

MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO DE LOCAIS CONCENTRADORES DE ACIDENTES NA MALHA RODOVIÁRIA FEDERAL SOB RESPONSABILIDADE DO DNIT

Bernardo Cascão Pires e Albuquerque

Dynatest Engenharia e PiezoGreen Solutions

Vinícius Quintiliano Pereira

Accenture do Brasil

Ivone Catarina Simões Hoffmann

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

Carmen Regina Linhares Pereira Resende

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

Leonardo Roberto Perim

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

Wallace Vargas Roque

Dynatest Engenharia

RESUMO

O tratamento de locais concentradores de acidentes é uma tarefa que, além de salvar vidas, representa grandes investimentos e potencial redução de gastos anualmente recorrentes. Para que se possa determinar os locais em que a adoção de medidas mitigadoras de acidentes incorre em um maior retorno financeiro é necessário desenvolver um método de priorização que contemple fatores econômicos, a quantidade e a gravidade dos acidentes, o número de indivíduos afetados e a importância logística da localidade para o estado/país. Com essas premissas elaborou-se uma formulação de duas etapas em que os segmentos identificados como críticos são separados em grupos de prioridade e posteriormente ranqueados dentro desses conjuntos. O método desenvolvido foi aplicado aos locais concentradores de acidentes identificados nas rodovias federais sob administração do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT do Brasil, mostrando-se bastante eficaz em apontar os locais cujo investimento é baixo frente o retorno potencial.

ABSTRACT

The treatment of accident hotspots is a task that, despite saving lives, represents major investments and potential reduction of yearly recurring expenses. In order to determine the sites where the adoption of accident mitigation actions implies in a higher financial benefit, a prioritization methodology must be developed accounting economic factors, the quantity and severity of accidents, the number of individuals affected and the logistic importance of the site to the state/country. Based on these assumptions, a two-stage formulation was developed in which the identified accident hotspots are separated into priority groups and subsequently ranked within these sets. The method developed was applied to the accident hotspots identified on the federal highways under administration of the Brazilian National Department of Transport Infrastructure - DNIT, proving to be very effective in pointing out the locations where investments are low compared to the potential benefits.

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que a cada ano existam 1,3 milhões de óbitos e outros 30 a 50 milhões de traumas físicos em decorrência de acidentes de trânsito ao redor do mundo (WHO, 2015). Além das sequelas deixadas e do desamparo emocional às famílias, valores esses intangíveis, os acidentes impõem um grande custo econômico aos cofres públicos.

Análises detalhadas das estatísticas globais de acidentes indicam que esse montante corresponde a cifras da ordem de 1% do PIB de países em desenvolvimento, recursos que essas nações não podem se dar ao luxo de perder. Assim, faz-se necessária a incorporação de medidas mitigadoras, para que se possa reduzir a quantidade e a severidade dos acidentes (Transport and Road Research Laboratory, 1991).

Como as despesas com sinistros rodoviários são recorrentes, investimentos em correções e melhorias do sistema viário podem ser consideradas altamente justificáveis (Keymanesh *et al.*,

2017). É fácil perceber isso quando se faz uma projeção do impacto causado pelos acidentes. Caso se logre uma redução de 10% no número de vítimas fatais dos acidentes ocorridos apenas nas rodovias federais brasileiras, anualmente, mais de 620 vidas serão poupadas e haverá uma redução de 4 bilhões de reais nos gastos da União devido a acidentes que deixarão de acontecer.

Os segmentos ao longo das rodovias em que se observa alta incidência de acidentes são conhecidos como pontos negros ou, mais recentemente, locais concentradores de acidentes e sua identificação e remediação contribuem para reduzir significativamente o número de acidentes (Keymanesh *et al.*, 2017).

Enquanto a acurácia no processo de identificação de locais concentradores de acidentes tem efeito significativo nos resultados da análise e tratamento desses pontos (Elvik, 2006), alguns países enfrentam dificuldades financeiras para melhorar a segurança rodoviária, o que significa que para essas nações é impraticável tratar todos os pontos negros (Nguyen *et al.*, 2015).

Em teoria, todas as medidas geradoras de benefícios líquidos deveriam ser implementadas, contudo a disponibilidade orçamentária limita a quantidade de trechos a serem tratados, sendo necessário priorizar entre a implementação de medidas de segurança viária e a quantidade de locais remediados para que o capital seja utilizado da forma mais efetiva possível (Geurts e Wets, 2003).

A abordagem usual para análise de locais concentradores de acidentes consiste na utilização de métodos estatísticos para identificar os segmentos que apresentam elevada acidentalidade rodoviária. Em geral esses métodos consistem de cálculos matemáticos que resultam em um índice cujo valor é cada vez maior à medida que aumenta a quantidade e severidade dos acidentes. Nos casos em que é necessária a priorização desses segmentos faz-se uso dos mesmos índices utilizados no processo de identificação, atribuindo maiores prioridades aos segmentos com índices de maior valor.

