Banco Interamericano de Desenvolvimento
DIVISÃO DE TRANSPORTE (TSP)

Fortalecendo o setor acadêmico para reduzir o número de mortes de trânsito na América Latina:

Pesquisas e Estudos de Caso em Segurança Viária

Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID)

Alejandro Taddia
Ana María Pinto
Eduardo Café
Manuel Rodríguez
Michelle Viegas
Sissi de la Peña

Centro Internacional de Formação de Atores Locais (CIFAL)

Rafael Cesar da Costa
Rubén Saucedo

ABRIL 2014

© Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2014

Copyright © 2014 Banco Interamericano de Desenvolvimento. Todos os direitos reservados. Pode ser livremente reproduzido para fins não comerciais.

www.iadb.org/seguridadvial

As opiniões expressas nesta publicação são de responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente a posição do Banco Interamericano de Desenvolvimento, de seu Conselho de Administração, ou dos países que eles representam.

O uso não autorizado para fins comerciais de documentos do Banco é proibido e pode ser punido no âmbito das políticas do Banco e/ou das leis aplicáveis.

Agradecemos especialmente ao comitê acadêmico Ad Hoc que participou da seleção dos artigos, a Sra. Corina Puppo, Diretora Nacional do Observatório Viário da Agência Nacional de Segurança Viária da Argentina e Secretária do OISEVI; à Universidade Tecnológica Nacional da Argentina, representada pelo Sr. Juan E. Perrotat; à Arquiteta Tatiana Gadda da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR); ao Sr. Kavi Bhalla, da Escola de Saúde Pública Jonhs Hopkins Boomberg; ao Sr. Bernardo Baranda, Diretor Regional da América Latina do Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento do México; ao Sr. Alberto Escobar, Gerente de Segurança Viária e Política Pública do Automóvel Clube do Chile (ACCHi); e ao Sr. Rubén Saucedo, Representante Internacional do Centro Internacional de Formação de Atores Locais (CIFAL) de Curitiba, Brasil. Também aos que colaboraram no papel de assessoria e administração para promover, por em prática, difundir, apresentar e finalizar esta iniciativa, a Rafael César da Costa, Coordenador Técnico do CIFAL e uma menção especial ao Instituto das Nações Unidas para a Formação e Pesquisa (UNITAR), por meio de Sr. Alexander Mejía, gerente do Programa de Cooperação Descentralizada.

Esta monografia foi desenvolvida pela Divisão de Transportes em colaboração com o Escritório de Parcerias Estratégicas do BID.

Catalogação na fonte fornecida pela Biblioteca Felipe Herrera do Banco Interamericano de Desenvolvimento

Fortalecendo o setor acadêmico para reduzir o número de mortes de trânsito na América Latina: pesquisas e estudos de caso em segurança viária / Alejandro Taddia … [et al.].

p. cm. – (Monografia do BID ; 195)

Inclui referências bibliográficas.

1. Traffic safety—Latin America—Case studies. I. Taddia, Alejandro. II. Banco Interamericano de Desenvolvimento. Divisão de Transportes. III. Série.

Códigos JEL: R4, R40, R41, R49, R50, R58.

IDB-MG-195

Contacto BID: Alejandro Taddia (alejandrota@iadb.org)

Banco Interamericano de Desenvolvimento
DIVISÃO DE TRANSPORTE (TSP)

Fortalecendo o setor acadêmico para reduzir o número de mortes de trânsito na América Latina:

Pesquisas e Estudos de Caso em Segurança Viária

Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID)

Alejandro Taddia
Ana María Pinto
Eduardo Café
Manuel Rodríguez
Michelle Viegas
Sissi de la Peña

Centro Internacional de Formação de Atores Locais (CIFAL)

Rafael Cesar da Costa
Rubén Saucedo

PRÓLOGO

Nas últimas décadas, a região da América Latina e do Caribe (ALC) tem sido afetada pelo alto índice de mortalidade em acidentes de trânsito. Até o momento, essas fatalidades são uma das primeiras causas de morte na região, principalmente entre indivíduos de 5 a 44 anos, sendo responsável por mais de 100.000 mortes ao ano e por aproximadamente mais de 5 milhões de pessoas feridas.

Organismos internacionais como as Nações Unidas e a Organização Mundial da Saúde lideram o processo de implementação de ações específicas por meio da iniciativa da "Década de Ação para a segurança viária 2011-2020". Sob este marco, o BID lançou sua Estratégia de Segurança Viária e o Plano de Ação 2010-2015, para atuar de forma coordenada com os parceiros estratégicos rumo à melhoria da segurança viária e à redução das consequências do tráfico e das fatalidades nos países membros.

Uma das áreas de atuação da Estratégia de Segurança Viária do BID é fomentar a transferência de conhecimento e de boas práticas em segurança viária em toda a região, por meio de parcerias estratégicas com o setor público, setor privado, sociedade civil e organizações não governamentais. Neste contexto, o BID apoiou a realização do "primeiro concurso de estudos de caso em Segurança Viária para o âmbito universitário na América Latina e no Caribe", uma iniciativa do Centro Internacional de Formação de Atores Locais e do Instituto das Nações Unidas para Treinamento e Pesquisa (UNITAR), com o objetivo de formar a Rede Latino-americana de Universidades para a Segurança Viária. O concurso consistiu em selecionar três estudos de caso provenientes das universidades latino-americanas que apresentem soluções viáveis, no âmbito da segurança viária, aos países da região.

Esta publicação, resultado do edital lançado, divulga novos conhecimentos acadêmicos em matéria de segurança viária, apresentando boas práticas em coleta de dados de acidentes, proposta de capacitação de condutores mais responsáveis e atendimento pré-hospitalar em acidentes de trânsito, com possibilidade de réplica de metodologias e experiências nos países da região. Os estudos demonstram o potencial das parcerias entre o setor acadêmico, os governos e organizações não governamentais na construção de esforços conjuntos para melhorar a efetividade das medidas de segurança viária na América Latina e no Caribe. Essas parcerias são indispensáveis para promover uma cultura de mudança e responsabilidade viária na sociedade, aspirando, assim, a uma região livre de fatalidades por falta de segurança das estradas.

Néstor Roa
Chefe da Divisão de Transporte
Departamento de Infraestrutura e Meio Ambiente
Banco Interamericano de Desenvolvimento

José Antônio Fares
Director Executivo
CIFAL Curitiba

SUMÁRIO

INTRODUCCIÓN 8
Fatalidade nas vias: um problema global 9
Iniciativas e intervenções 10
O primeiro concurso de estudos de caso em segurança viária 10
Os casos vencedores 10

USO DE RECURSOS DE VISUALIZAÇÃO 3D E SIMULADOR DIREÇÃO REALÍSTICO NO APOIO AOS ESTUDOS SOBRE SEGURANÇA EM RODOVIAS 12
1. Introdução, contexto geral no país e descrição do problema 13
2. Objetivos do estudo 14
3. Pilares da Década de Ação para a Segurança Rodoviária 2011-2020 diretamente relacionados a este estudo 14
4. Público alvo. 15
5. Metodologia empregada no estudo. 15
6. Resultados e avaliação do trabalho 19
7. Informações adicionais/ Comentários. 21
8. Referências Bibliográficas. 22

FERRAMENTAS PARA RECONHECIMENTO DE FATORES CAUSAIS DE ACIDENTES DE TRÂNSITO ESTUDO DE CASO NO BRASIL 24
1. Introdução, contexto geral no país e descrição do problema 25
2. Objetivos do estudo 25
3. Aplicação prática. 27
4. Pilares da Década de ação para a segurança rodoviária 2011-2020 diretamente relacionados ao presente estudo 27
5. Público alvo. 27
6. Metodologia empregada no estudo. 28
7. Resultados e avaliação do trabalho 31
8. Referências Bibliográficas. 39

MODELOS DE LOCALIZAÇÃO PARA MELHORIA DO ATENDIMENTO PRÉ-HOSPITALAR DE ACIDENTES DE TRÂNSITO EM MEDELLÍN, COLÔMBIA 40
1. Introdução, contexto geral no país e descrição do problema 41
2. Objetivos do estudo 43
3. Pilares da Década de Ação para a Segurança Viária 2011-2020. 43
4. Público alvo. 43
5. Metodologia empregada no estudo. 44
6. Resultados e avaliação do trabalho 49
7. Informações adicionais / Comentários 52
8. Referências bibliográficas. 55

Introducción

Fatalidade nas vias: um problema global

O constante crescimento econômico e populacional, as mudanças tecnológicas e a urbanização crescente da região levaram à necessidade de atendimento de novas demandas de mobilidade. O aumento da população e o uso dos meios de transporte geraram um problema de ação coletiva: o aumento do número de acidentes viários em países cada vez mais motorizados. Segundo relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2013, o número de mortos e feridos em acidentes de trânsito foi de 1,24 milhão e 50 milhões de pessoas, respectivamente. O mesmo estudo concluiu que os acidentes de trânsito são a oitava causa mundial de morte e uma das primeiras em se tratando de indivíduos de idade entre 5 e 44 anos. O relatório prevê que, "caso não se tomem medidas urgentes, os acidentes de trânsito se transformarão em 2030 na quinta causa de morte".[1]

Os países desenvolvidos como a França, Suécia, Espanha e Estados Unidos foram os primeiros a adotar medidas destinadas a reduzir a taxa de acidentes em suas vias. Segundo um estudo do BID, a Espanha reduziu "a cifra de mortos por acidente de transito entre os anos de 2001 e 2007 em aproximadamente 31%"[2], alcançando a taxa de 8,6 mortos por 100.000 habitantes. A França, por sua vez, reduziu no mesmo período seu índice de mortalidade em 43%.

Nos países da América Latina e do Caribe, já se iniciou um processo de conscientização sobre o tema, por meio da definição, pelos governos, dos Planos Nacionais de Segurança Viária. Entretanto, persiste a carência de uma instituição sólida que cuide do problema, de um sistema efetivo de coleta de dados, auditorias constantes nas vias, um sistema de atendimento de urgência das vítimas, leis que regulem os assentos para transporte de crianças ou que obriguem os carros produzidos na região a incorporar equipamentos de segurança completos e, definitivamente, de uma cultura que encare a Segurança Viária como uma das prioridades para um desenvolvimento eficiente dos sistemas de transporte.

Nesse contexto, os países membros das Nações Unidas têm trabalhado na elaboração de um plano denominado "Plano Mundial para a Década de Ação pelo Trânsito Seguro" (2011-2020), cujo objetivo consiste em estabilizar e depois reduzir a tendência ao aumento do número de mortes por acidentes de trânsito, com base no qual se estima que 5 milhões de vidas seriam poupadas nesse período. Esse plano foi elaborado com o objetivo de oferecer aos países orientação sobre as medidas necessárias para reduzir o número de mortes, perseguindo assim o objetivo da Década de Ação.

Em março de 2010, durante a reunião anual dos governadores em Cancún, o BID lançou sua Estratégia de Segurança Viária e o Plano de Ação 2010-2015. Por meio da Divisão de Transporte (TSP), o Banco tem desenvolvido atividades específicas para promover, fortalecer, acumular, sistematizar e compartilhar conhecimento nas áreas chave de desenvolvimento de infraestrutura e serviços de transporte na região. Em conformidade com o Plano, a TSP tem priorizado a Segurança Viária como área estratégica de influência sobre o desenvolvimento de políticas públicas, auxiliando no cumprimento dos objetivos da iniciativa Década de Ação 2011-2020.

Segundo um estudo do BID de 2013, a taxa de vítimas mortais em cada 100.000 habitantes teve um pequeno aumento entre 2009 e 2013, passando de 16,2 a 17,2 mortos[3]. Cerca de 50% das vítimas mortais se concentram no âmbito urbano, onde vivem 82% da população do continente, sendo os

[1]OMS. Informe sobre la Situación Mundial de la Seguridad Vial. Genebra, março de 2013. www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013
[2]BID; AEC. Diagnóstico de Seguridad Vial en América Latina y el Caribe: 2005-2009. BID, Washington, 2013. A versão gratuita em espanhol está disponível na página web do BID.
[3]BID. Avances de Seguridad Vial en América Latina y el Caribe 2010–2012. BID, Washington, 2013.

usuários vulneráveis (pedestres, ciclistas e motociclistas) o grupo com maior número de vítimas. Por outro lado, um estudo feito pelo BID, Cost of Injuries in Latin America 2013, concluiu que o impacto econômico dos acidentes viários em quatro países latino-americanos – Argentina, Colômbia, México e Paraguai – se encontram entre 1,5% e 3,9% do Produto Interno Bruto de cada um dos países, dependendo da metodologia utilizada[4].

Iniciativas e intervenções

Entre os principais objetivos do BID em matéria de segurança viária, se destacam o fortalecimento da capacidade institucional dos governos dos países da região e de sua capacidade técnica em matéria de segurança viária, assim como o fomento da transferência de conhecimento e boas práticas, incentivando parcerias estratégicas para reproduzir a experiência e as vantagens comparativas entre os diversos setores. Sob esse marco, uma das linhas de ação da estratégia é o apoio à disseminação de boas práticas e desenvolvimento de redes interinstitucionais. Portanto, o Centro de Formação de Atores Locais para a América Latina (CIFAL) e o Instituto das Nações Unidas para a Formação e Pesquisa (UNITAR), com o apoio do BID, decidiram estruturar uma rede de universidades dedicadas à segurança viária e lançar uma chamada para a realização de estudos de caso sobre a temática.

