

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ELEMENTOS SEPARADORES DE FLUXO EM RODOVIAS DE PISTA DUPLA QUANTO À SEGURANÇA VIÁRIA

Gabriel Andrade Lanzaro

Michelle Andrade

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Universidade de Brasília

RESUMO

A acidentalidade em rodovias federais tornou-se um problema grave pelo fato de, somente em 2014, 20% das mortes no trânsito terem ocorrido em vias dessa categoria. Nesse contexto, cabe citar as rodovias de pista dupla, que atendem intensos volumes de tráfego associados a elevadas velocidades diretrizes, representando um papel significativo na malha rodoviária nacional. Tais rodovias apresentam uma segregação para separar fluxos opostos, normalmente fornecida pelo canteiro central. Contudo, muitas rodovias possuem somente uma faixa central como elemento de separação, permitindo a ocorrência de colisões frontais, um dos tipos mais graves de acidentes. Desse modo, este estudo realizou uma avaliação simplificada do impacto do tipo de separação de fluxo (linha de divisão de fluxos opostos, canteiro central ou barreira) na acidentalidade e na severidade em rodovias com operação de pista dupla, comprovando a efetividade de barreiras rígidas tanto em termos de segurança viária quanto em relação a investimento.

1. INTRODUÇÃO

A acidentalidade viária é um problema crônico no Brasil, tendo em vista que morreram aproximadamente 45 mil pessoas como resultado da violência no trânsito em 2014 (DATASUS, 2014), sendo uma das principais causas de morte no país. No que concerne às rodovias federais, estas são responsáveis por aproximadamente 20% dessas mortes, com cerca de 26 mil feridos graves, trazendo consequências não somente para a família das vítimas, mas também com relação aos custos sociais (IPEA, 2015).

Os 170 mil acidentes de trânsito nas rodovias federais de 2014 representaram um custo para a sociedade de R\$ 12,3 bilhões, dos quais 64,7% deste valor são referentes às vítimas, com relação a despesas médicas e perda de produção dos envolvidos, com o restante associado a danos materiais. Em média, cada acidente custou R\$ 72.705,31, enquanto que, em caso de fatalidade, o valor salta para R\$ 646.762,94 (IPEA, 2015). Apesar de não ser possível mensurar, com questões financeiras, o preço de uma vida humana perdida, nota-se que os impactos econômicos para a sociedade são elevados, sendo este mais um fator a ser avaliado pelas entidades responsáveis pela redução do número de acidentes de trânsito no Brasil.

Diante da necessidade de reduzir a acidentalidade, há de ser feita uma investigação com respeito às causas dos acidentes para que sejam propostas soluções corretivas. Embora fosse desejável que a caracterização dos acidentes se desse com relação a uma única causa, a ocorrência destes acidentes é decorrente de distintos fatores contribuintes, que em geral são agrupados em três grandes componentes: viário-ambiental, humano e veicular. Sabe-se, entretanto, que o tratamento nos locais os quais possuem como principal fator contribuinte o componente viário-ambiental representa as melhores possibilidades de custo benefício para a redução de acidentes (Nodari, 2003).

No que tange à segurança viária, a concepção e a operação de rodovias estão associadas a cinco elementos: cumprimento da lei, educação, encorajamento de um comportamento seguro, resposta a emergências e engenharia. Este último reforça a necessidade da adoção de alguns parâmetros desejáveis (e não mínimos) na fase do projeto geométrico, tais como os relativos às

concordâncias horizontal e vertical, à seção transversal e à sinalização, por exemplo (Kapila *et al.*, 2013). O próprio Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais brasileiro especifica alguns critérios mínimos e desejáveis, como os de distância de visibilidade de parada e largura dos acostamentos (DNER, 1999).

Contudo, apesar de mais propensos à promoção de um trânsito menos violento, os parâmetros desejáveis de projeto podem tornar o custo da implantação mais caro, o que muitas vezes pode inviabilizar, em um primeiro momento, vias com menor risco de acidentes. Diante disso, cabe citar o exemplo das rodovias com operação de pista dupla, que geralmente conectam grandes centros urbanos por possuírem volumes de tráfego entre 15.000 e 40.000 veículos por dia (TRB, 2000). Como o fluxo destas rodovias é intenso, justificam-se ações e critérios pautados na segurança de forma a minimizar a ocorrência de acidentes nessas localidades.