À primeira vista essa estratégia de ordenamento é a que deve resultar em uma mitigação mais expressiva dos acidentes em rodovias, uma vez que a remediação ocorre mais rapidamente nos locais de maior criticidade. Contudo, cada ponto negro possui características singulares que impactam no custo da solução adotada. Além disso, existem diferentes fatores que podem favorecer a ocorrência de acidentes, tais como sinalização inadequada ou problemas de traçado, cada qual com diferentes complexidade e demanda de investimentos para sua correção.

Dito isso é fácil imaginar situações em que o montante investido para remediar alguns locais poderia ser redistribuído em outros segmentos da malha rodoviária, salvando uma maior quantidade de vidas e logrando uma maior redução nos efeitos negativos dos acidentes sem que se aumente o aporte de capital. Nesse contexto, esse artigo visa propor uma sistemática robusta e generalista para a priorização de locais concentradores de acidentes.

Dessa forma faz-se necessário, preliminarmente, apresentar os modelos existentes na literatura, indicando sua aplicabilidade e efetividade. Em seguida é apresentado o método proposto, bem como todo o equacionamento matemático necessário à sua implementação. Por fim são comentados os resultados obtidos através da aplicação do método para um universo de 1392 segmentos críticos identificados em rodovias federais do Brasil.

2. PRIORIZAÇÃO DE LOCAIS CONCENTRADORES DE ACIDENTES

Vários autores se dedicaram ao estudo de formas de priorização de locais concentradores de acidentes. Como dito anteriormente, muitas dessas metodologias cumprem o duplo papel de identificar e priorizar os segmentos. Na proposta de Sadeghi *et al.* (2013) o método da análise do envelopamento dos dados é utilizado para a identificação e ordenamento dos locais concentradores de acidentes. Reshma e Sheikih (2012) fizeram uso de tecnologia de sistemas integrados de georreferenciamento (GIS) e priorização por meio de coeficientes de ponderação aplicados aos fatores que influenciam na ocorrência de acidentes. Já Semnarshad *et al.* (2018), abordaram o problema a partir do Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI, na sigla em inglês). Keymanesh *et al.* (2017) empregaram o método AHP para priorizar os segmentos. Existem ainda diversas outras publicações que abordam a priorização de elementos em um determinado grupo.

Uma forma eficaz de priorizar os segmentos críticos se dá por sua avaliação individual, definindo um projeto específico para tratamento do local e determinando a redução esperada na quantidade e gravidade dos acidentes. Assim, seria possível utilizar índices de viabilidade econômica (como Valor Presente Líquido, Custo Benefício, Taxa Interna de Retorno) para relacionar os investimentos previstos e o retorno esperado, sendo possível distribuir os recursos da forma mais vantajosa possível.

Contudo, esse procedimento apresenta duas limitações. A primeira é que um número elevado de segmentos críticos, como em análises feitas a nível nacional ou estadual, implicaria na necessidade de um número igualmente elevado de projetos, trabalho bastante dispendioso em termos de recursos humanos, financeiros e temporais. Em segundo lugar, vários estudos, como FHWA (2008), FHWA(2015), Ferraz, et al.(2012) dentre outros, tentam determinar a eficácia das intervenções propostas, tarefa complexa devido à dificuldade de estimar o real impacto da obra e à possibilidade de alteração no cenário socioeconômico da região, que impacta no número de viagens e, conseqüentemente, nos acidentes. Assim, a análise se torna tão imprecisa quanto a divergência entre os resultados previstos e aqueles obtidos na prática.

Em virtude dessas limitações faz-se mister desenvolver outra forma de determinar quais tratamentos resultam em maiores benefícios. Para o caso dos acidentes rodoviários, é interessante que a priorização contemple quatro aspectos. O primeiro deles é referente à quantidade e à gravidade dos sinistros, uma vez que estes são a representação direta da criticidade do local. Além disso, com esses valores e com o número esperado de acidentes para trechos com características similares é possível estimar o potencial de redução de acidentes.

Em seguida deve-se considerar as características do tráfego e da rodovia. Em trechos similares quanto a acidentalidade aquele que possuir a menor quantidade de veículos apresenta-se como mais crítico, uma vez que a incidência de acidentes por veículo é maior. Em terceiro lugar, deve-se priorizar o tratamento de acidentes em rodovias com importância logística para o país, ou seja, os locais em que o impacto de um acidente (engarrafamentos, perda de carga, etc.) causa maiores prejuízos.

O último aspecto objetiva refletir a viabilidade financeira do investimento. Para tanto é necessária a previsão do custo das intervenções e da redução nos gastos após a obra. Após o cálculo individual de cada um desses aspectos é possível combiná-los de forma a obter um valor representativo de cada segmento crítico, o qual representa o grau de urgência que deve ser dado

a essa localidade. Esse processo de definição de uma nota para o ponto a partir da ponderação de diversos itens é regido pela Teoria da Utilidade Multiatributo.