A rede global do CIFAL é composta por nove centros regionais, que têm como objetivo o desenvolvimento de capacidade local em conjunto com os governos locais, os setores público e privado e a sociedade civil. Com sede em Curitiba desde 2003, o centro regional da América do Sul é responsável pelo desenvolvimento de programas de formação e fomento da cooperação técnica que contribuem para um desenvolvimento urbano sustentável e para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio na América Latina. Em matéria específica de segurança viária, o CIFAL está desenvolvendo um programa de segurança viária para Ibero-América, incluindo em seus projetos a criação de uma rede de universidades com o objetivo de promover e aprofundar o conhecimento nessa matéria.

O primeiro concurso de estudos de caso em segurança viária

Em 2013, o CIFAL Curitiba e o UNITAR, com o apoio do BID, realizaram o primeiro concurso de estudos de caso na área de segurança viária para o setor universitário na América Latina e no Caribe, a fim de promover os processos acadêmicos de criação, ampliação e aprofundamento do conhecimento nessa matéria. O concurso é o primeiro passo para a formação da rede latino-americana de universidades voltadas para a segurança viária.

A chamada para a apresentação de propostas foi aberta a todos os pesquisadores, docentes e estudantes universitários cujo objeto de estudo estivesse vinculado ao tema de segurança viária nos 26 países membros do BID na América Latina e no Caribe. Os trabalhos de pesquisa apresentados responderam a um ou mais dos cinco pilares propostos pela Organização Mundial de Saúde-Organização das Nações Unidas na iniciativa Década de Ação para a Segurança Viária, lançada no dia 11 de maio de 2011. A avaliação dos casos ficou a cargo de um comitê acadêmico da Rede de Universidades para a Segurança Viária, um representante do CIFAL Curitiba e representantes da Federação Internacional de Automobilismo (FIA), a Universidade Johns Hopkins e a Agência Nacional de Segurança Viária da Argentina. Os três finalistas foram convidados a apresentar seus estudos de caso na Primeira Assembleia da Rede de Universidades para Segurança Viária, realizada entre os dias 18 e 19 de novembro de 2013, na cidade de Buenos Aires.

Os casos vencedores

Na presente Nota Técnica são apresentados os três estudos de caso finalistas do primeiro concurso. O

[4]Bhalla, Kavi. The Costs of Road Injuries in Latin America 2013. BID, Washington, 2013.

primeiro deles, Uso de recursos de visualização 3D e simulador de direção realístico no apoio aos estudos sobre segurança em rodovias, de autoria de Ana Paula Camargo Larocca, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, aborda o uso de simulador de direção para melhorar a segurança viária. Adotando como experiência o trabalho dos pilotos de aviões, o estudo demonstra um possível avanço na introdução de simulador na condução de veículos. Além disso, a iniciativa também permite o estudo de reações e comportamentos, além da simulação de infraestrutura, conforme os parâmetros estabelecidos pela Federal Highway Administration dos Estados Unidos (Administração de Rodovias Federais, em português) em conjunto com o Strategic Highway Research Program (SHRP, sigla em inglês), do Transportation Research Program (TRB, sigla em inglês), levando em consideração a prevenção, mitigação de mortes, além de estudos de reação e cognição na via pública apresentada em um entorno virtual.

O segundo estudo, Ferramentas para reconhecimento de fatores causais de acidentes de trânsito: Estudo de caso no Brasil, de autoria de Denise Martins Chagas, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, propõe uma ferramenta prática de coleta de dados com o fim de se obter de forma unificada elementos precisos sobre as mortes no trânsito. A padronização na coleta e processamento de dados estatísticos possibilita a elaboração de mapas de localização de recorrência de sinistros, chamados de pontos críticos, estudando as causas, processos e localização dos acidentes, com o objetivo de propor estratégias para reduzir as fatalidades nesses locais. Os formulários foram aplicados pela BHTRANS, órgão responsável pelo trânsito na cidade de Belo Horizonte, Brasil.

O terceiro trabalho, Modelos de localização para melhoria do atendimento pré-hospitalar de acidentes de trânsito em Medellín (Colômbia), foi apresentado por Juan Guillermo Villegas Ramírez, da Universidade de Antioquia, Colômbia. O estudo teve como objetivos: determinar a quantidade ótima de ambulâncias que o sistema de emergência da cidade de Medellín necessita por faixa horária para a maximização da cobertura no atendimento pré-hospitalar da população e definir a localização das bases a partir das quais partirão as ambulâncias. A importância deste trabalho reside em especial em sua utilidade para o sistema de saúde, pelo atendimento primário rápido e eficiente nos casos de acidentes.

Esta Monografia é uma iniciativa inovadora que testemunha o caráter multidisciplinar das instituições acadêmicas, de sua vocação e vinculação com a comunidade. Sabemos que a problemática dos acidentes viários afeta gravemente todas as comunidades da América Latina e do Caribe, razão pela qual se torna imprescindível a realização das pesquisas e a geração de propostas de solução para esse flagelo. Estamos empenhados no estímulo à tarefa de fortalecer o desenvolvimento, planejar e reunir um conhecimento extenso em matéria de segurança viária. Acreditamos que esse é o caminho ante a um desafio tão importante e exigente.

Uso de Recursos de Visualização 3D e Simulador Direção Realístico no apoio aos Estudos sobre Segurança em Rodovias

Ana Paula Camargo Larocca[5]

Aurenice da Cruz Figueira[6]

Felipe Issa Kabbach Jr.[7]

[5]Doutora e Mestre em Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Atualmente é professora doutora na mesma instituição. Estágio Doutoral, em 2003, na Univeristy of New Brunswick, Fredericton,Canadá.
[6]Mestre em Engenharia de Transportes pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Atualmente é Doutoranda na Escola de Engenharia de São Carlos.
[7]Doutor e Mestre em Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Atualmente é professor doutor na mesma instituição.

1. Introdução, contexto geral no país e descrição do problema

Esta proposta foi elaborada com o intuito de contribuir para o desenvolvimento e modernização tecnológica de parte dos estudos desenvolvidos no Brasil voltados para a segurança nas rodovias, assim como para o comportamento do condutor.

O estado da arte em matéria de concepção do Projeto Geométrico de Vias de Transporte Terrestre no Brasil apresenta, hoje, uma lacuna no que diz respeito a estudos e pesquisas sobre a segurança do usuário e seu comportamento nas rodovias.

Hoje, essa lacuna, que também precisa ser preenchida no Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, inclui estudos e pesquisas não apenas sobre o projeto geométrico de vias e seus dispositivos de segurança (barreiras físicas, sinalização horizontal e vertical), como também o comportamento e reação dos condutores (idade, sexo, dirigibilidade em dias de sol, chuva, de neblina, etc.) com o apoio de um simulador de direção, mediante visualização 3D.

Um simulador de direção oferece a possibilidade de que a pessoa dirija em um ambiente virtual (o projeto geométrico da via) e observe o ambiente no qual a rodovia está inserida, permitindo a análise de falhas na geometria, o posicionamento de placas de sinalização, os dispositivos de segurança e o comportamento do próprio motorista. Nesse projeto, os condutores são convidados a percorrer virtualmente os diversos cenários de uma rodovia, que podem ser criados e testados no simulador em condições reais ou sugeridas, garantindo um controle absoluto sobre os parâmetros do estudo e a segurança do motorista.

A contextualização da importância da visualização 3D e dos simuladores de direção realista – que podem ser do tipo estático (Figura 1) ou dinâmico (Figura 2), nas pesquisas sobre rodovias, remete obrigatoriamente aos estudos desenvolvidos pela Federal Highway Administration (Administração Rodoviária Federal) dos Estados Unidos em conjunto com o Strategic Highway Research Program (SHRP, sigla em inglês, Programa Estratégico de Pesquisa Rodoviária), do Transportation Research Board (TRB, sigla em inglês, Programa de Pesquisa de Transporte), visando sempre à prevenção, mitigação de acidentes e estudos de cognição.

Além dos Estados Unidos, países como a França, Alemanha, Itália e China concordam em que a condução de um veículo é uma tarefa geralmente considerada essencialmente visual (Kemeny et al. 2006). Por isso, há quase 15 anos, as tecnologias de visualização 3D dos simuladores de direção vêm sendo utilizadas nesses países em investigações voltadas para o desenvolvimento de veículos, treinamento de condutores (de trens, aeronaves, veículos militares e mais recentemente de caminhões e veículos de passeio) e também para estudos sobre o comportamento de condutores no tráfego.

No Brasil, nenhum passo foi dado no sentido da aplicação dessas ferramentas em estudos sobre comportamento do tráfego, notadamente num país com grandes distinções regionais quanto ao comportamento e cultura de sua população. É também importante ressaltar a distinção entre o comportamento do condutor brasileiro e do americano e o fato de a norma aqui adotada (DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) se basear fortemente na norma americana, ditada pela American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, sigla em inglês da Associação Americana de Rodovias Estatais e de Oficiais de Transporte.

Um fator que vai ao encontro deste projeto está inserido na Portaria 808/2012 do DENATRAN, que passa a exigir já este ano o uso de simuladores de direção em autoescolas. No entanto, esses simuladores não são realistas.

Contudo, há um fator preponderante que favorece a proposição desse projeto, que é o lançamento da chamada "Década de Ação para a Segurança Viária 2011-2020", lançada em 11 de maio de 2011 pelas Nações Unidas. Sua criação se deu a partir de de-

liberações da Assembleia Geral das Nações Unidas e da Organização Mundial de Saúde exigindo que os Estados Membros priorizassem a segurança rodoviária como um assunto de desenvolvimento e saúde pública e tomassem medidas efetivas para a redução do número crescente de acidentes em todo o mundo (http://www.roadsafetyfund.org/).

O desenvolvimento desta pesquisa foi orientado pelas necessidades desse momento em que essas nações são conclamadas a refletir e a adotar ações voltadas para a Segurança Viária.

2. Objetivos do estudo

Intimamente ligado à questão da investigação e estudos acerca da visualização 3D e uso de simulador de direção para aumento da segurança rodoviária, os objetivos e metas que fazem parte das intenções deste projeto são os seguintes:

- Prover o país de um centro dotado de tecnologia moderna e multidisciplinar, com simulador dinâmico de direção realista, para o desenvolvimento de estudos sobre a segurança nas estradas, notadamente na Década de Ação para a Segurança Viária 2011-2020;
- Estudar o comportamento do condutor brasileiro frente aos dispositivos de segurança e condições das vias e interpretar as possíveis causas da ocorrência, hoje, no Brasil, do alto índice de mortes no transito;
- Estudar o comportamento regional dos condutores do Brasil, diante da grande diversidade cultural existente – tratando-se de um país de dimensões continentais;
- Promover a educação e conscientização a respeito dos benefícios proporcionados pelas tecnologias de visualização 3D a práticas aplicadas à concepção do traçado geométrico e estudos do comportamento dos condutores;
- Prover metodologia de baixo custo para a mitigação de acidentes – é possível testar diversas configurações dos dispositivos de segurança nos simuladores de direção e iniciar sua confecção e implantação, mas somente após a análise dos resultados. Também é possível testar novos projetos de rodovias antes da execução propriamente dita, o que contribui para a identificação de falhas de coordenação de alinhamentos que podem levar os motoristas a se acidentar. Normalmente, essas falhas são identificadas quando a rodovia é aberta ao tráfego e começam a ser registrados acidentes em alguns pontos específicos.

3. Pilares da Década de Ação para a Segurança Rodoviária 2011-2020 diretamente relacionados a este estudo

A Assembleia Geral das Nações Unidas proclamou a Década de Ação para a Segurança Rodoviária entre os anos de 2011 e 2020 mediante a resolução 64/255 de março de 2010 com o propósito de "estabilizar e posteriormente reduzir o número de vítimas fatais em acidentes de trânsito em todo o mundo, intensificando ações em âmbito nacional, regional e mundial".

As ações previstas na abordagem da problemática da segurança rodoviária durante essa década apoiam-se em cinco pilares principais: (i) Gestão da segurança rodoviária; (ii) Infraestrutura mais segura e mobilidade; (iii) veículos mais seguros; (iv) usuários mais seguros; e (v) atendimento às vítimas. O presente estudo está alinhado com o Pilar 1 pela possibilidade da análise integrada da geometria da via, dos dispositivos de segurança e do comportamento de condutor. Uma vez que o projetista pode acompanhar o projeto concebido por meio do drive through, é possível corrigir eventuais erros de coordenação de alinhamentos e, consequentemente, o traçado, antes da etapa de execução da rodovia, o que contribui diretamente para a implantação de uma infraestrutura mais segura (Pilar 2). O simulador realista tem ainda como diferencial o uso de um modelo virtual de veículo real inserido no ambiente 3D. Esse

fato permite, por exemplo, que os fabricantes de veículos testem componentes de estabilidade veicular e os adapte às condições da infraestrutura rodoviária e ao comportamento do condutor brasileiro. O uso do simulador evita que o condutor fique submetido a situações de risco real e, muito importante, contribui para a fabricação de veículos mais seguros (Pilar 3). A partir do momento em que os primeiros resultados da pesquisa realizada com o simulador de direção forem apresentados à sociedade e à academia, será possível avaliar o nível de agressividade do condutor brasileiro ao volante e em que medida esse comportamento afeta as estatísticas de morte no trânsito no Brasil. Acredita-se que a sensibilização do condutor a esse respeito, juntamente com medidas punitivas mais severas, promoverá a conscientização da necessidade de adoção de direção preventiva e segura (Pilar 4). Finalmente, como as imagens da pista em 3D podem ser projetadas em ambiente virtual – na chamada caverna digital – , em etapa de médio prazo, também será possível simular diversas situações de acidentes e treinar pessoal de apoio na via, para oferecer socorro às vítimas (Pilar 5).