No Brasil, estas rodovias se destacam no cenário logístico como a principal infraestrutura para o transporte de cargas, embora representem uma pequena parcela da malha rodoviária brasileira em termos de extensão (Waihrich, 2016). Ainda, segundo o DNIT (2015), no período entre 1990 e 2010, a malha de rodovias duplicadas aumentou cerca de 260%, apresentando, em 2010, um total de 4.519,3 km.

Convém definir rodovias de pista dupla como as formadas por duas ou mais faixas de trânsito por sentido, separadas por canteiro central, separador rígido ou com traçados diferentes a fim de contornar obstáculos (DNIT, 2007). A Figura 1 a seguir ilustra uma seção tipo de uma pista de rodovia de pista dupla, na qual é indicado o possível posicionamento de uma barreira rígida.

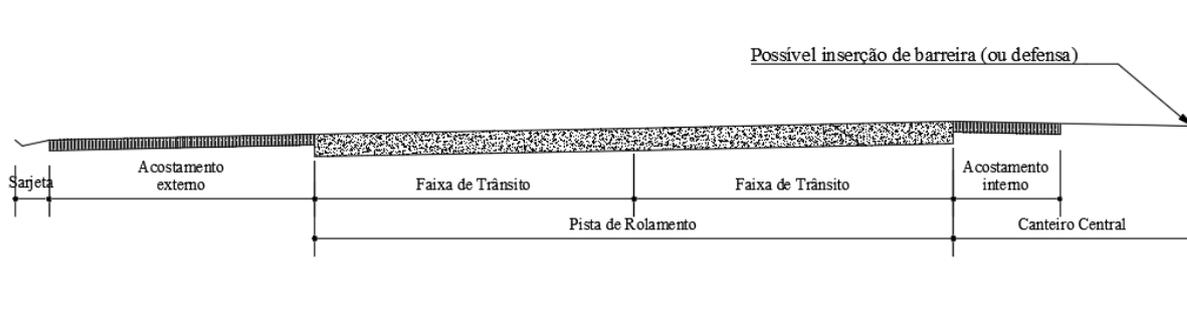


Figura 1: Seção Tipo de Rodovia de Pista Dupla (adaptado de Lee, 2013)

Nota-se que um dos pontos mais importantes desta definição, quando comparada com as rodovias de pista simples, refere-se à utilização de um dispositivo de separação de fluxos opostos.

Nas rodovias brasileiras, tal separação, quando o traçado de ambos os sentidos coincidirem, pode ser feita de três formas: canteiro central (distância física), barreira rígida e linha de divisão de fluxos opostos (LFO) do tipo linha dupla contínua. Muitas vezes, o emprego de alguma destas alternativas está intimamente associado a fatores econômicos, mas os impactos na segurança da via podem ser bastante diferentes pela mudança da tipologia dos acidentes e, conseqüentemente, da gravidade. Dessa forma, é relevante que seja observado se pequenas alterações na geometria, como uma modificação na seção transversal, afetam significativamente a ocorrência de acidentes.

Por estes motivos, o objetivo principal deste estudo é verificar se o tipo de separação entre fluxos opostos, em rodovias de pista dupla, possui impacto na acidentalidade e na severidade dos acidentes, considerando o cálculo de indicadores usualmente empregados em estudos de segurança viária. São previstas análises complementares com vistas a avaliar, de modo simplificado, a efetividade econômica de alterações para proporcionar um ambiente rodoviário mais seguro.

2. METODOLOGIA

Foram utilizadas informações fornecidas por três diferentes órgãos: ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres), CNT (Confederação Nacional do Transporte) e PRF (Polícia Rodoviária Federal).

Os dados referentes ao volume de tráfego foram provenientes da ANTT, ao passo que a acidentalidade nas rodovias foi aferida pela base de dados da PRF. Finalmente, a CNT delimitou as rodovias quanto à separação de fluxo para operação de pista dupla, dividindo-as em três categorias: canteiro central, barreira e linha de divisão de fluxos opostos.

Foram selecionados, para cada tipo de separação de fluxos, trechos de 40 km de extensão próximos a pontos de contagem de tráfego, de forma a possibilitar o cálculo dos índices propostos pelo DNIT (2009). A seleção da amostra se deu nas localidades em que fosse possível obter um maior intervalo de tempo para realizar a análise, sendo um limitante a disponibilidade de dados.

Assim, foi utilizado um período de 5 meses, compreendido entre os meses de janeiro a maio de 2016. Apesar de janeiro apresentar uma demanda de tráfego maior que os outros meses, o estudo focou em uma análise comparativa e, por este motivo, foram empregadas as mesmas condições nos três casos de interesse.