Em consonância ao pensamento discutido nessa secção foi desenvolvido o método de priorização dos segmentos críticos. Tal procedimento, apresentado a seguir, incorpora os quatro critérios abordados de forma a evidenciar os locais em que a intervenção deve ocorrer com maior urgência.

3. MÉTODO PROPOSTO

O método de priorização dos locais concentradores de acidentes deve contemplar aspectos físicos e operacionais da rodovia, fatores financeiros assim como a quantidade e a gravidade dos acidentes. Segundo a premissa de distribuir os recursos da forma mais eficaz possível propõe-se a hierarquização em duas etapas, em que os segmentos são inicialmente divididos em grupos de prioridade geral e, posteriormente, subdivididos em suas prioridades específicas dentre cada grupo.

Para a subdivisão dos grupos de prioridade geral utilizou-se critérios financeiros e de gravidade dos acidentes. O primeiro deles, aqui denominado Relação Custo-Investimento, visa representar o potencial financeiro de impacto da contramedida por meio da razão entre o investimento estimado em intervenções e o custo governamental do segmento com acidentes no período considerado. O segundo, Fator de Gravidade, avalia a criticidade do trecho a partir de seu custo, do volume de tráfego e da extensão do segmento.

Existem diversas formas de determinar o custo de um determinado acidente. IPEA (2015) dividiu as ocorrências em três classes a partir de sua gravidade (acidentes sem vítimas, acidentes com vítimas e acidentes com óbitos) e calculou o custo médio das ocorrências acima tipificadas. O cômputo desses valores contempla gastos com a remoção de veículos da rodovia, perda de produtividade dos acidentados, despesas hospitalares, perda de carga e danos materiais e patrimoniais. Ressalta-se aqui que o procedimento adotado pelo IPEA se absteve da determinação do valor estatístico de uma vida, atendo-se apenas aos gastos tangíveis decorrentes da acidentalidade. A Tabela 1 apresenta os valores calculados pelo IPEA em reais de dezembro de 2014 e sua atualização para dezembro de 2017 por meio do Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI).

Tabela 1: Custos com acidentes em rodovias federais

Gravidade do acidente	Quantidade de acidentes em 2014	Custo médio (dez./2014)	Custo total (dez./2014)	Custo médio atualizado (dez./2017)	Custo total atualizado (dez./2017)
Com óbito	6.743	R\$ 664 mil	R\$ 4,5 Bi	R\$ 789 mil	R\$ 5,3 Bi
Com vítimas	62.346	R\$ 97 mil	R\$ 6,0 Bi	R\$ 115 mil	R\$ 7,2 Bi
Sem vítimas	98.158	R\$ 23 mil	R\$ 2,3 Bi	R\$ 28 mil	R\$ 2,7 Bi
Total	167.247	R\$ 262 mil	R\$ 12,8 Bi	R\$ 310 mil	R\$ 15,2 Bi

Definidos esses custos é possível determinar os gastos governamentais com cada segmento crítico. Esse valor é denominado Índice Relativo de Gravidade (IRG) e é calculado a partir da frequência e do custo de cada classe de acidentes, como mostrado na Eq. 1.

$$IRG_j = \sum C_k f_k \quad (1)$$

em que IRG_j é o Índice Relativo de Gravidade dos acidentes ocorridos no segmento crítico j , C_k é o custo médio da classe de acidente k no segmento j e f_k é a frequência de um tipo de acidente k no segmento crítico j . A partir da Eq. 1 é possível determinar a tanto a Relação Custo-Investimento (RCI) quanto o Fator de Gravidade (FG) do trecho. A RCI é calculada pela razão entre o índice relativo de gravidade do segmento j - IRG_j - e o Investimento da Intervenção proposta para o segmento - I_j - (Eq. 2).

$$RCI_j = \frac{IRG_j}{I_j} \quad (2)$$

Todos os segmentos com Relação Custo-Investimento maior que 1 são classificados como Prioridade 1, uma vez que cada real investido exerce impacto em pelo menos um real gasto com acidentes, indicando que é extremamente vantajoso, a curto e longo prazos, investir em sua remediação. Fazem parte desse grupo os trechos que apresentam altos quantitativos de acidentes e custos de intervenção relativamente baixos. Por outro lado, os segmentos com RCI inferior a 1 são avaliados quanto à criticidade pelo Fator de Gravidade (Eq. 3).

$$FG_j = \left(\frac{IRG_j}{365 \times VMD_a \times E_j} \right) \quad (3)$$

em que FG_j e IRG_j são, respectivamente, o Fator de Gravidade e o Índice Relativo de Gravidade do segmento j , VMD_a é o Volume Médio Diário Anual do segmento e E_j é a extensão do segmento. Essa análise permite identificar trechos que apresentam alto custo em relação ao volume de tráfego, ou seja, trechos com alta incidência de acidentes e/ou trechos com alto índice de acidentes graves.