4. Público alvo

Condutores de veículos de passeio e caminhões, pesquisadores, projetistas de rodovias, concessionárias de rodovias, DNIT, DER, DETRANs, DENATRAN.

5. Metodologia empregada no estudo

São várias as razões que justificam o uso de simuladores de direção nos estudos sobre o tráfego: facilidade para fazer alterações no projeto geométrico e na investigação do uso de dispositivos de segurança e sinalização – ainda inexistentes e caros se forem construídos apenas para teste ou implantados e posteriormente retirados – sempre tendo em vista contribuir para o estudo do comportamento do usuário na via e sua segurança.

Outra razão bastante forte para o uso de simuladores de direção é que, nele, as situações potencialmente perigosas podem ser investigadas sem risco de vida. E os motoristas podem ser repetidamente confrontados com eventos que podem ocorrer na realidade. Assim, é possível estudar seu comportamento em diferentes circunstâncias, inclusive em condições climáticas específicas – como neblina, chuva.

Em alguns países, a legislação impede que se façam testes nas vias – em rodovias e vias urbanas são frequentemente autorizados somente em um simulador, após um primeiro teste das potenciais situações de risco. Em muitos países, por exemplo no Brasil, não é permitido que se investigue nas vias a influência de álcool ou drogas no desempenho ao volante de um veículo, embora se possa fazer isso em um simulador.

Finalmente, o simulador de direção permite um excelente controle experimental que o ambiente real não oferece [Bella (2008); Benedetto et al (2002); Santiago-Chaparro et al (2011); Oliver (2012); Fischer & Eriksson (2012)].

Em linhas gerais, o simulador de direção consiste em um cockpit, no qual se senta o condutor, equipado com controles usuais como volante, embreagem, pedais de acelerador e freio, todos interligados, permitindo a condução em tempo real de um veículo por uma rodovia que é projetada em telas à frente do motorista (Allen et al 2011). O cenário da rodovia no qual estará imerso o condutor é criado a partir da renderização do terreno e do projeto geométrico, com a inserção de elementos desejáveis (placas, árvores, barreiras de concreto, defensas metálicas, etc.) e condições do tráfego e do meio ambiente (Kearney & Grechkin 2011). Adicionalmente, além do modelo físico do veículo, é necessário criar um modelo virtual da dinâmica veicular que simule a aceleração, a frenagem e as manobras feitas pelo condutor para garantir a fidelidade com a experiência real de condução (Schwarz 2011). Finalmente, as ações do condutor

e os parâmetros dinâmicos do veículo virtual são continuamente calculados e registrados por meio de softwares específicos de simulação, para análise posterior.

No estado da arte dos simuladores de direção existem três graus de desenvolvimento em função do nível de fidelidade com respeito à realidade que se queira atingir e às capacidades de investimento: simuladores de direção básicos, caracterizados por um cockpit e monitores; de nível intermediário, equipados com uma cabine estática de um veículo real e um telão de projeção; e de alta fidelidade, formado por uma cabine sobre uma base dinâmica, que simula o movimento do veículo, e melhores ferramentas de simulação do entorno.

Cientes da importância de se obter um simulador de alta fidelidade para o desenvolvimento de pesquisas mais relevantes e da necessidade de implantá-lo por etapas, a presente proposta apresenta três fases de desenvolvimento, cada uma delas associada a um grau de fidelidade do simulador, como se segue:

- Etapa do simulador de nível básico: sua arquitetura compreenderá um cockpit (volante, embreagem, pedais de acelerador e freio) e monitores de projeção do entorno de condução. Nessa fase já se terá o modelo dinâmico calibrado de um veículo C3 – obtido por meio de uma parceria com a PSA Peugeot Citroën. A Figura 1 representa um simulador desse tipo.

Figura 1: Simulador básico do projeto.

Fonte: Multicorpos Engenharia, na foto Prof. Alvaro da Costa Neto – EESC/USP

- Etapa do simulador de fidelidade média: sua arquitetura compreende três projetores para igual número de computadores dedicados exclusivamente ao processamento da imagem, com o objetivo de oferecer maior campo visual e melhor resolução, aumentando a fidelidade física do simulador; o cockpit será substituído por uma cabine de um veículo C3 obtido mediante parceria com a PSA. Nessa etapa do projeto poderão ser realizados estudos mais avançados sobre a análise da geometria e o comportamento do motorista. A Figura 2 apresenta um simulador semelhante ao projetado e em fase de construção.

- Etapa do simulador de alta fidelidade: compreende uma arquitetura mais complexa, com um sistema de projeção imersivo, em que é usado um telão e os mesmos recursos computacionais mencionados na fase anterior, assim como uma plataforma dinâmica de suporte do veículo para representar os graus de liberdade experimentados ao dirigir. Além dos modelos de veículos de passeio obtidos pela parceria com a PSA, existe a possibilidade de se incorporar modelos de caminhões em parceria com a Scania, assim como equipamentos para o monitoramento dos parâmetros fisiológicos do motorista. Por outro lado, além do programa de criação de cenários e dos modelos dinâmicos veiculares, se terá o modelo de Motion Cueing para acrescentar a fidelidade do simulador (Greenberg & Bloomer, 2011). A Figura 3 apresenta o simulador dinâmico, que será o equipamento principal do projeto – ainda em fase de captação de recursos.

Figura 2. Simulador estático.

Fonte: DriveSafety http://www.drivesafety.com/

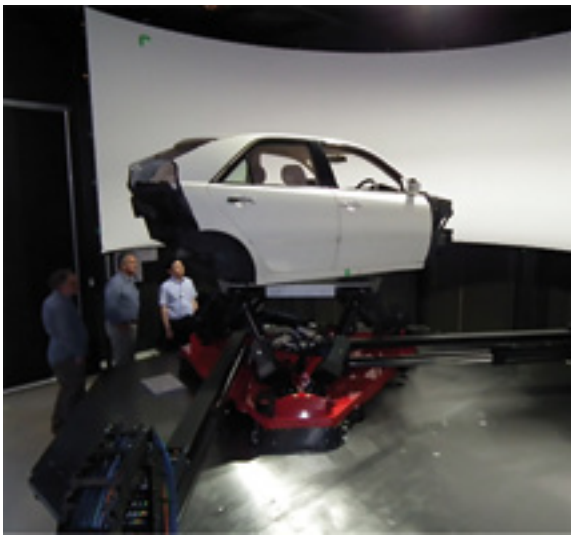


Figura 3. Simulador dinâmico (Vi-GRADE-FERRARI).

Fonte: Vi-GRADE http://www.vi-grade.com

Apesar das diferenças assinaladas nas três etapas do projeto, existem aspectos metodológicos que devem ser respeitados e observados nas três fases a fim de se garantir a obtenção de resultados representativos do comportamento do condutor e da avaliação da geometria da via. A seguir, são apresentadas as fases de desenvolvimento do projeto:

1. Definição do tipo de estudo. A primeira etapa de qualquer estudo realizado no simulador de direção deverá definir o objetivo da pesquisa, já que ele irá modificar o tipo de veículo usado, os cenários que devem ser configurados, as métricas a ser coletadas e a população alvo do estudo. São exemplos de estudo: avaliação da consistência no projeto geométrico, influência das barreiras de contenção na distância de visibilidade, distração do motorista pelo uso do celular, influência do consumo de álcool na condução, entre outros.
2. Desenvolvimento e calibração do modelo dinâmico do veículo. Uma vez definido o tipo de estudo, deverão ser simuladas: a direção, transmissão, aceleração, rotação e velocidade do veículo selecionado, havendo preferência para, além disso, simular as condições físicas nas etapas mais avançadas do projeto. Como menciona Schwarz (2011), o modelo desenvolvido deve ser validado de acordo com os testes da Sociedade Automotiva de Engenheiros (SAE), que compreendem principalmente testes longitudinais (aceleração e frenagem) e laterais (direção e aceleração lateral). A aceitação do modelo desenvolvido será feita com base na validação visual e na análise estatística (histogramas, provas de hipótese e séries de tempo) dos resultados obtidos com os testes e o comportamento real do veículo.
3. Criação de cenários. O tipo de estudo também definirá os cenários a criar, sendo possível a sugestão de um cenário único ou de um cenário atual e outros que sejam propostos. Segundo Kearney & Grechkin (2011) e Figueira (2012) a criação de cenários deve incluir o modelo digital do terreno, o projeto geométrico (alinhamento horizontal, vertical e seção transversal), elementos de sinalização e controle do tráfego, assim como representação das condições do fluxo veicular e do meio ambiente. No caso de estudos baseados em situações reais, a criação dos cenários começa com a coleta de informações em campo que permitam caracterizar as variáveis mencionadas anteriormente, para posterior digitalização, levadas a modelos 3D e finalmente renderizadas, isto é, com a definição por computação gráfica de cores, brilhos e texturas dos elementos. Finalmente, um elemento importante na criação de cenários – que será levado em consideração no presente projeto – é a capacidade de ativação em tempo real de novos eventos e elementos no cenário, segundo as decisões tomadas pelo motorista no simulador.
4. Desenvolvimento do modelo de Motion Cueing. Só será desenvolvido tendo em vista as fases finais do projeto, compreendendo a comunicação e retroalimentação entre os modelos do veículo e do cenário com os sistemas de projeção e movimento percebidos pelo usuário no simulador. O modelo de Motion Cueing é um fator chave na fidelidade do simulador no momento de transmitir ao usuário os movimentos, as forças, o som e as imagens correspondentes a suas manobras (Jamson, 2011).
5. Validação do estudo. Toda pesquisa conduzida num simulador de direção deve ser validada, até que se garanta que seus resultados possam ser generalizados de acordo com as condições reais que são objeto do estudo. Segundo Mullen et al (2011) a validação do estudo no simulador deve comparar os resultados de testes pilotos feitos em condições reais e no simulador, mediante o emprego de ferramentas estatísticas, como análises de variância, correlação e estatística descritiva e até inspeção visual. Um modelo de simulação de direção é considerado valido se conseguir induzir no condutor os mesmos com-

portamentos que ele manifesta no contexto real. A validação dos estudos será feita em todas as etapas de desenvolvimento do projeto.

6. Planejamento do teste, seleção dos grupos de estudo e aplicação dos testes. Após a validação do modelo, será feita a seleção do grupo de estudo (amostra) segundo o público alvo, requerimentos do tamanho da amostra e processos de seleção aleatória. Antes de se dar início ao estudo, deverão ser informadas as regras, condições e estímulos do teste, a fim de se tentar obter os resultados desejados e procurando conseguir a maior fidelidade psicológica da simulação, sempre respeitando o consentimento livre quanto à participação no teste (Figueira 2012; Ranney 2011; Dawson 2011). Ao longo dos testes, serão preparados questionários e coleta de dados sobre o desempenho do motorista (parâmetros fisiológicos), do veículo (velocidade, aceleração, etc.) e do entorno (tráfego, chuva, etc.).

7. Análise estatística. Uma vez obtidos os resultados dos testes, serão feitas análises estatísticas segundo as necessidades do estudo, sendo empregadas em geral as seguintes ferramentas: estatística descritiva, análise de correlação e covariância, análises de variância, prova de hipótese Qui Quadrado, modelos de regressão linear e técnicas de análises cluster, entre outras (Figueira, 2012; Boyle, 2011).

6. Resultados e avaliação do trabalho

Como já se mencionou anteriormente, o projeto atualmente se encontra em fase de consolidação de sua primeira etapa (simulador de direção de nível básico), sendo desenvolvidas até hoje duas pesquisas dirigidas ao desenvolvimento do simulador. Num primeiro estudo, Figueira (2012) emprega ferramentas de visualização 3D para a avaliação de inconsistências no projeto geométrico de uma via associadas principalmente a três fenômenos: perda da distância de visibilidade, sequência de curvas côncavas e convexas criando mergulhos visuais, e perda visual do direcionamento do percurso por falta de concordância entre o alinhamento horizontal e vertical. Para começar, foram criados três cenários diferentes e, a partir de cada um deles, outros dois cenários: um com um traçado correto e outro com algum dos problemas referidos. O total de seis cenários foi avaliado por um grupo de aproximadamente 80 pessoas com conhecimentos técnicos de projeto geométrico. O principal resultado obtido foi a conclusão de que a ferramenta de visualização empregada efetivamente permite identificar e avaliar os erros no projeto geométrico, com destaque para a importância que teria nesse tipo de estudo o desenvolvimento de simuladores mais avançados. A Figura 4 apresenta uma visualização da simulação feita nesse estudo para um trecho com inconsistências no projeto geométrico.

Figura 4: Visualização de um trecho com inconsistências no projeto geométrico – falhas de coordenação de alinhamento que submetem o motorista a riscos.

Fonte: Figueira (2012) p.76

Por outro lado, em Matos (2012) foi desenvolvido um segundo estudo orientado para o uso de ferramentas de visualização 3D na avaliação da via, sendo o foco particular dessa pesquisa o efeito que tem a distância de separação da barreira central na distância de visibilidade em curvas horizontais para pistas duplas. Com esse objetivo, foram desenvolvidos vários cenários de simulação da distância de separação da barreira em função de sua altura, da velocidade de operação da via, da geometria da curva (raio e ângulo central) e do alinhamento vertical. As simulações tiveram como principal resultado a criação de ábacos sobre a distância adequada de separação da barreira central em função dos parâmetros já mencionados. Adicionalmente, os ábacos criados com base nas simulações foram, segundo um estudo, testados satisfatoriamente em um trecho de via na região metropolitana de Recife, Brasil. A Figura 5 apresenta um dos ábacos gerados pelas simulações.