A Tabela 1 a seguir sumariza a amostra utilizada. Tais trechos são predominantemente rurais, em sua maioria com mínima ocupação lindeira. A velocidade regulamentada é de 100 km/h ou 110 km/h, exceto quando no perímetro urbano de cidades, onde a velocidade é reduzida para 60 km/h. Todos os trechos possuem quatro faixas de trânsito, entretanto, na BR-040, nos segmentos em que a divisão é feita por LFO, não há acostamento. O relevo é variável, contemplando regiões planas e onduladas.

Tabela 1: Amostra Utilizada para o Estudo

Separação de Fluxo	Rodovia	Estado	Km Inicial	Km Final
Barreira	BR-040	MG	796,0	830,7
		RJ	0,0	5,3
Canteiro	BR-381	MG	715,5	755,5
LFO	BR-040	MG	623,0	663,0

Para comparar os diferentes trechos rodoviários de interesse, foram calculados os índices de severidade ou gravidade de acidentes (I_g) e de acidentalidade (I_a), conforme os métodos estipulados pelo DENATRAN (1982 *apud* DNIT, 2009). Estes índices levam em consideração a Unidade Padrão de Severidade (UPS), expressa pela fórmula a seguir:

$$UPS = ASV + 5 \times ACV + 13 ACO \quad (1)$$

Em que, ASV = número de acidentes sem vítimas (somente danos materiais);
 ACV = número de acidentes com vítimas/feridos;
 ACO = número de acidentes com óbito.

Com a unidade padrão de severidade, pode-se calcular os índices de gravidade (I_g) e de acidentes (I_a), dados pelas equações a seguir:

$$I_g = \frac{UPS \times 10^6}{VMDa \times P \times E} \quad (2)$$

$$I_a = \frac{N \times 10^6}{VMDa \times P \times E} \quad (3)$$

Em que, $VMDa$ = volume médio diário anual (em veículos/dia);
 N = número absoluto de acidentes (em acidentes);
 P = período de estudo (em dias);
 E = extensão do trecho (em km).

Cabe destacar que, como a amostra não dispunha de dados de volume de tráfego para um ano completo, o VMD é referente ao período de 5 meses citado.

Os custos de acidentes foram obtidos conforme o relatório do IPEA (2015), sendo devidamente corrigidos para o ano de 2016 com a inflação no período, segundo o IBGE (2018). Além disso, o custo de implantação de barreiras foi computado no estado de Minas Gerais, em que se concentra a maioria das rodovias deste estudo. Para isto, foi utilizada a tabela de composição de preços do SICRO (Sistema de Custos Referenciais de Obras) para janeiro de 2016, com desoneração (DNIT, 2016).

A Tabela 2 a seguir apresenta os custos médios de acidentes sem vítimas, com vítimas e com fatalidades. Cabe destacar que são incluídos, nestes valores, custos associados às pessoas, aos veículos e danos patrimoniais. Além disso, foi considerada uma inflação de 10,67% no ano de 2015, sendo os dados apresentados corrigidos para 2016.

Tabela 2: Custos de Acidentes no ano de 2016

Tipo de Acidente	Custo
Acidente sem vítimas	R\$26.006,09
Acidente com vítimas	R\$107.070,78
Acidente com mortes	R\$713.623,91

Cabe destacar que o custo por metro linear de barreira implantada, em janeiro de 2016, era de R\$ 390,75, considerando areia e brita comerciais em sua composição. Estão incluídos, neste valor, lucros e despesas indiretas (BDI).

3. RESULTADOS

Os números de acidentes sem vítimas, com feridos e com fatalidades são apresentados na Figura 2 a seguir, englobando o período compreendido entre os meses de janeiro a maio de 2016.

Nota-se o alto índice de acidentes com canteiro central, o que pode ser explicado pelo maior volume de tráfego observado neste segmento. Além disso, nota-se que rodovias com LFO como

separador de fluxo apresentam tanto um maior número de acidentes com mortes quanto com vítimas, apresentando um indício da alta severidade quando empregado este tipo de elemento.