As rodovias que apresentam problemas operacionais e de segurança periodicamente possuem como principais causas dos problemas a variedade de tráfego, a geometria da via ou ainda o ambiente por ela atravessado (TRB, 2000). Os diferentes tipos de rodovias e localidades que constituem a malha rodoviária não possuem o mesmo nível de segurança, sendo assim, dois locais podem ter frequências ou índices iguais de acidentes, mas diferentes potenciais de melhorias de segurança (PIARC, 2003).

Como forma de identificar trechos similares, DNIT e UFSC (2009) propõem a segmentação da rodovia em trechos com extensão de 1 quilômetro e agrupados segundo seu tipo de pista (simples ou dupla), o solo lindeiro (urbano ou rural) e o relevo (plano, ondulado ou montanhoso). A combinação dessas informações determina um código único para o trecho, identificando a qual das 12 classes de segmentos ele pertence. Para cada classe de segmentos define-se o Fator de Gravidade Limite por meio da Eq. 6.

$$\mu_c = \frac{\sum IRG_{j,c}}{365 \times \sum (VMD_{a,j,c} \times E_j)} \quad (4)$$

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sum (FG_j - \mu_c)^2}{n(n-1)}} \quad (5)$$

$$FG_{lim} = \mu_c + \sqrt{10} \sigma_c \quad (6)$$

em que μ_c e σ_c são a média e o desvio padrão do Fator de Gravidade para uma dada classe c de segmentos. Os trechos em que $FG > FG_{lim}$ recebem Prioridade 2, uma vez que apresentam gravidade elevada. Os segmentos com $FG \leq FG_{lim}$ são enquadrados no grupo de Prioridade 3. O processo de separação dos grupos pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2: Definição dos grupos de prioridade geral

Relação Custo-Investimento	Fator de Gravidade	Prioridade
$RCI_j > 1$	-	1
$RCI_j < 1$	$FG > FG_{Lim}$	2
	$FG < FG_{Lim}$	3

Para a priorização dos segmentos dentro de cada grupo sugere-se o uso de três índices. O primeiro deles é o Fator de Gravidade, definido pela Eq. 3. Esse índice mede o custo dos acidentes em função do número de veículos que passam pelo segmento. Quanto maior seu valor mais crítico é o trecho. Em segundo lugar, deve-se priorizar o tratamento de acidentes em rodovias com importância logística para o país, locais em que o impacto de um acidente (engarrafamentos, perda de carga, etc.) causa maiores prejuízos. Denominado Índice Estratégico, seu valor é determinado em função da classe de importância da rodovia (Malha Rodoviária Federal Estratégica) e da concentração de tráfego na região (Polos Concentradores de Tráfego), como pode ser visto na Tabela 3. Maiores informações sobre o desenvolvimento desse índice podem ser encontradas em (PEREIRA *et al.*, 2017).

Tabela 3: Índice Estratégico

MRFE	Polos Concentradores de Tráfego			
	Sem Prior.	Baixa	Média	Alta
N1	0,7	0,8	0,9	1,0
N2	0,6	0,6	0,7	0,9
N3	0,5	0,5	0,6	0,8
N4	0,4	0,5	0,5	0,7

Para o último índice utiliza-se o conceito de Potencial de Redução de Acidentes (PAR), que é computado pela diferença entre o número de acidentes do local e o número esperado de acidentes para trechos com características similares (MCGUIGAN, 1981). Esse conceito se adequa bem à segmentação proposta por DNIT & UFSC (2009), contudo são necessários ajustes para que se torne mais representativo.

A primeira modificação necessária é referente à comparação de trechos com volumes de tráfego distintos. No caso de duas rodovias com mesmo valor de PAR deve ser priorizada aquela com menor número de veículos, uma vez que a taxa de acidentes nesse trecho é superior. Por outro lado, a avaliação no número de acidentes não leva em consideração a gravidade dos mesmos, dando peso igual para acidentes com óbitos e acidentes apenas com danos ao patrimônio. Assim, sugere-se a utilização da Unidade Padrão de Severidade que atribui diferentes pesos para os diversos tipos de acidentes. Sua formulação pode ser vista na Eq. 7.

$$UPS_j = \sum p_k f_k \quad (7)$$

em que UPS_j é a Unidade Padrão de Severidade do segmento crítico j , p_k é o peso atribuído ao tipo de acidente k e f_k é a frequência de um tipo de acidente k no segmento crítico j . Não existe uma definição consensual quanto aos valores desses pesos, que podem ser definidos de forma a equalizar os três tipos de acidentes ou para atribuir maior relevância às ocorrências com vítimas e óbitos. A Tabela 4 apresenta os valores utilizados em diversos países do mundo, assim como a proposta dos autores.