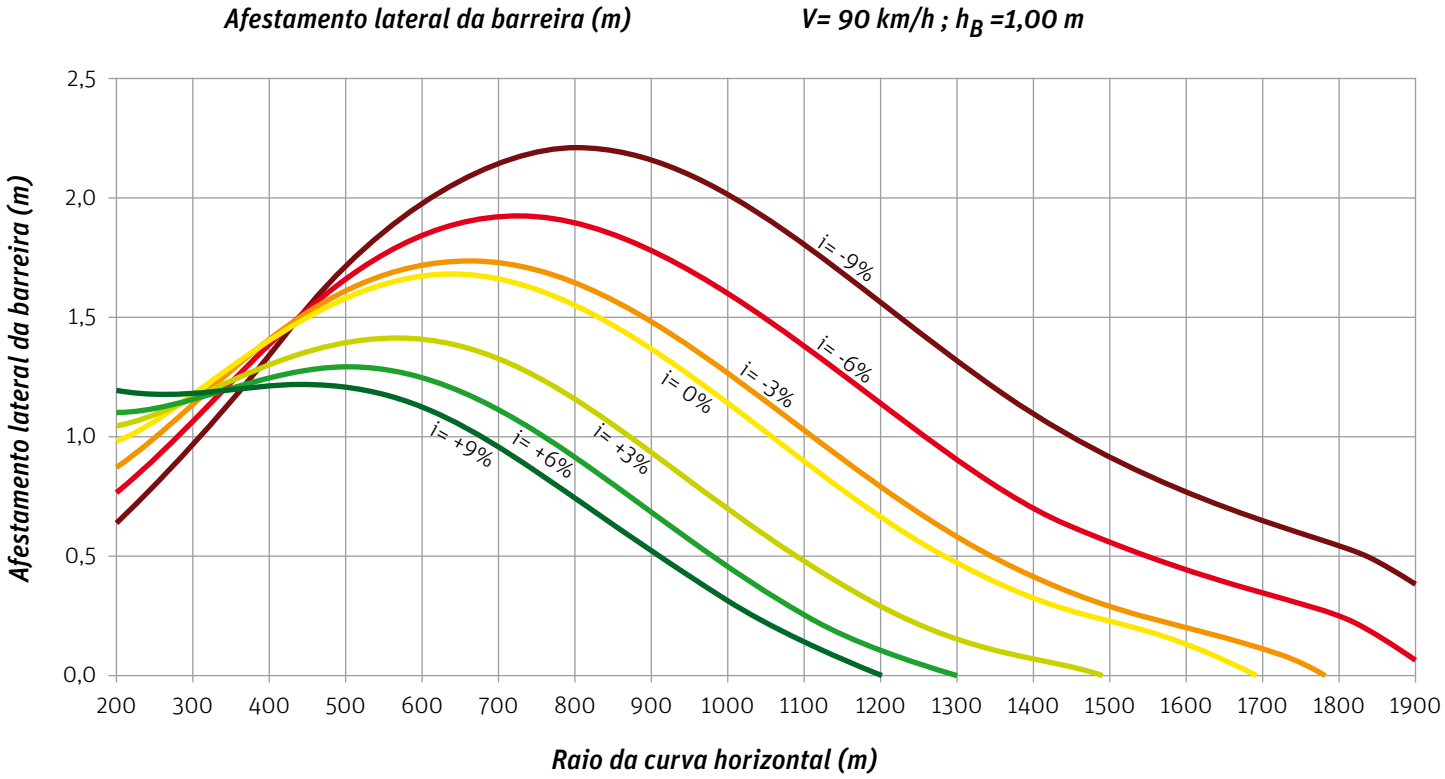


Figura 5: Ábaco de separação adequada da barreira central – auxílio ao projetista da via.

Fonte: Matos (2012) p.80

É importante ressaltar que, embora o projeto atualmente ainda esteja em fase inicial (Felipe Rabay Lucas et al, 2013), já foram desenvolvidas várias pesquisas a seu respeito, com resultados satisfatórios que confirmam a importância do emprego desse tipo de tecnologia nos estudos sobre segurança viária. Também graças a ele já se constituíram várias parcerias (Agência Nacional de Transportes Terrestres – projetos de Recursos de Desenvolvimento Tecnológico), PSA Peugeot Citroën, Scania e Departamento de Transito do Estado de São Paulo – DETRAN) para o desenvolvimento de futuras pesquisas conforme o projeto siga avançando.

Nesse sentido, propõe-se que nas próximas etapas do projeto prossiga o desenvolvimento de estudos voltados para o projeto geométrico da via e mais pesquisas orientadas para o estudo do comportamento do condutor, o desempenho do veículo e a análise do tráfego, entre outras questões, fazendo que o simulador dinâmico de direção seja o primeiro laboratório de pesquisa multidisciplinar da América Latina orientado para a segurança rodoviária com base em ferramentas de simulação e visualização 3D.

7. Informações adicionais/ Comentários

Este projeto de pesquisa, desenvolvido pela professora Ana Paula Camargo Larocca, do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, conta com a participação do professor Felipe Issa Kabbach Jr. (Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP), do professor Álvaro da Costa Neto (Departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia de São Carlos) e dos pesquisadores associados MSc. Aurenice da Cruz Figueira, Mestrando Miguel Andrés Castillo e Mestranda Ana Luisa Martins Torres.

8. Referências Bibliográficas

Allen, R.W. *et al* (2011). *A Short History of Driving Simulator*. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Flórida, EUA.

Bella, F. (2005). *Verification of the Coordination of Horizontal Alignment and Profile at The Driving Simulator*. 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, EUA, 29 jun-1º jul, 2005.

Benedetto, C., De Blasiis, M., and Benedetto, A. (2002) *A Driving Simulator Based Integrated Approach for Road Geometry Validation: An Assessment of the Road Safety Standards*. Applications of Advanced Technologies in Transportation (2002): pp. 696-703.

Boyle, L. N. (2011). *Analytical Tools*. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Flórida, EUA.

Callisperis, O. J. T. (2003) CAD para Rodovias: O Impacto das Modelagens Digitais do Terreno e do Projeto. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP, 2003.

CNT (2009). *Boletim Estatístico CNT – 2009*. Confederação Nacional do Transporte. Pesquisa Rodoviária 2006; 155 p.

Cox, R. (2005). Visualization – *Why It Should Now Be a Basic Tool for Geometric Road Design*. 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, EUA, 29 jun-1º jul, 2005.

Dawson, J. D. (2011). *Statistical Concepts*. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Flórida, EUA.

Dong, Y. (2006). *A Visualization Experience of the Northern Illinois Planning Commission. University of Delaware*. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 outubro, Denver, Colorado, EUA.

Doug Eberhard, D., Gilson, K., Brinckerhoff, P. (2006). *Advanced 3D/4D Modeling and Real-time Visualization in Transportation*. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 outubro, Denver, Colorado, EUA.

FENABRAVE (2009). *Semestral de Veículos Automotores no Brasil*. http://www.tela.com.br/dados_mercado/Anual%20e%20Semestral/semestral2009.pdf

Figueira, A. da C. (2012). *O Uso de Ferramentas de Visualização Tridimensional na Detecção de Deficiências em Projetos Geométricos de Vias*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP, 2012.

Fischer, M.; Eriksson, L. (2012). Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), (Sweden) Evaluation of methods for measuring speed perception in a driving simulator. Driving Simulation Conference 2012 – Europe. Paris, França.

Freitas, G. C. (2009). *Método de Avaliação da Compatibilidade de Tráfego de Caminhões com a Geometria das Vias Urbanas*. Relatório de Iniciação Científica. Engenharia de Transportes, EESC/USP.

Greenberg, J. & Bloomer, M. (2011). *Physical Fidelity of Driving Simulators*. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Flórida, EUA.

Han, K.; Middleton, D.; Muzyczka, W.J.; Minty, S.; Clayton, A. (2005). *Developing Virtual Reality Visualizations to Support Highway Geometric Design*. 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, EUA, 29 jun-1º jul, 2005.

Hughes, R. G.; Ph.D. Schroeder, B. (2006). *3D Visualization and Micro-Simulation Applied to the Identification and Evaluation of Geometric and Operational 'Solutions' for Improving Visually Impaired Pedestrian Access to Roundabouts and Channelized Turn Lanes*. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 outubro, Denver, Colorado, EUA.

Jamson, H. (2011). *Cross-platform Validation Issues*. *Handbook of Driving Simulation For*

Engineering, Medicine and Psychology. CRC Press. Boca Raton, Flórida, EUA.

Kearney, J.K & Grechkin, T.F. (2011). *Scenario Authoring*. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Flórida, EUA.

Kemeny A., Panerai F., Toffin D., Paillé D., Fadel K. (2006). *Eye movement patterns in nightime driving Simulation: conventionnel and swivelling head lights*. Ingénieurs de l'Automobile, 786, janv-févr, pp.55-58

Kuhn, W. (2006). *Using Visualization for the Design Process of Rural Roads*. Universidade de Leipzig, Alemanha. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 outubro, Denver, Colorado, EUA.

Lucas, F. R., Russo, L. E. A., Kawashima, R. S., Figueira, A. da .C., Larocca, A.P.C., Kabbach Jr. F. I.(2013). *Uso de simuladores de direção aplicado ao projeto de segurança viária*. Boletim de Ciências Geodésicas; v. 19, n. 2 (2013).

Manore, M. A. *Visualization in Transportation* (2007). *Transportation Research News*. 252 set.-out., 2007.

Matos, E. S. (2012). *Estudo da Influência do Posicionamento de Barreiras Rígidas Centrais na Visibilidade de Projeto em Rodovias de Pista Dupla*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP, 2012.

Mullen, N. *et al* (2011). *Simulator Validity: Behaviors Observed on the Simulator and on the Road*. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Flórida, EUA.

Oliver, J. (2012). *Driving simulation applications in immersive environments*. Driving Simulation Conference 2012 – Europe. Paris, França.

Pack, M. (2006). *A Four-D, Real-Time, Transportation Visualization System*. Center for Advanced Transportation Technology, University of Maryland-College Park. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 outubro, Denver, Colorado, EUA.

Pack, M. L., Weisberg, L., Sujal, S. (2005). *Four-Dimensional Interactive Visualization System for Transportation Management and Traveler Information*. *Journal of the Transportation Research Board*. V. 1937, 2005.

Pereira Neto, W. A. (2007). *Análise de fatores intervenientes nas características dimensionais de segmentos rodoviários sob a ótica da compatibilidade veículo-via*. 190 p. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Ranney, T. A. (2011). *Psychological Fidelity: Perception of Risk*. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Flórida, EUA.

Road Safety Fund. *UN Decade of Action for Road Safety 2011-2020*. http://www.roadsafetyfund.org/UnDecadeOfAction/Pages/default.aspx

Santiago-Chaparro, K. ;Deamico, M. ; Bill, A. ; CHITTURI, M. ; Noyce, D. (2011). *Virtual Road Safety Audits Using Driving Simulators: A Framework*. 3rd International Conference on Road Safety and Simulation. Indianápolis, Indiana, EUA.

Schwarz, C.W. (2011). *Validating Vehicle Models*. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Flórida, EUA.

Suzuki, C.; Alves, C.; Kabbach Junior, F. I. (2004). *Métodos para a avaliação da consistência de traçado de rodovias com duas faixas de tráfego*. Revista DER - 70 anos. Engenharia 2004.

Taylor, M. (2006). *Visualization in Design/Build and Design/Bid/Build Project Environments*. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 outubro, Denver, Colorado, EUA.

Williams, B. (2006). *Visualization and Practices for Corridor Planning. Federal Highway Administration. Center for Advanced Transportation Technology, University of Maryland-College Park*. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 outubro, Denver, Colorado, EUA.

2

Ferramentas para reconhecimento de fatores causais de acidentes de trânsito

Estudo de caso no Brasil

Denise Martins Chagas[8]

[8]Mestre em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Doutorado em andamento pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Brasil.

1. Introdução, contexto geral no país e descrição do problema

A segurança viária é uma questão que demanda uma abordagem sistêmica. A melhoria da segurança viária é sempre um desafio, principalmente em países de baixa e média renda, nos quais persiste a falta de dados locais e é limitada a capacidade para monitorar e avaliar projetos voltados para essa ação. Muito ainda precisa ser feito para fortalecer as atividades de coleta de dados, análise e tomada de decisões sobre a segurança rodoviária (United Nations, 2011).

A rápida urbanização e a concomitante motorização nos países em desenvolvimento contribuíram para o crescimento do número de acidentes de trânsito, o que não se fez acompanhar de uma engenharia apropriada e programas de sensibilização, educação, prevenção de riscos e repressão dos abusos. Diante da magnitude do problema, a atuação do setor tem sido tímida e pouco eficaz. Atualmente, a maioria das respostas dadas aos problemas do trânsito tem incidido mais na mudança de comportamento, em detrimento da construção de um ambiente viário seguro para o tráfego de veículos e de pessoas (Souza et al, 2007).

As cidades brasileiras, em sua grande maioria, vêm enfrentando dificuldades na gestão pública, usualmente oriundas de falta de planejamento. O Código de Trânsito Brasileiro (Brasil, 2008) estabelece que compete aos órgãos e entidades responsáveis pelo trânsito "coletar dados estatísticos e elaborar estudos sobre os acidentes de trânsito e suas causas". Nesse sentido, bancos de dados adequadamente estruturados podem ser de grande utilidade para as organizações, privadas ou governamentais, que se disponham a lidar com o problema dos acidentes de trânsito de maneira nova, eficaz, responsável e fundamentada na informação (Mantovani e Raia Jr., 2006).

