A tabulação e análise dos resultados viabilizaram a construção Quadro 1:

Quadro 1 – Grau de Periculosidade em Curvas (Gp_c)

Grau de periculosidade em curvas para Veículos de Passeio e Carga									
Velocidade (km/h)		140	120	100	80	60	50	40	30
Raio (m)	210	3,06	2,25	1,56	1,00	0,56	0,39	0,25	0,14
	115	5,44	3,99	2,77	1,77	1,00	0,69	0,44	0,25
	80	7,84	5,76	4,00	2,56	1,44	1,00	0,64	0,36
	50	12,25	8,99	6,25	3,99	2,25	1,56	1,00	0,56
	25	21,78	16,00	11,11	7,11	4,00	2,78	1,78	1,00

5 Delimitação do Estudo

Pressupõe-se no estudo pavimentos com o mesmo tipo de camada de revestimento asfáltico (coeficiente de atrito f constante).

O estudo foi desenvolvido para um veículo de passeio e outro de carga representantes médios da diversidade existente na frota. Considerou-se a força peso normal ao piso N como constante.

A força de atrito ($F_a = f.N$) que participa das condições de segurança no trecho curvilíneo não foi considerada nesta fase da pesquisa. Esta simplificação implica na ocorrência de valores de força centrífuga menores, tendo-se como consequência maior segurança viária representada pelos coeficientes desenvolvidos.

6 Conclusões

Os dados obtidos ilustram, através do Gp_c , a importância que os projetistas devem considerar ao definir o maior raio de curvatura horizontal possível no projeto geométrico de uma rodovia. Os gráficos e índices alertam sobre a periculosidade em curvas de menor raio, particularmente nas interseções entre estradas onde predominam curvas de pequeno raio. Fica evidente a necessidade de trafegar em baixas velocidades, principalmente nas curvas horizontais de raio pequeno. Por exemplo, a uma velocidade de 60 km/h, usual em trechos curvilíneos nas rodovias brasileiras, em uma curva com um raio de 210 metros, corresponde a um coeficiente **0,56** que configura uma condição de segurança. Por outro lado, para a mesma velocidade, com um raio de 115 metros, temos um coeficiente **1,00** ilustrando uma situação limite de segurança, e, finalmente, um com raio de 25 metros, tem-se um coeficiente de **4,00** mostrando uma FC 300 vezes maior, uma situação de alto risco.

Referências Bibliográficas

BRASIL. 2009. Notícias – A guerra do trânsito. Disponível em <<www.cidades.gov.br>> Ministério das Cidades, Brasília, DF. Acesso em 29/09/2009.

DNIT. 2007. Imprensa. Disponível em <<www.dnit.gov.br>> Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, Brasília, DF. Acesso em 25/05/2009.

ALBANO, J. F. 2009. Rodovias: Introdução ao Projeto Geométrico, Projeto de Terraplenagem e sinalização. FEENG, Porto Alegre, RS.

LEE, S. H. 2002. Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias. Editora da UFSC, Florianópolis, SC.

DNIT. 2009. Notícias. Disponível em <<www.dnit.gov.br>> Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, Brasília, DF. Acesso em 25/05/2009.