Tabela 4: Pesos UPS em várias localidades

País	Tipo de Acidente		
	Acidente sem Vítima	Acidente com Vítima	Acidente com Óbito
Alemanha (GRTRA, 2003)	1	1,4	21,4
Bélgica (Geurts e Wets, 2003)	1	3	5
Brasil (DNIT e UFSC, 2009)	1	5	13
Canadá (Persaud et al, 1997)	1	5	140
Dinamarca (TØI, 2007a)	1	5,1	36,3
Estados Unidos (Khisty, 1990)	1	3,5	9,5
Inglaterra (O'Flaherty, 1967)	1	3	12
IRG* (IPEA, 2015)	1	4,1	28,3
Portugal (TØI, 2007b)	1	10	100

*Custos médios dos tipos de acidente foram utilizados para definir as relações de gravidade

Os autores sugerem o uso da relação obtida através do IRG, de forma a ponderar os acidentes segundo seu custo para o país e maximizando a efetividade da análise financeira. Assim, com essas modificações propõe-se o Potencial de Redução de Severidade (PRS), calculado como indicado na Eq. 8.

$$PRS_j = \frac{UPS_j - \overline{UPS}_c}{VMDa_j} \quad (8)$$

em que PRS_j e UPS_j são o Potencial de Redução de Severidade e a Unidade padrão de severidade do segmento j , \overline{UPS}_c é a Unidade Padrão de Severidade média para a classe de segmentos homogêneos e $VMDa_j$ é o volume médio diário anual do segmento j . Em todos os indicadores o segmento é mais crítico quanto maior for seu valor.

O próximo passo é agregar todos os índices em um único resultado, a nota do segmento, que será utilizado para ordenar e priorizar os locais concentradores de acidentes. Como, a despeito do índice estratégico que possui intervalo de valores conhecido, os valores mínimo e máximo do Fator de Gravidade e do Potencial de Redução de Acidentes podem variar ao longo do tempo, uma simples soma ou média aritmética pode distorcer a hierarquização ao atribuir artificialmente importâncias desiguais para os três fatores.

O procedimento indicado nos casos em que os atributos apresentam diferentes ordens de grandeza é a utilização de multiplicação ou média geométrica dos fatores. Assim, o valor do segmento pode ser determinado por

$$Vs_j = \sqrt[3]{FG_j * I_{ej} * PRS_j} \quad (9)$$

$$Vs_j = \sqrt[3]{\frac{IRG_j (UPS_j - \overline{UPS}_{SH}) I_e}{365 VMD_a^2 E_j}} \quad (10)$$

Nesse capítulo apresentou-se a proposta de método para priorização de locais concentradores de acidentes. As duas fases desse método foram aplicadas aos pontos críticos identificados na malha rodoviária sob administração do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, conforme explicitado no tópico a seguir.

4. EMPREGO DO MÉTODO PROPOSTO NA MALHA RODOVIÁRIA FEDERAL SOB ADMINISTRAÇÃO DO DNIT

Segundo as Ações Preventivas e Corretivas de Segurança Rodoviária da Malha Viária do DNIT (DNIT, 2009), para garantir a segurança viária é necessária a identificação dos segmentos críticos, a priorização desses segmentos e a proposição de intervenções para sua melhoria. Para a etapa de identificação foram utilizadas as diretrizes estabelecidas a partir do convênio firmado entre o DNIT e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), conforme a Portaria nº 1.282, de 31 de outubro de 2008 – Destaque Orçamentário, que trata da elaboração de ações preventivas e corretivas de segurança rodoviária por meio de identificação e mapeamento dos segmentos críticos da malha viária do DNIT.

Os dados de acidentes utilizados são advindos dos repositórios da Polícia Rodoviária Federal para os anos de 2015 e 2016. Estes foram espacializados na malha rodoviária federal sob administração do DNIT, possibilitando o uso de janela flutuante com 1 quilômetro de extensão se movendo a passos de 500 metros para a definição dos segmentos a serem analisados. Para cada um desses trechos foram determinadas as características que podem influir em sua criticidade, como uso do solo lindeiro, perfil da rodovia, volume médio diário anual (VMDa), número de faixas da rodovia e quantitativos de acidentes registrados pela Polícia Rodoviária Federal. Ainda, considerou-se que os segmentos que não apresentaram recorrência de acidentes no biênio não podem ser considerados como locais concentradores de acidentes, portanto eles foram removidos do processo de identificação.

Com os 218.524 registros foi possível levantar 17.271 segmentos com recorrência de acidentes. A esse grupo aplicou-se a metodologia de identificação proposta em DNIT e UFSC (2009), resultando em 1392 locais concentradores de acidentes. Para que se possa determinar a priorização desses trechos conforme o método proposto é necessária uma estimativa do custo da intervenção a ser realizada.

Os autores desenvolveram juntamente ao DNIT uma matriz de intervenções para fins gerenciais. As soluções propostas foram fruto da inter-relação entre a tipologia e causalidade dos acidentes, juntamente com o tipo de pista (simples ou múltipla), originando a Tabela 5, na qual é possível observar a existência de sete diferentes tipos de contramedidas para reduzir o quantitativo e a criticidade dos acidentes em rodovias federais. Nessa tabela considerou-se que causas relacionadas ao motorista (tais como falta de atenção, desrespeito às normas ou à sinalização, excesso de velocidade, ingestão de álcool, dentre outros), pertencem ao grupo A, enquanto problemas nos veículos compõem o grupo B e colisões devidas à via ou ao ambiente (por exemplo restrição de visibilidade ou defeito na via) representam o grupo C.