A municipalização do trânsito estabelecida pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB) determina que os municípios assumam integralmente a gestão do trânsito, realizando, além de outras atribuições, o levantamento, análise e controle estatístico dos acidentes de trânsito. No Brasil, valoriza-se pouco a coleta, tabulação, processamento, análise e a utilização de dados (Ministério de Justiça/DENATRAN, 2000). O país continua em fase de transição, e muitos municípios ainda não estão integrados ao Sistema Nacional de Trânsito.

Diversas são as razões para a carência de dados sobre acidentes de trânsito no Brasil, entre elas a falta de técnicas e ferramentas estabelecidas e validadas para a coleta de dados. Vale ressaltar que essa é uma das diversas atribuições dos municípios associadas à gestão do trânsito e que a capacitação de pessoas no domínio dessas ferramentas em cada município é peça fundamental para o acesso a dados relevantes e qualificados.

A estatística de acidentes de trânsito utilizada para a gestão da segurança viária, em sua grande maioria, tem como fonte de informação os Boletins de Ocorrência da Polícia (BO). Esses registros têm foco jurídico, ou seja, buscam identificar os responsáveis pelo acidente. Portanto, os dados disponíveis carecem de informações que auxiliem na identificação das falhas do sistema de transporte, sejam elas humanas, viárias ou veiculares, que, se corrigidas, permitiriam a melhoria da Segurança Viária.

2. Objetivos do estudo

O Brasil está entre os países com maior número de acidentes de trânsito no mundo. Em 2010 o país passou a integrar o Road Safety in 10 Countries Project (Projeto RS10), uma iniciativa da United Nations Road Safety Collaboration, composta por parceiros como a EMBARQ, GRSP, ASIRT, Johns Hopkins University, Banco Mundial e OMS, financiada pela Bloomberg Philanthropies. No Brasil foram escolhidas cinco capitais de estado para receber o suporte técnico e recursos para implementar boas práticas na segurança viária.

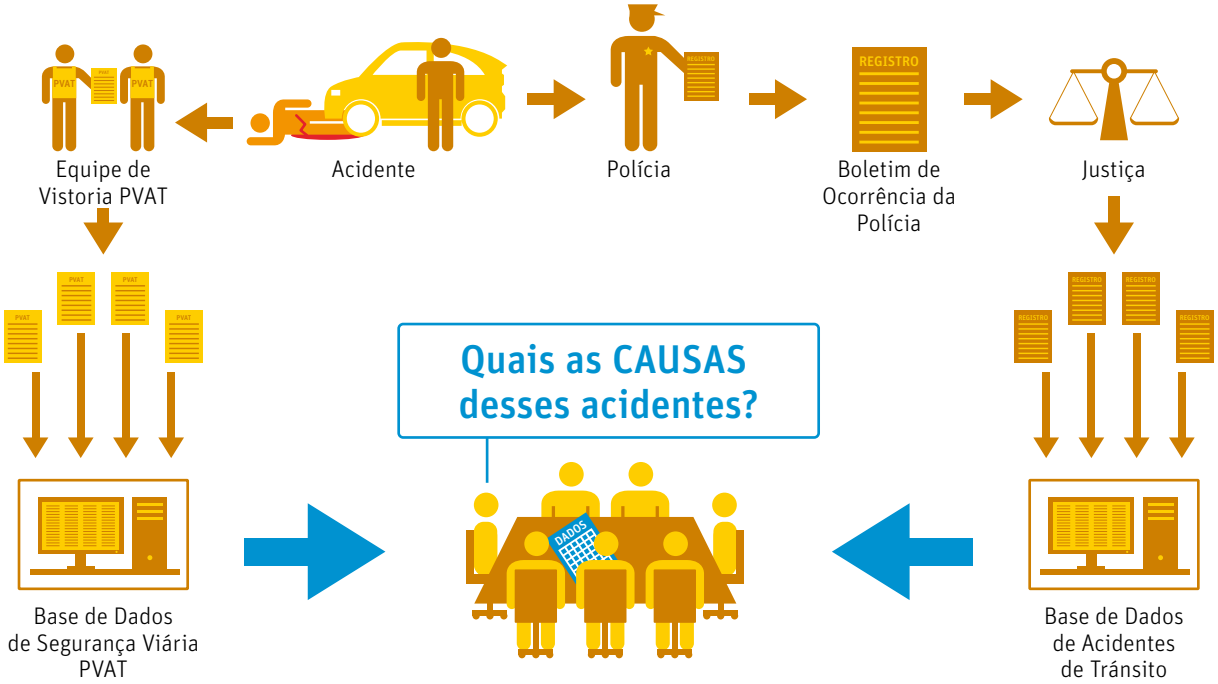


Figura 1: Relação entre as atividades e ferramentas de vistoria e origem dos dados disponíveis.

Fonte: elaborado pelo autor

Belo Horizonte é uma das cidades que participam do Projeto RS10, chamado no Brasil de "Projeto Vida no Trânsito". A gestão de transportes do município é realizada pela Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte (BHTRANS), que além das atividades propostas pelo Projeto Vida no Trânsito iniciou em 2010 o "Projeto Vistoria de Acidentes de Trânsito" (PVAT). Esse projeto da BHTRANS tem como objetivo coletar informações sobre acidentes com pedestres e motociclistas para: (i) reconhecer suas causas principais e (ii) adotar ações mitigatórias eficientes.

O interesse da BHTRANS em reconhecer as causas dos acidentes de trânsito viabilizou a oportunidade de geração do formulário e manual que fazem parte deste estudo de caso e do desenvolvimento das atividades nele descritas. O formulário e o manual foram elaborados no âmbito da pesquisa de doutorado no LASTRAN/UFRGS, e sua aplicação em Belo Horizonte foi realizada com o apoio da EMBARQ Brasil.

Este estudo de caso aborda o trabalho desenvolvido pelo LASTRAN/UFRGS e EMBARQ Brasil no âmbito do PVAT da BHTRANS com o objetivo de: (i) apresentar um trabalho voltado para o desenvolvimento de uma ferramenta de coleta de dados sobre acidentes de trânsito para reconhecimento de fatores causais e (ii) demonstrar a importância da formação de parcerias para o desenvolvimento e qualificação das atividades relacionadas à segurança rodoviária.

Assim, criou-se um pacote de ferramentas, composto de formulário, manual, atividades de treinamento e avaliação, com o objetivo de permitir o reconhecimento das causas de acidentes de trânsito. A proposta do trabalho de vistoria é investigar as causas dos acidentes mediante a observação do local e dos veículos; entrevista com os envolvidos e testemunhas; e registro de fatores que contribuíram para a ocorrência do acidente. Ao compreender como cada um deles poderia ter sido evitado, será possível estabelecer a melhor forma de preveni-los. A Figura 1 posiciona a vistoria de acidentes e o pacote de ferramentas desenvolvidas pelo LASTRAN/UFRGS e EMBARQ Brasil com base nos dados disponíveis sobre acidentes de trânsito.

A vistoria se propõe a registrar informações voláteis presentes na cena do acidente que, após a remoção dos veículos e envolvidos, dificilmente seriam recuperadas. Esse trabalho não realiza medições ou recolhe material para exame, mas se baseia na observação e em entrevistas. Dessa forma o trabalho proposto acessa e processa informações e causas de cada acidente de forma rápida, sem interferência no trabalho de resgate das vítimas, no tempo de liberação da via ou na remoção dos veículos.

Para atingir o objetivo de reduzir acidentes e mortes no trânsito, as empresas de gestão municipal de transportes necessitam de ferramentas e técnicas que as auxiliem nessa difícil tarefa. Coletar dados sobre acidentes tem se tornado uma demanda necessária, visto que o acesso a essas informações nem sempre é satisfatório, tanto pelo tempo de seu processamento quanto pela ausência de elementos que auxiliem na compreensão das causas dos acidentes de trânsito. Dessa forma, justifica-se o esforço para desenvolvimento de ferramentas e técnicas de coleta de informações, adaptadas ao Brasil, que forneçam dados complementares que auxiliem na busca da redução de acidentes e mortes no trânsito.

3. Aplicação prática

A forma de registro dos acidentes proposta por esse pacote de ferramentas é uma iniciativa inovadora. O registro de informações sobre acidentes demanda a formação de uma equipe que monitore os chamados de atendimento de urgência e se desloque imediatamente até o local do acidente. Os resultados obtidos fornecem uma amostra de dados que permitem aprimorar os trabalhos de coleta e o planejamento de formas de ação futuras.

As vistorias são realizadas em duplas, para assegurar agilidade ao processo de coleta de dados. A cena de acidentes com vítimas não mortais se desfaz rapidamente, o tempo de coleta de informações por acidente mediante o uso do formulário é cerca de 15 minutos. Para que as vistorias possam abranger a totalidade dos acidentes, no futuro será necessário distribuir diversas equipes em locais estratégicos de forma a permitir acesso ao local dos acidentes em tempo hábil. O preparo das equipes de vistoria é de vital importância para que as informações registradas sejam imparciais.

4. Pilares da Década de ação para a segurança rodoviária 2011-2020 diretamente relacionados ao presente estudo

A Assembleia Geral das Nações Unidas proclamou para o período entre os anos de 2011 e 2020 a Década de Ação para a Segurança Viária, mediante a resolução 64/255 de março de 2010, com o propósito de "estabilizar e posteriormente reduzir o número de vítimas de morte em acidentes de trânsito em todo o mundo, intensificando ações no âmbito nacional, regional e mundial".

As ações previstas na abordagem da problemática da segurança viária durante essa década se assentam em cinco pilares principais, que são: (i) Gestão da segurança viária; (ii) Infraestrutura mais segura e mobilidade; (iii) Veículos mais seguros; (iv) Usuários mais seguros e (v) Atendimento às vítimas. O presente estudo está alinhado com o pilar i) por ele apresentar ferramentas para registrar informações com foco na segurança viária. Essas ferramentas oferecem a oportunidade da coleta de dados em maior profundidade, assim como o reconhecimento das circunstâncias e causas dos acidentes de trânsito. Os dados sobre acidentes de trânsito são fundamentais para o planejamento, assim como para o monitoramento e avaliação das ações de prevenção. Este estudo também demonstra a importância da realização de parcerias para o favorecimento de um trabalho com maior potencialidade para a redução dos acidentes de trânsito.

5. Público alvo

No Brasil os dados do Ministério da Saúde (2013) indicam um crescimento de 44% no número de mortes no trânsito entre 2001 e 2011, com cerca de 44.553 óbitos em 2011. Dessas mortes, 49,7% são de usuá-

rios vulneráveis: pedestres, ciclistas e motociclistas. Vale observar que nem sempre os registros do Ministério da Saúde reconhecem a causa de morte como acidente de trânsito, visto que eles dependem da disponibilidade do histórico das vítimas. Assim, os números apresentados podem ser ainda maiores.

No município de Belo Horizonte, de acordo com dados do Ministério da Saúde, 75% das mortes por acidente de trânsito em 2011 foram de usuários vulneráveis. Em 2011, um total de 228 pedestres, ciclistas e motociclistas perderam a vida no trânsito, com uma média de 19 mortes por mês.

6. Metodologia empregada no estudo

O estudo de caso apresentado descreve as etapas empreendidas no desenvolvimento de uma ferramenta para o registro dos acidentes de trânsito vistoriados pelo PVAT da BHTRANS. O PVAT demandou diversas ações, tais como a realização de um convênio com o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU), a definição dos equipamentos necessários para o trabalho, a definição de critérios para atendimento nas vistorias, a formação da equipe de vistoria e o desenvolvimento das ferramentas de coleta de dados para reconhecimento das causas de acidentes de trânsito.

O pacote de ferramentas desenvolvido pelo LASTRAN/UFRGS e EMBARQ Brasil permitiu: (i) a elaboração de um formulário de coleta de dados adaptado ao Brasil, baseado nas melhores práticas internacionais; (ii) a evolução do formulário por meio da aplicação de pesquisas piloto, com adequação das questões às necessidades do país; (iii) a realização de treinamento da equipe de vistoria, visando obter qualidade na coleta dos dados; (iv) a realização de um workshop, com a inclusão de pessoal de outras áreas da BHTRANS, a fim de difundir, avaliar e aprimorar as ferramentas desenvolvidas; (v) a formação de uma base de dados para permitir a análise dos acidentes e a avaliação do trabalho desenvolvido.

Inicialmente foram analisados os formulários que estavam sendo desenvolvidos e utilizados em caráter piloto pela BHTRANS. A princípio o estudo das causas de acidentes seria realizado com o auxílio de uma lista de fatores coadjuvantes desenvolvida na UFRGS (Chagas, 2011; Chagas, Nodari e Lindau, 2012) para complementar os dados coletados pela BHTRANS. Optou-se pela elaboração de um novo formulário, num formato adequado à formação de uma base de dados.