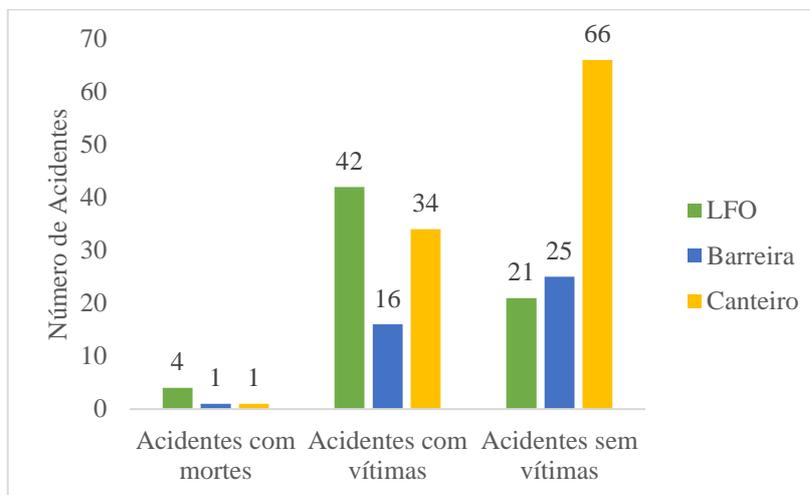


Figura 2: Número de Acidentes por Elemento Separador de Fluxo

No que se refere aos indicadores I_g e I_a , a Tabela 3 apresenta os resultados.

Tabela 3: Cálculo dos Indicadores de Segurança Viária

Separação de Fluxo	VMD	N	UPS	I_a	I_g
LFO	13.114,23	67	283	0,85	3,57
Barreira	12.239,13	42	118	0,57	1,60
Canteiro	16.744,48	101	249	1,00	2,46

Aplicada a soma ponderada da metodologia empregada pelo DENATRAN (1982 *apud* DNIT, 2009), constata-se que as rodovias com linha de divisão de fluxos opostos de fato apresentam grande severidade, sendo superior ao dobro da verificada em barreiras. Em relação ao número de acidentes, seus números foram similares aos verificados em canteiros.

Pelas informações da Tabela 3, pode-se afirmar que o emprego de barreiras para segregar fluxos opostos produziu melhores resultados tanto em relação ao número de acidentes quanto à severidade destes. Destaca-se que os efeitos na segurança, com o uso de barreiras, são mais significativos quando analisada a gravidade, como constatado em estudos anteriores de Tarko *et al.* (2008) e Elvik *et al.* (2009), por exemplo.

Com o intuito de averiguar quão vantajosa seria a implantação de barreiras em relação a rodovias com LFO e canteiro central, foram utilizados os dados da Tabela 2. Cabe destacar que, embora os dados do IPEA (2015) se refiram somente à ocorrência de números de acidentes, foi empregado um fator de proporção para o volume, pois eles diferem consideravelmente entre os três tipos de separadores de fluxo nas rodovias analisadas.

Para verificar a eficiência de barreiras em termos financeiros, estimou-se o custo de implantação de barreiras, em 40 km, igual à R\$ 15.630.000,00. Na Tabela 4 é apresentada uma análise comparativa entre rodovias estudadas com LFO e barreira. Em seguida, a Tabela 5 traz estes mesmos parâmetros para rodovias com canteiro e barreira.

Tabela 4: Análise Comparativa de Custos entre Rodovias de Pista Dupla Segregadas por Barreira e LFO

	Barreira	LFO
Acidentes com mortes	R\$666.004,51	R\$2.854.495,64
Acidentes com vítimas	R\$1.598.816,88	R\$4.496.972,73
Acidentes sem vítimas	R\$606.768,22	R\$546.127,86
Total	R\$2.871.589,62	R\$7.897.596,23
Diferença	R\$5.026.006,61	
Km de Barreira Construídos	12,86	

Período de análise: jan a mai/2016

Tabela 5: Análise Comparativa de Custos entre Rodovias de Pista Dupla Segregadas por Barreira e Canteiro Central

	Barreira	Canteiro
Acidentes com mortes	R\$521.613,05	R\$713.623,91
Acidentes com vítimas	R\$1.252.189,33	R\$3.640.406,49
Acidentes sem vítimas	R\$475.219,33	R\$1.716.401,86
Total	R\$2.249.021,71	R\$6.070.432,26
Diferença	R\$3.821.410,55	
Km de Barreira Construídos	9,78	

Período de análise: jan a mai/2016.

Constata-se que, para o período observado de 5 meses, a diferença economizada em custos de acidentes de trânsito poderia viabilizar a implantação de 12,86 km e 9,78 km de barreiras em rodovias atualmente separadas por LFO e canteiro central, respectivamente. Esses resultados representam 32% e 24% dos custos necessários para alterar todo o trecho com a implantação de barreiras.