As intervenções foram elaboradas de forma a contemplar os principais problemas de infraestrutura rodoviária. Em locais com altos índices de atropelamento de pedestres a solução proposta consiste de plataformas de passagem de pedestres ou passarelas e é denominada de Pedestre + Seguro (PS). Nos segmentos rodoviários que apresentam problemas com intersecções e acessos indica-se a Reabilitação Viária (RV), com execução de rotatórias ou dispositivos em desnível. Fluxo Seguro (FS) é a intervenção proposta para segmentos com elevados índices de colisões frontais ou que necessitam de faixas adicionais para ultrapassagem. Trechos com problemas relacionados à configuração geométrica da rodovia, como curvaturas acentuadas, devem receber tratamento do tipo Adequação Geométrica (AG). Passagens de Fauna (PF) serão executadas nas localidades com altos índices de atropelamento de animais.

Quando as colisões com ciclistas forem frequentes observa-se a necessidade de construção de ciclovias, solução contemplada na Circulação Segura (CS). Para todos os casos anteriores e quando não se há uma concentração de acidentes de um determinado tipo sugere-se a execução de Sinalização Avançada (SA) com o objetivo de aumentar a atenção do condutor e/ou reduzir a velocidade.

Tabela 5: Matriz de soluções proposta

TIPO DE ACIDENTE	CAUSA DO ACIDENTE					
	Grupo A		Grupo B		Grupo C	
	P. Simples	P. Múltipla	P. Simples	P. Múltipla	P. Simples	P. Múltipla
Atropelamento de pessoa	TS	TS	TS	TS	TS	TS
Atropelamento de animal	PF	PF	PF	PF	PF	PF
Capotamento	SA	SA	AG	AG	FS	FS
Colisão com bicicleta	CS	CS	CS	CS	CS	CS
Colisão com objeto fixo	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Colisão com objeto móvel	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Colisão frontal	FS	SA	AG	FS	FS	SA
Colisão lateral	RV	FS	PF	PF	FS	FS
Colisão Transversal	RV	RV	RV	RV	RV	RV
Colisão traseira	SA	SA	AG	SA	FS	SA
Queda de motocicleta / bicicleta / veículo	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Saída de Pista	SA	SA	AG	AG	FS	SA
Tombamento	SA	SA	AG	AG	FS	SA
Outros	ANALISAR CASO	ANALISAR CASO	ANALISAR CASO	ANALISAR CASO	ANALISAR CASO	ANALISAR CASO

As estimativas referentes aos investimentos para cada uma das soluções foram obtidas através de quantitativos de execução de obras similares, advindos de estudos de viabilidade de obras governamentais. A partir desses dados e dos custos unitários do SICRO 2 (DNIT) set/2016 para o estado de Minas Gerais calculou-se o custo gerencial para cada intervenção, como discriminado na Tabela 6.

Tabela 6: Custos das intervenções

Intervenção	Sigla	Pista Simples	Pista Múltipla
Sinalização Avançada	SA	R\$ 775.802,85	R\$ 1.356.713,68
Travessia Segura	TS	R\$ 911.019,63	R\$ 4.546.771,41
Reabilitação Viária	RV	R\$ 3.468.118,15	R\$ 6.746.061,15
Fluxo Seguro	FS	R\$ 3.855.608,57	R\$ 4.079.492,81
Adequação Geométrica	AG	R\$ 5.363.065,59	R\$ 7.781.702,58
Passagem de Fauna	PF	R\$ 832.764,35	R\$ 919.210,31
Circulação Segura	CS	R\$ 2.198.419,16	R\$ 2.294.141,19

A um segmento pode ser indicada mais de uma proposta de intervenção. Nas análises feitas considerou-se que, nesses casos, a solução indicada é aquela que apresenta maior recorrência

ou, em caso de empate, a mais dispendiosa. Mais informações sobre o escopo das soluções e suas premissas podem ser encontrados no processo SEI DNIT nº 50600.030253/2017-73.

Após essas considerações aplicou-se os procedimentos de priorização aos 1392 segmentos críticos identificados, dos quais 751 foram categorizados como Prioridade 1, 123 como Prioridade 2 e 518 como Prioridade 3. Os respectivos Investimentos em Intervenções e IRG desses grupos estão expostos na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados obtidos com a priorização geral

Grupo de Prioridades	Quantidade de Segmentos	Investimento em Intervenções (R\$)	IRG (R\$/ano)	RCI
Prioridade 1	751	985 Mi	2.334 Bi	2,36
Prioridade 2	123	483 Mi	237 Mi	0,49
Prioridade 3	518	1.912 Bi	703 Mi	0,37
Total	1392	3.380 Bi	3.273 Bi	0,97

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Dos 17.271 trechos com recorrência de acidentes no período observado para a malha rodoviária federal sob administração do DNIT, 1.392 foram identificados como críticos ou altamente críticos, representando aproximadamente 8% do total avaliado. A esses foi aplicado o método de hierarquização proposto, fazendo uso de uma matriz de soluções gerenciais para estimar o custo das intervenções. Os segmentos já separados em seus respectivos grupos de prioridade podem ser vistos na Figura 1.