Para desenvolver o pacote de ferramentas, composto de um formulário, manual, atividades de treinamento e avaliação desse conjunto, foram necessárias as seguintes ações:

1) Revisão bibliográfica e pesquisa sobre registros de acidentes de trânsito em nível nacional e internacional. Pesquisando o conteúdo coletado pelos formulários, definições, objetivos da coleta dos dados, assim como a forma de aplicação e tabulação dos dados. Validação da listagem de fatores coadjuvantes de acidentes de trânsito desenvolvida para a pesquisa a ser feita no Brasil.
2) Definição das informações a registrar e o formato de cada campo. Sempre que possível, optou-se por questões com respostas fechadas. Para cada questão fechada foram listadas as respostas com as respectivas definições documentadas em separado no "Manual de Preenchimento do FVTA".
3) Organização das questões do formulário de modo a dispor as informações de maneira a aproveitar ao máximo a disponibilidade de espaço em papel no formato A4.
4) Desenvolvimento de um manual contendo as definições das respostas do formulário, com o objetivo de padronizar a coleta de dados, dando menor margem à interpretação de respostas. Esse material também é utilizado em treinamento e na orientação dos procedimentos de coleta de dados.
5. Revisão minuciosa do material desenvolvido, realizada em reuniões de trabalho.
6. Aplicação prática em versões de teste para aprimoramento do formulário e do manual.

7. Treinamento da equipe de vistoria.
8. Acompanhamento do trabalho de vistoria, dos procedimentos de observação e coleta de dados no local do acidente, do cuidado no preenchimento do formulário e na digitação dos dados na base.

O formulário e o manual foram desenvolvidos com base nas melhores práticas internacionais (DfT, 2011; OMS, 2012; Cherry et al, 2006; NHTSA, 2012; Texas Department of Transportation, 2008), de modo a permitir o registro das seguintes informações: local do acidente, características e circunstâncias; os veículos, características, manobras e consequências; pessoas envolvidas, sua participação no evento, características e gravidade. Para reconhecer as causas de acidentes foi utilizada a lista de fatores coadjuvantes de acidentes de trânsito validada pelo LASTRAN/UFRGS. O formulário (Figura 2) possui cinco páginas, contendo:

- Parte 1: Local do Acidente (Figura 5)
- Parte 2: Veículos (Figura 6)
- Parte 3: Envolvidos (Figura 7)
- Parte 4: Fatores Contribuintes (Figura 8)
- Parte 5: Diagrama e Descrição (Figura 9)

As imagens do formulário completo são apresentadas mais adiante.

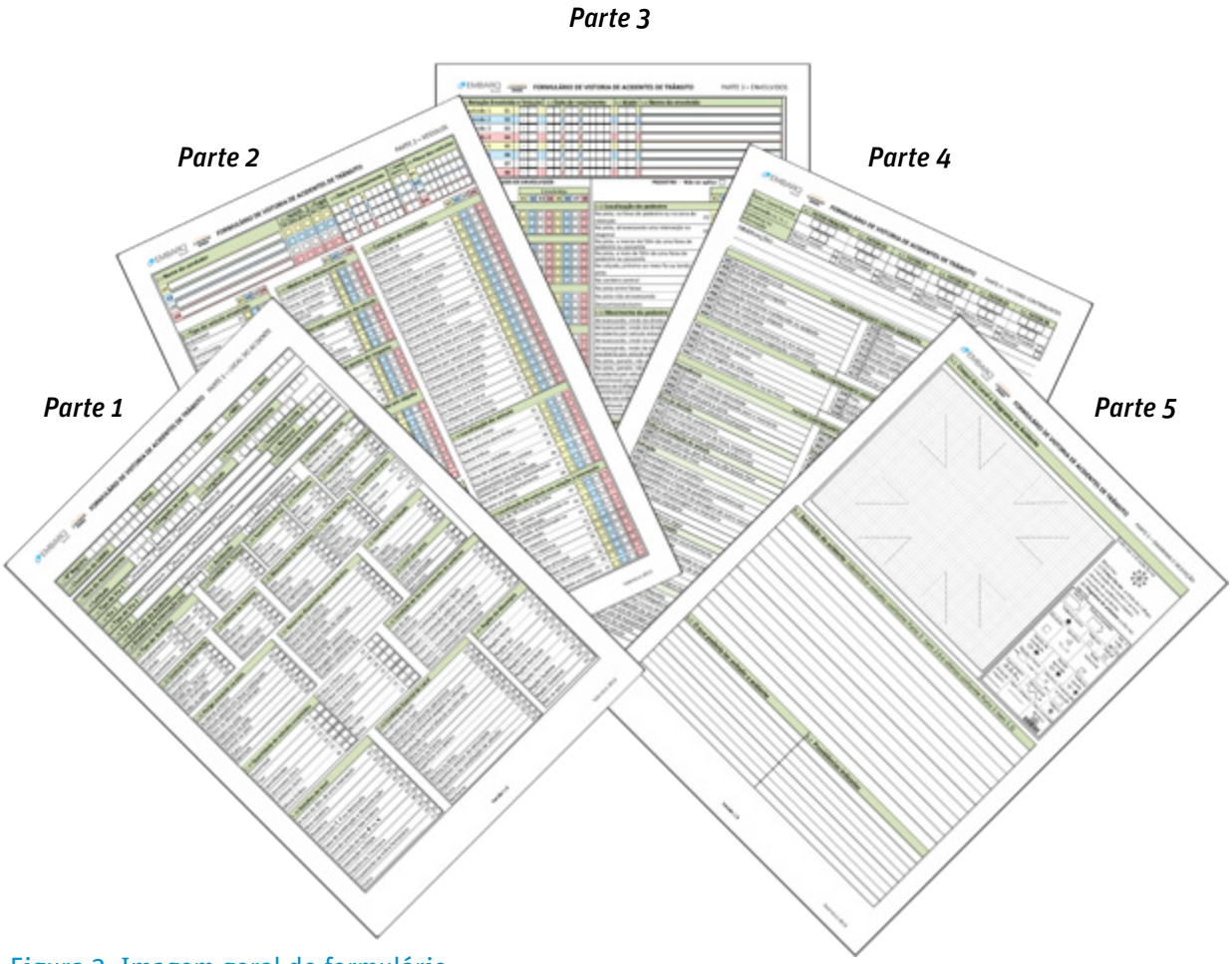


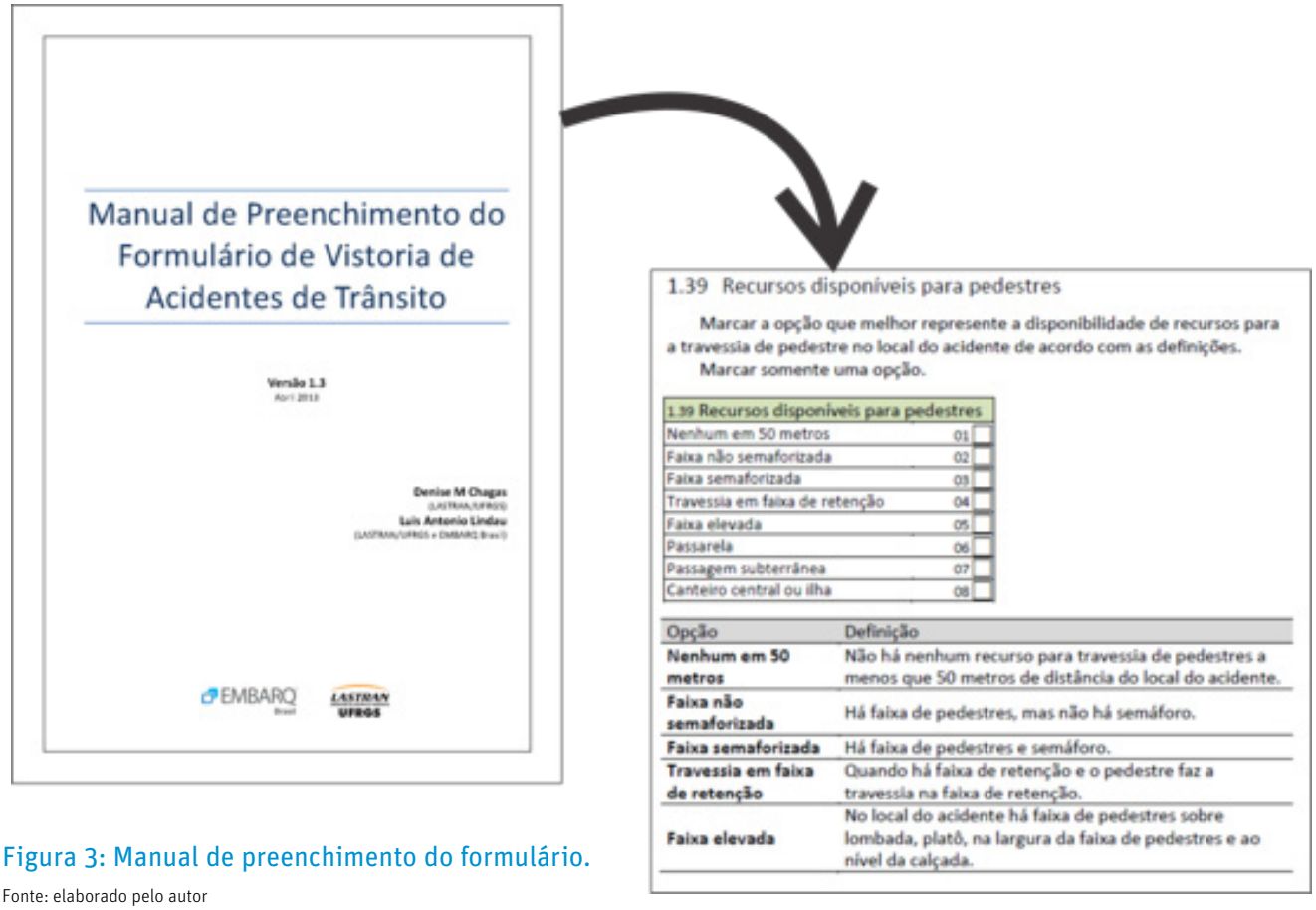
Figura 2: Imagem geral do formulário.

Fonte: elaborado pelo autor.

Esse formulário contém principalmente questões fechadas e não demandam muito tempo para preenchimento. O treinamento e conhecimento do material por parte das equipes de vistoria demonstraram que as informações podem ser coletadas com êxito. Vale ressaltar que o conteúdo do formulário está alinhado com o manual "Sistema de Dados" da Organização Mundial de Saúde (2012).

Complementa o formulário um manual que descreve o objetivo de cada campo, suas respostas, apresentando exemplos e, quando necessário, gravuras explicativas. O "Manual de Preenchimento do Formulário de Vistoria de Acidentes de Trânsito" (imagem 3) foi fundamental nas etapas de treinamento, no trabalho de desenvolvimento do formulário. A criação do manual simultaneamente ao formulário permitiu que cada item fosse revisado quanto ao seu objetivo e definição, justificando a presença de cada item no material.

As atividades de treinamento (Figura 4) e avaliação do processo de coleta de dados e do material desenvolvido são fundamentais. A consolidação das ferramentas de vistoria de acidentes destina-se principalmente à criação de uma cultura adequada de reconhecimento das causas de acidentes de trânsito.



Manual de Preenchimento do Formulário de Vistoria de Acidentes de Trânsito

Versão 1.3

Denise M Chagas

Luis Antonio Lindau

EMBARQ Brasil

LASTRAN UFRGS

1.39 Recursos disponíveis para pedestres

Marcar a opção que melhor represente a disponibilidade de recursos para a travessia de pedestre no local do acidente de acordo com as definições.

Marcar somente uma opção.

1.39 Recursos disponíveis para pedestres		
Nenhum em 50 metros	01	☐
Faixa não semaforizada	02	☐
Faixa semaforizada	03	☐
Travessia em faixa de retenção	04	☐
Faixa elevada	05	☐
Passarela	06	☐
Passagem subterrânea	07	☐
Canteiro central ou ilha	08	☐

Opção	Definição
Nenhum em 50 metros	Não há nenhum recurso para travessia de pedestres a menos que 50 metros de distância do local do acidente.
Faixa não semaforizada	Há faixa de pedestres, mas não há semáforo.
Faixa semaforizada	Há faixa de pedestres e semáforo.
Travessia em faixa de retenção	Quando há faixa de retenção e o pedestre faz a travessia na faixa de retenção.
Faixa elevada	No local do acidente há faixa de pedestres sobre lombada, platô, na largura da faixa de pedestres e ao nível da calçada.

Figura 3: Manual de preenchimento do formulário.

Fonte: elaborado pelo autor

7. Resultados e avaliação do trabalho

O "Formulário de Vistoria de Acidentes de Transito" (FVAT) é uma ferramenta inovadora. Em geral, os registros de acidentes de trânsito no Brasil utilizam campos descritivos e não possuem uma padronização dos dados coletados. As características dos formulários de registro de acidentes não permitem que as informações sejam diretamente tabuladas e inseridas em uma base de dados. O FVAT possui campos delimitados e com respostas fechadas, que cobrem as necessidades dos registros de acidentes no Brasil. Essa ferramenta foi elaborada com a experiência de especialistas que conhecem em profundidade as características diferenciadas do sistema viário brasileiro.

O desenvolvimento do FVAT permitiu que o Projeto de Vistoria de Acidentes de Trânsito da BHTRANS realizasse a coleta de dados no mesmo nível das melhores práticas internacionais que identificam os fatores causais. As informações coletadas formam imediatamente uma base de dados que permite a análise dos acidentes e dos fatores que contribuíram para sua ocorrência. Acidentes registrados com maior nível de detalhamento podem também auxiliar no trabalho realizado pelo Projeto Vida no Trânsito, que deve fazer o reconhecimento das causas dos acidentes.

Durante o processo de desenvolvimento do formulário e do manual foram testadas versões eletrônicas para a coleta dos dados. Uma versão do formulário foi desenvolvida em formato PDF, em que se demonstra a potencialidade de adaptação

Figura 4: Atividades de treinamento.

Fonte: autor.

da coleta de dados a diversos equipamentos. O uso de tecnologia permite o cadastro ou envio das informações diretamente para a central de processamento de dados. O manual está disponível em versão para impressão no formato A5 ou em arquivo eletrônico em PDF.