Cabe destacar que estes percentuais se referem a um período de 5 meses e barreiras de concreto do tipo *New Jersey* podem ter, pelo menos, 50 anos de vida útil (EUPAVE, 2012) e, desta forma, o investimento seria certamente recuperado.

A Figura 3 a seguir apresenta uma análise comparativa da tipologia dos acidentes nos trechos de estudo. Como referência, foram utilizados os acidentes ocorridos quando a barreira foi empregada como elemento separador de fluxo. Valores positivos indicam que houve um aumento do número de acidentes nos segmentos em que outros elementos foram usados (LFO e canteiro) e valores negativos, por sua vez, representam diminuição da acidentalidade em relação aos trechos com barreira.

Constata-se, nos segmentos analisados, que somente colisões com objeto fixo são mais numerosas em segmentos com barreiras. A título de exemplo, na comparação entre barreiras e LFO, foram contabilizados, nesta categoria, 19 acidentes em trechos com barreiras e 11 nos segregados por uma linha contínua, resultando no valor -8 representado na Figura 3.

A presença de barreiras rígidas de fato previne a ocorrência de colisões frontais, laterais e transversais, bem como saídas de pista e capotamentos. Assim, um dos principais benefícios destes

dispositivos em canteiros se refere ao impedimento de que veículos atravessem o fluxo oposto, podendo ocasionar colisões frontais, um dos tipos de acidentes mais violentos nas rodovias brasileiras (PRF, 2014).

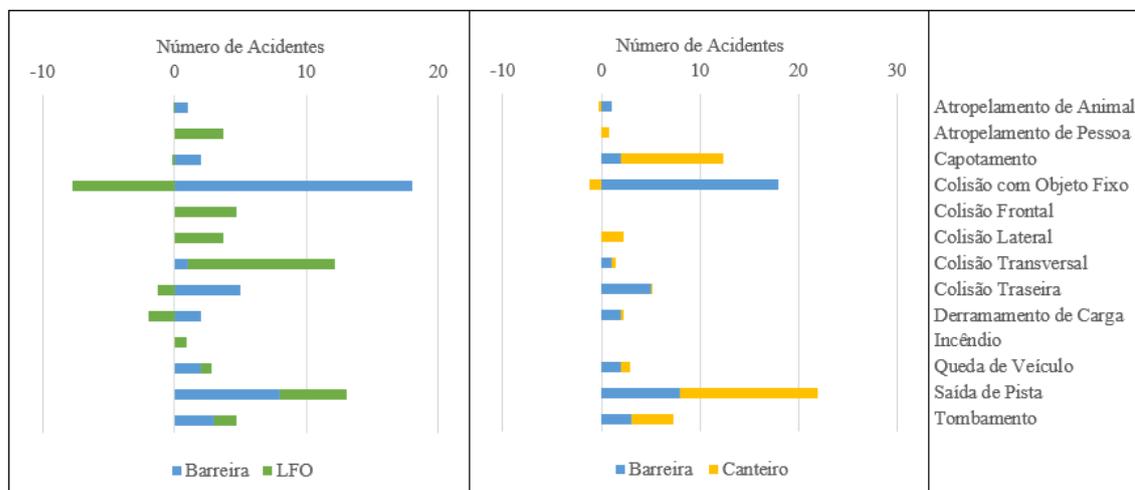


Figura 3: Tipologia dos Acidentes por Elemento Separador de Fluxo

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego de distintos elementos separadores de fluxo em rodovias de pista dupla acarreta em significativas diferenças na segurança viária. Como esperado, rodovias segregadas pela linha de divisão de fluxos opostos (LFO) do tipo dupla contínua apresentaram os piores índices, pois este elemento viabiliza a ocorrência de acidentes mais frequentes em rodovias de pista simples, como colisões frontais. Além disso, as duas faixas por sentido encorajam o motorista a desenvolver maiores velocidades e, neste contexto, as consequências podem ser ainda mais graves.

Barreiras centrais apresentaram os melhores resultados em relação à redução do número de acidentes e da severidade destes, tanto em termos absolutos quanto em relação a valores financeiros. Apesar de não ser possível mensurar exatamente o valor de uma vida humana, o IPEA (2015) realizou um estudo para os custos de acidentes por gravidade e, com estes valores, o investimento em barreiras corresponderia a um percentual de retorno de no mínimo 24% em somente em cinco meses. Quando extrapolada para a vida útil deste elemento estrutural, nota-se a efetividade econômica de implantação de barreiras rígidas.