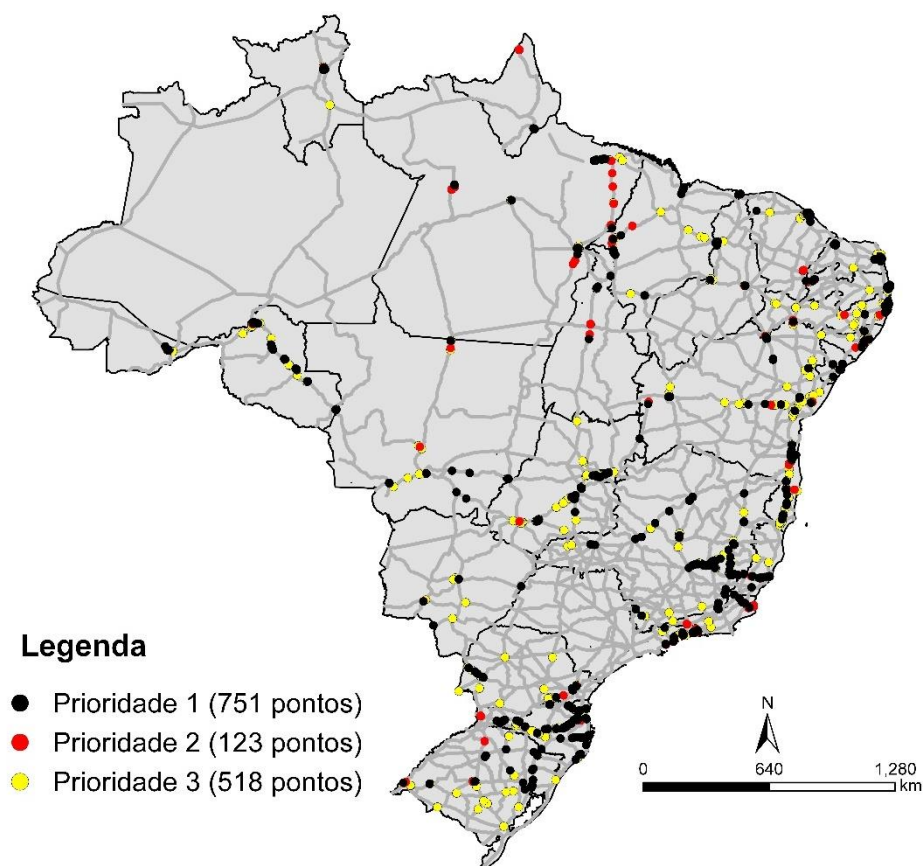


Figura 1: Segmentos críticos identificados e separados por grupo de prioridade

Como se pode observar na Tabela 7, a divisão dos 1392 segmentos críticos em três grupos se mostrou bastante eficaz quanto ao objetivo de racionalizar a aplicação do capital público, uma vez que a Relação Custo-Investimento do grupo prioritário é alta, indicando que cada real gasto nos segmentos desse grupo tem impacto em outros 2,36 reais desembolsados com os custos dos acidentes. Como o IRG representa um gasto anual recorrente, observa-se que as intervenções com Prioridade 1 possuem tempo de retorno do investimento, também chamado de *payback*, inferior a 1 ano. A rápida remediação desses trechos propicia uma redução nas despesas recorrentes, processo que inicia um ciclo de economias e viabiliza as intervenções mais caras dos grupos de prioridades 2 e 3. Da Tabela 7 também se depreende que, caso o poder público dispusesse de recursos ilimitados para resolver todos os segmentos críticos, o *payback* do investimento seria ligeiramente superior a 1 ano, cenário bastante atrativo dos pontos de vista social e financeiro.

Dentro de cada grupo de prioridades os segmentos foram também hierarquizados conforme o método proposto, procedimento que se mostrou vantajoso devido à sua simplicidade. Assim, em casos de verbas limitadas, os gestores têm a possibilidade de determinar os piores trechos do país ou mesmo os piores trechos de cada Unidade Federativa, orientando a tomada de decisão no momento de distribuir os recursos financeiros para a melhoria das condições de segurança na malha rodoviária.

Contudo, os autores observaram que apesar de muitos segmentos críticos estarem próximos, casos que ocorrem frequentemente em travessias urbanas, os procedimentos de identificação não possuem recursos para tratá-los em conjunto. Essa limitação das metodologias leva a problemas operacionais, uma vez que é mais vantajosa a licitação de intervenções em um só trecho em vez de solucionar vários pequenos segmentos separadamente. Assim, observa-se a necessidade de aperfeiçoamento dos procedimentos de identificação para torná-los capazes de agregar segmentos próximos em trechos com extensão maior a 1 quilômetro, possibilitando a análise em bloco e levando a uma maior praticidade operacional.