O Projeto de Vistoria de Acidentes de Trânsito da BHTRANS já realizou mais de 600 vistorias, das quais 362 foram realizadas com o formulário desenvolvido pelo LASTRAN/UFRGS. O PVAT da BHTRANS continua realizando as vistorias, que fazem parte de projetos de gestão da informação da instituição.

O foco atual das pesquisas do LASTRAN/UFRGS em parceria com a BHTRANS está dirigido à análise dos dados e aprimoramento no treinamento das equipes de vistoria. Estabelecidas as ferramentas de coleta segundo a metodologia de vistoria dos acidentes, será fundamental elaborar relatórios para o monitoramento dos acidentes e das ações mitigadoras. Essa etapa está em processo de desenvolvimento e visa oferecer um pacote completo de ferramentas que permitirão o reconhecimento das causas de acidentes e o monitoramento dos padrões de acidente de trânsito.

A parceria entre as instituições foi fundamental no desenvolvimento do "Formulário de Vistoria de Acidentes de Trânsito" (FVAT), do "Manual de Preenchimento do Formulário de Vistoria de Acidentes de Trânsito", o estabelecimento dos procedimentos de vistoria dos acidentes e a análise dos dados coletados. Uma instituição de pesquisa como a UFRGS, por intermédio do Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN) e de uma empresa de gestão de transportes como a BHTRANS, dificilmente teriam o mesmo êxito se não trabalhassem em cooperação. O elo fundamental nessa ligação foi o trabalho realizado pela EMBARQ Brasil, que atua de forma eficiente ao oferecer suporte técnico e acesso a boas práticas de segurança viária.

As empresas de gestão de transportes municipais no Brasil exercem inúmeras funções, estando a segurança viária inserida em diversas de suas atividades. A segurança viária tem uma característica intersetorial, e muitas vezes por essa razão ela acaba não recebendo a dedicação e atenção necessárias. Em geral não há um grupo específico de pessoas dentro das empresas para tratar somente das questões de segurança. O Projeto de Vistoria de Acidentes de Trânsito da BHTRANS não é a única função exercida pela equipe envolvida no presente projeto, e nesse aspecto a criação de uma parceria com uma instituição de pesquisa como a UFRGS foi uma iniciativa que muito contribuiu para seu sucesso.

A elaboração do formulário, as atividades de treinamento, as reuniões e o workshop realizado tiveram o suporte da EMBARQ Brasil. O material e os procedimentos foram desenvolvidos com o sentido de sua aplicação em território brasileiro, não sendo específico para o registro de acidentes com usuários vulneráveis ou para o ambiente urbano. Foi tudo planejado para aplicação irrestrita em acidentes de trânsito.

O formulário também foi utilizado em pesquisa piloto na cidade do Rio de Janeiro, pela Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro (CET-Rio). A necessidade de coleta de dados e a carência de ferramentas elaboradas especificamente para reconhecimento das causas dos acidentes abriram novas possibilidades de aplicação e teste do material. O trabalho preparatório dessa pesquisa piloto, que consistiu em reuniões e treinamento da equipe, muito contribuiu para a elaboração do formulário e do manual. A segunda aplicação da pesquisa piloto demonstra a potencialidade da realização de vistorias em diferentes cidades brasileiras.

Este estudo relata a elaboração de uma ferramenta de coleta de dados de acidentes de trânsito com foco em segurança rodoviária. O formulário, manual e procedimentos para vistoria de acidentes foram pensados de maneira a permitir o reconhecimento das causas dos acidentes e a coleta de informações sobre as circunstâncias em que os

eventos ocorreram. Essas ferramentas, em caso de utilização em todo o território nacional, oferecem a oportunidade de reconhecimento das particularidades de cada localidade, assim como a possibilidade de comparação entre elas. Visto que os bancos de dados sobre acidentes no Brasil, quando existentes, não possuem as mesmas características, também há oportunidade de comparação de informações.

Agradecimentos: A autora agradece ao CNPq o apoio financeiro às pesquisas e ao LASTRAN, EMBARQ Brasil, BHTRANS e CET-Rio pelo apoio e empenho que tornaram possível a realização deste trabalho.

Formulário de vistoria de acidentes de trânsito

EMBARQ Brasil — LASTRAN UFRGS

FORMULÁRIO DE VISTORIA DE ACIDENTES DE TRÂNSITO PARTE 1 – LOCAL DO ACIDENTE

1.1 Nº Registro | 1.2 Resp. | 1.3 Dia | 1.4 Mês | 1.5 Ano
1.6 Chamado do SAMU

1.7 Hora do Acionamento | 1.8 Chegada ao Local | 1.9 Término do Atendimento
1.10 Latitude - . | 1.11 Longitude - .
1.12 Tipo de Via 1: ☐ Avenida 01 ☐ Rua 02 ☐ Rodovia 03 ☐ Outro 04 _____ | 1.13 Velocidade Limite 1
1.14 Via 1 | 1.15 Numeral
1.16 Tipo de Via 2: ☐ Avenida 01 ☐ Rua 02 ☐ Rodovia 03 ☐ Outro 04 _____ | 1.17 Velocidade Limite 2
1.18 Via 2

1.19 Gravidade do Acidente: ☐ Com Vítima 01 ☐ Fatal 02 ☐ Danos Materiais 03
1.20 Distância da Interseção (m) | 1.21 Ambiente: ☐ Urbano 01 ☐ Rural 02

1.26 Pistas e faixas da via
- Número de Pistas A
- Número de Faixas B

1.22 Tipo de Acidente
- Atropelamento 01 ☐ Choque 04 ☐
- Colisão 02 ☐ Queda 05 ☐
- Capotamento 03 ☐ Tombo 06 ☐

1.23 Condição do Tempo
- Bom 01 ☐
- Chuva 02 ☐
- Neblina 03 ☐
- Outro _____ 04 ☐

1.24 Superfície da Via
- Seca 01 ☐
- Molhada 02 ☐
- Inundada 03 ☐

1.25 Pavimento
- Bom 01 ☐
- Irregular 02 ☐
- Ruim 03 ☐

1.27 Inclinação da Via (Greide)
- Plana/Leve (0-3%) 01 ☐
- Média (4-7%) 02 ☐
- Forte (>7%) 03 ☐

1.28 Controle da Interseção
- Sinalizada por fiscal 01 ☐
- Semáforo 02 ☐
- PARE ou "Dê Pref." 03 ☐
- Sem Sinalização 04 ☐
- Não se aplica 05 ☐

1.29 Volume de Veículos
- Leve 01 ☐
- Moderado 02 ☐
- Intenso 03 ☐
- Congestionado 04 ☐
- Desconhecido 05 ☐

1.30 Movimento de Pedestres
- Leve 01 ☐
- Moderado 02 ☐
- Intenso 03 ☐
- Congestionado 04 ☐
- Desconhecido 05 ☐

1.31 Tipo de Pavim.
- Asfalto 01 ☐
- Poliédrico 02 ☐
- Pedra 03 ☐
- Concreto 04 ☐
- Sem Pavim. 05 ☐

1.32 Sentido da pista
- Mão única 01 ☐
- Mão dupla 02 ☐
- Outro _____ 03 ☐

1.33 Perigo presente na pista
- Acidente anterior 01 ☐
- Veículo parado em local inadequado 02 ☐
- Obra ou desvio mal sinalizado 03 ☐
- Objeto na pista 04 ☐
- Pedestre na pista 05 ☐
- Animal na pista 06 ☐
- Outro _____ 07 ☐
- Nenhum 08 ☐

1.34 Recursos disponíveis para pedestres
- Nenhum em 50 metros 01 ☐
- Faixa não semaforizada 02 ☐
- Faixa semaforizada 03 ☐
- Travessia em faixa de retenção 04 ☐
- Faixa elevada 05 ☐
- Passarela de pedestres 06 ☐
- Passagem subterrânea 07 ☐
- Canteiro central ou ilha 08 ☐

1.35 Condição da Calçada
- Boa 01 ☐
- Irregular 02 ☐
- Obstruída 03 ☐
- Não há calçada 04 ☐

1.36 Local em curva
- Curva aberta 01 ☐
- Curva acentuada 02 ☐
- Sem curva 03 ☐

1.37 Quantidade de veículos envolvidos
- Automóvel 01 ☐☐
- Taxi 02 ☐☐
- Caminhonete 03 ☐☐
- Camioneta (Van) 04 ☐☐
- Utilitário (SUV) 05 ☐☐
- Micro-ônibus 06 ☐☐
- Ônibus Urbano 07 ☐☐
- Ônibus Interurbano 08 ☐☐
- Ônibus Articulado 09 ☐☐
- Caminhão 10 ☐☐
- Moto 11 ☐☐
- Bicicleta 12 ☐☐
- Outro 13 ☐☐

1.38 Condição de luz no momento do acidente
- Luz do dia 01 ☐
- Crepúsculo 02 ☐
- Escuro – iluminação pública ligada 03 ☐
- Escuro – iluminação pública insuficiente 04 ☐
- Escuro – iluminação pública desligada 05 ☐
- Escuro – iluminação pública ausente 06 ☐
- Escuro – iluminação desconhecida 07 ☐

1.39 Detalhes do local
- A mais de 20m de uma interseção 01 ☐
- Mini-rotatória 02 ☐
- Rotatória 03 ☐
- Interseção T, Y ou deslocada 04 ☐
- Faixa de aceleração e desaceleração 05 ☐
- Usando acesso a lote lindeiro 06 ☐
- Interseção do tipo + ou × 07 ☐
- Interseção múltipla 08 ☐
- Viaduto ou Trincheira 09 ☐
- Cruzamento de trilho ferroviário 10 ☐
- Outro _____ 11 ☐

1.40 Condição Especial do Local
- Semáforo desligado 01 ☐
- Semáforo em flash 02 ☐
- Semáforo parcialmente operacional 03 ☐
- Sinalização horizontal apagada ou faltando 04 ☐
- Sinalização vertical faltando ou obstruída 05 ☐
- Obra na via 06 ☐
- Desvio ou Evento 07 ☐
- Superfície com defeito 08 ☐
- Óleo 09 ☐
- Detritos ou Areia 10 ☐
- Dispositivo redutor de velocidade 11 ☐
- Dispositivo de canalização de veículos 12 ☐
- Outra _____ 13 ☐
- Nenhuma 14 ☐

1.41 Região do Município
- Área Central 01 ☐
- Região Norte 02 ☐
- Região Sul 03 ☐
- Região Leste 04 ☐
- Região Oeste 05 ☐
- Região Nordeste 06 ☐
- Região Noroeste 07 ☐
- Região Sudeste 08 ☐
- Região Sudoeste 09 ☐
- Não se aplica 10 ☐

Versão 1.4 Setembro 2013

Figura 5: Local de Acidente

Fonte: EMBARQ Brasil e LASTRAN - UFRGS

EMBARQ Brasil — LASTRAN UFRGS

FORMULÁRIO DE VISTORIA DE ACIDENTES DE TRÂNSITO — PARTE 2 – VEÍCULOS

2.1 Nome do condutor	2.2 Habilit. Sim	Não	Desc.	2.3 Fuga Sim	Não	2.4 Data de nascimento	2.5 Idade (aprox.)	2.6 Placa dos veículos
C1						/ /		V1
C2						/ /		V2
C3						/ /		V3
C4						/ /		V4

2.7 Tipo do veículo envolvido		V1	V2	V3	V4
Automóvel	01				
Taxi	02				
Caminhonete	03				
Camioneta (Van)	04				
Utilitário (SUV)	05				
Micro-ônibus	06				
Ônibus Urbano	07				
Ônibus Interurbano	08				
Ônibus Articulado	09				
Caminhão	10				
Moto	11				
Bicicleta	12				
Outro	13				

2.8 Núm. de Ocupantes					

2.9 Choque com objeto na via		V1	V2	V3	V4
Não houve	01				
Acidente anterior	02				
Obra na via	03				
Veículo parado em local não apropriado	04				
Viaduto/pórtico (teto)	05				
Viaduto/pórtico (lateral)	06				
Barreira/Gradil/Defensa	07				
Porta de veículo aberta	08				
Canteiro ou rotatória	09				
Meio fio	10				
Caçamba de entulho	11				
Outro	12				
Animal	13				

2.10 Motivo do deslocamento		V1	V2	V3	V4
Trabalho em transp.	01				
Transp. p/trabalho	02				
Transp. p/escola	03				
Outro ou desconhecido	04				

2.11 Derrapagem/desvio do veículo					
Não houve	01				
Derrapou	02				
Derrapou e capotou/tombou	03				
Capotou/tombou	04				

2.12 Primeiro ponto de impacto					
Não houve	01				
Frente	02				
Traseira	03				
Lado esquerdo	04				
Lado direito	05				

2.13 Primeiro impacto em objeto fora da pista					
Não houve	01				
Sinalização vertical ou semáforo	02				
Poste	03				
Árvore	04				
Parada de ônibus	05				
Barreira	06				
Vala	07				
Construção ou muro	08				
Outro	09				

2.14 Direção de deslocam.	DE	PARA
V1		
V2		
V3		
V4		

Exemplo: Veículo indo de N para S

	DE	PARA
V1	/	S

Veículo parado registrar (00)