Entretanto, o estudo possui alguns fatores limitantes, como a não inclusão da largura do canteiro central nas análises. O DNER (1999) recomenda que sejam empregadas larguras tão amplas quanto possíveis no intuito de proporcionar a execução de retornos, por exemplo, e garantir condições de segurança adicionais. Recomenda-se que esta variável seja incorporada a estudos futuros para verificar se a simples utilização de barreiras, independentemente da largura do canteiro central, seria suficiente para a redução dos acidentes.

Além disso, a consideração do custo de implantação de barreiras não incluiu fatores como a desapropriação e movimentos de terra adicionais, caso sejam empregadas em rodovias com LFO, devido ao pequeno alargamento necessário das faixas de rolamento para poder abrigar as barreiras de concreto *New Jersey*. Estes custos, bem como os custos de manutenção da rodovia e de seus elementos, devem ser incluídos em estudos futuros para obter conclusões mais consistentes.

A falta de dados foi um fator limitante considerável, embora tenha conduzido a resultados satisfatórios para a proposta de estudo deste trabalho. Recomenda-se, sobretudo, que esta análise seja repetida para um horizonte temporal maior com o intuito de que a amostra não fique suscetível ao fenômeno de regressão à média. Além disso, como estudo futuro, sugere-se que estes resultados sejam validados em outras rodovias brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DATASUS (2014) *Informações de Saúde (TABNET)*. Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. Ministério da Saúde. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?sim/cnv/ext10uf.def>. Data do último acesso: 18/06/2017.
- DNER (1999) *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Publicação 706, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Ministério dos Transportes, Brasília, 195p.
- DNIT (2007) *Terminologias Rodoviárias Usualmente Utilizadas*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Planejamento e Pesquisa.
- DNIT (2009) *Identificação e Proposição de Melhorias em Segmentos Críticos da Malha Rodoviária Federal do DNIT – Metodologia para Identificação de Segmentos Críticos*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Ministério dos Transportes, Brasília, 66p.
- DNIT (2015) *Evolução da malha rodoviária federal*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/download/sistema-nacional-de-viacao/evolucao-da-malha-federal/>. Data do último acesso: 21/06/2017.
- DNIT (2016) *SICRO – Sistema de Custos Referenciais de Obras*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/sicro>. Data do último acesso: 08/07/2018.
- Elvik, R.; Høyve, A.; Vaa, T.; Sørensen, M. (2009) *The Handbook of Safety Measures*. Emerald, Bingley, Reino Unido.
- EUPAVE (2012) *Concrete Safety Barriers: A Safe and Sustainable Choice*. European Concrete Paving Association. Bruxelas, 31p.
- IBGE (2018) *Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultinpc.shtm. Data do último acesso: 08/07/2018.
- IPEA (2015) *Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais Brasileiras: caracterização, tendências e custos para a sociedade*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Relatório de Pesquisa. Brasília, Brasil.
- Kapila, K. K.; Prabhakar, A. e Bhattacharjee, S. (2013) *Safe Road Infrastructure Design for Highways*. Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific. No. 83.
- Nodari, C. T. (2003) *Método de Avaliação da Segurança Potencial de Segmentos Rodoviários Rurais de Pista Simples*. Doutorado (Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil.
- PRF (2014) *Operação Integrada Rodovida começa em todo o país*. Polícia Rodoviária Federal. Sala de Imprensa Assessoria de Comunicação Social da Polícia Rodoviária Federal. Brasília, Brasil. Disponível em: <https://www.prf.gov.br/portal/sala-de-imprensa/releases-1/operacao-rodovida-2014-2015/view>. Data do último acesso: 08/06/2018.
- Tarko, A. P.; Villwock, N. M.; Blond, N. (2008) Effect of Median Design on Rural Freeway Safety: Flush Medians with Concrete Barriers and Depressed Medians. *Journal of the Transportation Research Board* 2060, 29-37.
- TRB (2000) *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board. Washington, D.C., United States.
- Waihrich, D. R. L. S. (2016) *Calibração do Método de Previsão de Acidentes do Highway Safety Manual (HSM) para trechos rodoviários de pista dupla do Brasil*. Dissertação (Transportes) – Universidade de Brasília. Brasília, Brasil.

Gabriel Andrade Lanzaro (gabriellanzaro@gmail.com)

Michelle Andrade (michelleandrade@unb.br)

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro - Brasília, DF, Brasil