O método apresentado nesse artigo se mostrou ser ferramenta importante de auxílio à decisão para os gestores. Sua utilização busca, através da hierarquização dos pontos críticos e altamente críticos da Malha Rodoviária Federal, contribuir para a redução das taxas de mortalidade e lesões por acidentes de trânsito no país, indicando os trechos cujos investimentos em infraestrutura e medidas mitigadoras de acidentes apresentam *paybacks* mais rápidos e, conseqüentemente, maior benefício aos usuários das rodovias e à sociedade, poupando vidas, sofrimento, e resguardando os cofres públicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DNIT e UFSC (2009) *Elaboração de ações preventivas e corretivas de segurança rodoviária, por meio de identificação e mapeamento dos segmentos críticos da malha viária do DNIT*. Destaque Orçamentário - Portaria nº 1.282 de 31 de outubro de 2008 - DNIT / UFSC.
- Elvik, R. (2006) New approach to accident analysis for hazardous road locations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1953, p. 50-55.
- Ferraz, A. C. P. C.; A. A. Raia Junior; B. S. Bezerra; J. T. Bastos e K. C. R. Silva (2012) *Segurança Viária*. Suprema Gráfica e Editora. ISBN 978-85-98156-69-9.
- FHWA (2008) *Toolbox of Countermeasures and Their Potential Effectiveness for Pedestrian Crashes*. Federal Highway Administration, p. 4.
- FHWA (2015) *Nine Proven Safety Countermeasures*. Federal Highway Administration.
- Geurts, K e G. Wets (2003) Black Spot Analysis Methods: Literature Review. *Steunpunt Verkeersveiligheid*, RA-2003-07.

- GRTRA (2003). *Guidelines for Safety Analysis of Road Networks*. German Road and Transportation Research Association.
- IPEA (2015) *Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais Brasileiras: caracterização, tendências e custos para a sociedade*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, DF.
- Keymanesh, M.; H. Ziari; S. Roudini e A. N. Ahangar (2017) Identification and Prioritization of "Black Spots" without Using Accident Information. *Modelling and Simulation in Engineering*, v. 2017, Article ID 1832654, 9 p.
- Khisty, C. J. (1990) *Transportation Engineering - An Introduction*. Illinois Institute of Technology, Chicago.
- McGuigan, D. R. D. (1981) The use of relationships between road accidents and traffic flow in black-spot identification. *Traffic Engineering and Control*, n. 22, p. 448-453.
- Nguyen, H. H.; P. Taneerananon e P. Luatthep (2015) Approach to Identifying Black Spots Based on Potential Saving in Accident Costs. *Engineering Journal*, v. 20, n. 2, p. 109-122.
- O'Flaherty, C. A. (1967) *Highways: a textbook of highway engineering, covering planning, design, construction and traffic management*. Londres: Edward Arnold.
- Pereira, V. Q.; L. R. Perim; I. C. S. Hoffmann; W. B. Afonso; V. L. P. Accioly e W. V. Roque (2017). Metodologia para priorização de segmentos da malha rodoviária sob administração do DNIT. *Anais do XXXI ANPET*, ANPET, Recife, v.1. p. 1263-1273.
- Persaud, B.; W. Cook e A. Kazakov (1997) Demonstration of new approaches for identifying hazardous location and prioritizing safety treatment. *Traffic Safety on Two Continents*. Lissabon, p. 103-117.
- PIARC (2003) *Road Safety Manual*. Québec: Route Market. 602 p. PIARC Technical Committee.
- Reshma, E. K. e U. S. Sheikih (2012) Prioritization of accident black spots using GIS. *International Journal Of Emerging Technology And Advanced Engineering*, v. 2, n. 9.
- Sadeghi, A.; E. Ayati e M. P. Neghab (2013) Identification and prioritization of hazardous road locations by segmentation and data envelopment analysis approach. *Promet – Traffic & Transportation*, v. 25, n. 2, p. 127-136.
- Semnarshar, M.; M. Elyasi; M. Saffarzadeh e A Saffarzadeh (2018) Identification and Prioritization of Accident-Prone Segments using International Roughness Index. *International Journal of Transportation Engineering*, v. 6, n. 1.
- TØI (2007a) *Best Practice Guidelines on Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks*. Institute of Transport Economics. Oslo, p. 80. ISBN: 978-82-480-0767-8. Elaborado por Sørensen, M.
- TØI (2007b) *State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks*. Institute of Transport Economics. Oslo, p. 126. ISBN: 978-82-0739-5. Elaborado por Elvik, R.
- TRB (2000) *Road Safety Manual*. Washington: National Research Council. ISBN 0-309-06681-6.
- Transport and Road Research Laboratory (1991) *Towards Safer Roads in Developing Countries, A Guide for Planners and Engineers*. Crowthorne, Transport and Road Research Laboratory.
- WHO (2015) *Global Status Report on Road Safety*.