2.15 Primeiro contato entre veículos		
V1		
V2		
V3		
V4		

2.16 Veículo saiu da pista de circulação normal		V1	V2	V3	V4
Não saiu da pista	01				
Saiu da pista para o lado direito	02				
Saiu da pista para o lado direito e voltou	03				
Saiu da pista passando direto pela interseção	04				
Saiu da pista para a esquerda, ficou na área ou canteiro central	05				
Saiu da pista para a esquerda, área ou canteiro central, e voltou	06				
Saiu da pista para a esquerda, e cruzou para o outro lado	07				
Saiu da pista para o lado esquerdo	08				
Saiu da pista para o lado esquerdo e voltou	09				

2.17 Condição de circulação		V1	V2	V3	V4
Andando de ré	01				
Estacionando	02				
Parado ou estacionado	03				
Entrando na via	04				
Esperando p/seguir em frente	05				
Desacelerando ou parando	06				
Arrancando (partindo)	07				
Fazendo retorno em U	08				
Conversão à esquerda	09				
Esperando para virar à esquerda	10				
Conversão à direita	11				
Esperando para virar à direita	12				
Mudando de faixa para a esquerda	13				
Mudando de faixa para a direita	14				
Passando por veículo parado	15				
Ultrapassando pela esquerda	16				
Ultrapassando pela direita	17				
Fazendo curva à esquerda	18				
Fazendo curva à direita	19				
Em frente, sem curva	20				
Trafegando entre faixas	21				
Andando na contramão	22				

2.18 Localização do veículo					
Faixa de uso misto	01				
Faixa exclusiva para ônibus	02				
Sobre trilhos	03				
Ciclovia ou ciclofaixa	04				
Área de pedestres ou ciclistas	05				
Parado junto ao meio fio, acostamento ou estacionado	06				
Deixando o meio fio, acostamento ou área de estacionamento	07				
Sobre a calçada	08				

2.19 Localização do veículo em relação à interseção					
A mais de 20 metros de uma interseção	01				
Chegando, parado, estacionado na entrada da interseção	02				
Saindo, parado, estacionado na saída da interseção	03				
Saindo da rotatória	04				
Entrando na rotatória	05				
Saindo da via principal	06				
Entrando na via principal	07				
Entrando por faixa de aceleração	08				
Saindo por faixa de desaceleração	09				
No meio da interseção ou rotatória	10				

Versão 1.4 — Setembro 2013

Figura 6: Veículos

Fonte: EMBARQ Brasil e LASTRAN - UFRGS

EMBARQ Brasil — LASTRAN UFRGS

FORMULÁRIO DE VISTORIA DE ACIDENTES DE TRÂNSITO — PARTE 3 – ENVOLVIDOS

3.1 Relação Envolvido e Veículo		3.2 Data de nascimento	3.3 Idade	3.4 Nome do envolvido
Envolvido 1	E1	/ /		
Envolvido 2	E2	/ /		
Envolvido 3	E3	/ /		
Envolvido 4	E4	/ /		
Envolvido 5	E5	/ /		
Envolvido 6	E6	/ /		
Envolvido 7	E7	/ /		
Envolvido 8	E8	/ /		

TODOS OS ENVOLVIDOS

		Envolvidos							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
3.5 Sexo do envolvido									
Feminino	01								
Masculino	02								
Desconhecido	03								
3.6 Gravidade									
Leve	01								
Grave	02								
Fatal	03								
Ileso	04								
Desconhecido	05								
3.7 Classe do envolvido									
Condutor	01								
Passageiro	02								
Pedestre	03								
Trabalhador na Via	04								
3.8 Passageiro Auto/Taxi/Veículos de carga									
Banco dianteiro	01								
Banco traseiro	02								
Bagageiro ou Carga	03								
Não se aplica	04								
3.9 Passageiro Ônibus/Micro									
Embarcando	01								
Desembarcando	02								
Em pé	03								
Sentado	04								
Superlotação	05								
Não se aplica	06								
3.10 Uso de Álcool ou Drogas									
Teste realizado	A								
Resultado positivo	B								
Sintomas/Indício	C								

Preencher para o item 3.10 com as seguintes opções:
1 = Não 2 = Sim 3 = Desconhecido

3.11 Equipamento de Segurança									
Capacete	A								
Cinto de segurança	B								
Cadeira infantil	C								
Desconhecido	D								
Não se aplica	E								

Preencher para o item 3.11, nas opções A, B ou C com as seguintes opções:
1 = Equipamento usado de forma adequada
2 = Equipamento usado de forma inadequada
3= Equipamento ausente ou não utilizado

PEDESTRE - Não se aplica ☐

		Envolvidos							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
3.12 Localização do pedestre									
Na pista, na faixa de pedestre ou na zona de retenção	01								
Na pista, atravessando uma interseção na diagonal	02								
Na pista, a menos de 50m de uma faixa de pedestre ou passarela	03								
Na pista, a mais de 50m de uma faixa de pedestre ou passarela	04								
Na calçada, próximo ao meio fio ou bordo da pista	05								
No canteiro central	06								
Na pista entre faixas	07								
Na pista não atravessando	08								
Desconhecido/outro	09								
3.13 Movimento do pedestre									
Atravessando, vindo da direita do condutor	01								
Atravessando, vindo da direita do condutor, encoberto por veículo estacionado ou parado	02								
Atravessando, vindo da esquerda do condutor	03								
Atravessando, vindo da esquerda do condutor, encoberto por veículo estacionado ou parado	04								
Na pista, parado, não atravessando	05								
Na pista, parado, não atravessando e encoberto por veículo estacionado ou parado	06								
Caminhando ao longo da via, em sentido oposto ao tráfego	07								
Caminhando ao longo da via, no mesmo sentido do tráfego	08								
Trabalhando na via	09								
Desconhecido/outro	10								
3.14 Motivo de deslocamento do pedestre									
Trabalho	01								
Estudo	02								
Compras	03								
Tratamento de Saúde	04								
Outros ou desconhecido _____	05								
3.15 Direção de deslocamento do pedestre									
De (origem)	01								
Para (destino)	02								

Pedestre parado (00)
Direção desconhecida (99)
Exemplo: **N para S**

	E1
De (origem)	1
Para (destino)	5

Versão 1.4 — Setembro 2013

Figura 7: Envolvidos

Fonte: EMBARQ Brasil e LASTRAN - UFRGS

EMBARQ Brasil — LASTRAN UFRGS

FORMULÁRIO DE VISTORIA DE ACIDENTES DE TRÂNSITO — PARTE 4 – FATORES CONTRIBUINTES

	4.1 FATOR PRINCIPAL	4.2 FATOR 02	4.3 FATOR 03	4.4 FATOR 04	4.5 FATOR 05	4.6 FATOR 06
Fator Contribuinte						
Envolvido (E1, E2...)						
Confiança na informação	Muito Provável ☐ Possível ☐	Muito Provável ☐ Possível ☐	Muito Provável ☐ Possível ☐	Muito Provável ☐ Possível ☐	Muito Provável ☐ Possível ☐	Muito Provável ☐ Possível ☐

OBSERVAÇÕES:.....

.....

.....

FATOR CONTRIBUINTE VIÁRIO-AMBIENTAL			
401	Animal ou objeto na via	410	Chuva
402	Acidente anterior	411	Nevoeiro
403	Superfície lisa, escorregadia	412	Iluminação pública insuficiente
404	Desvio temporário	413	Obras (na pista ou fora da pista)
405	Sinalização horizontal inadequada ou apagada	414	Semáforo (defeito, faltando)
406	Superfície molhada ou alagada	415	Areia, barro, sujeira, cascalho, lama
407	Redutor de velocidade	416	Óleo
408	Acostamento (sem acostamento ou em desnível)	417	Layout da via desfavorável/incompatível
409	Sinalização vertical oculta (vegetação, outro objeto)		

FATOR CONTRIBUINTE VEICULAR			
501	Carga (solta ou em excesso)	506	Pneu
502	Passageiros em excesso	507	Ausência de espelhos
503	Falha mecânica	508	Visibilidade nas janelas
504	Falha no engate do reboque	509	Bicicleta sem refletores ou luz
505	Luzes (farol, sinalização traseira, luz de freio)		

FATOR CONTRIBUINTE HUMANO			
Imprudência		**Comportamento ou inexperiência**	
601	Exceder o limite de velocidade	661	Dirigir com agressividade
602	Exceder velocidade adequada para o momento	662	Inexperiência do condutor
603	Muito veloz para a curva	**Visão prejudicada**	
604	Distância entre veículos incompatível	671	Vegetação
Erro de decisão		672	Desenho da via (inclinação, curva)
611	Falha ao dar preferência	673	Prédios, sinalização de trânsito ou mobiliário urbano
612	Curva imprópria (troca de faixa, trajetória)	674	Visão prejudicada por reflexo (farol, sol)
613	Falha ao parar (sinal, pedestre, preferencial)	675	Visão prejudicada de dentro para fora do veículo
Falha na condução do veículo		676	Não usar faróis à noite ou quando necessário
620	Violação com luz: sem faróis ou não baixou farol	677	Visão prejudicada por veículo circulando normalmente
621	Uso impróprio do freio	678	Visão prejudicada por veículo parado/estacionado regularmente
Infração		679	Visão prejudicada por veículo parado/estacionado de forma inadequada
630	Desobediência ao semáforo	**Ação/condição relacionado ao pedestre**	
631	Desobediência à sinalização (pare e preferencial)	680	Falha ao respeitar semáforo, sinalização, agente ou direito de passagem
632	Desobediência à faixa de pedestres	681	Ação relacionada a veículo parado ou estragado
633	Desobediência ao direito de passagem de outro veículo	682	Local impróprio de travessia
634	Passagem ou ultrapassagem ou imprópria	683	Uso incorreto dos recursos de travessia para pedestres
635	Parar em local impróprio	684	Falha ao julgar a velocidade ou trajetória do veículo
636	Contramão	685	Ação perigosa na via (parado, deitado, trabalhando, brincando)
637	Conversão ou retorno ilegal	686	Prejudicado pelo consumo de álcool
Erro de desempenho ou reação		687	Prejudicado pelo consumo de drogas (ilícitas e medicam.)
640	Falha ao sinalizar ou sinalizar incorretamente	688	Descuidado, desatento, negligente ou com pressa
641	Falha ao olhar corretamente	689	Caminhando ao longo da via
642	Falha ao julgar a trajetória, velocidade ou espaço	**Moto/bicicleta**	
643	Desvio brusco, movimento excessivo de direção	690	Andando entre veículos
644	Perda do controle do veículo	691	**Contramão**
645	Saída da pista	692	**Sobre o passeio**
646	Falha ao manter o veículo na própria faixa		
Debilidade ou distração			
650	Desatenção (atenção inadequada)		
651	Aparentemente cansado/fadigado/dormindo		
652	Aparentemente doente (incapaz debil. física/mental, mal súbito)		
653	Prejudicado pela ingestão de álcool		
654	Prejudicado pelo uso de drogas (ilícitas ou medicamentos)		
655	Distração por uso de equipamento de comunicação		
656	Distração dentro do veículo		
657	Distração fora do veículo		

CASOS ESPECIAIS	
701	"Pego" ou "Racha"
702	Veículo roubado ou usado para cometer crime
703	Veículo de emergência atendendo a um chamado
704	Veículo privado em emergência
705	Veículo policial em atendimento
706	Outro: .....

Versão 1.4 — Setembro 2013

Figura 8: Fatores Contribuintes

Fonte: EMBARQ Brasil e LASTRAN - UFRGS

EMBARQ Brasil — LASTRAN UFRGS

FORMULÁRIO DE VISTORIA DE ACIDENTES DE TRÂNSITO — PARTE 5 – DIAGRAMA E DESCRIÇÃO

5.1 Croqui do Local e Diagrama do Acidente

Informar a direção Norte

Desenhar:
(1) **Croqui da via**, sentido de tráfego, sinalização horizontal e vertical, passeio de pedestre e objetos relevantes ao acidente.
(2) **Diagrama do acidente** conforme legenda.

Veículo	Ônibus/Caminhão	Veic. 2 rodas
Pedestre vítima	Pedestre	Animal
Obstáculo	Semáforo	Sinaliz. horizontal
Sentido de circulação	Sentido ignorado	Pedestre parado
Marcha à frente	Marcha à ré	Estacionado ou parado
Capotamento	Descontrole	Impacto
Antes do impacto	Após o impacto	Trem e escrada de ferro

5.2 Descrição do acidente: (Identificar veículos conforme Parte 2- Item 2.6 e vítimas conforme Parte 3 Item 3.1)

5.3 O que poderia ter evitado o acidente	**5.4 Providências indicadas**

Versão 1.4 — Setembro 2013

Figura 9: Diagrama e Descrição

Fonte: EMBARQ Brasil e LASTRAN - UFRGS

8. Referências Bibliográficas

Ministério da Saúde do Brasil (2013). DATASUS. Disponível em: ‹http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=02›. Acesso em: 7 ago. 2013.

Brasil (2008). Código de Trânsito Brasileiro: instituído pela Lei nº 9.503, de 23/9/97. Brasília: DENATRAN, p. 710

Chagas, D. M (2011). *Estudo sobre fatores contribuintes de acidentes de trânsito urbano*. Dissertação (mestrado em engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

Chagas, D. M.; Nodari, C. T.; Lindau, L. A. (2012). *Lista de fatores contribuintes de acidentes de trânsito para pesquisa no Brasil*. *In*: XXVI ANPET – Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transporte.

Cherry, E.; Floyd, R.; Graves, T.; Martin, S.; Ward, D (2006). *Crash Data Collection and Analysis System: Report 537*. Phoenix.

DfT (2011). STATS 20 – *Instructions for the Completion of Road Accident Reports from non-CRASH Sources*. DfT.

Mantovani, V. R.; Raia Jr., A. A (2006). Gestão em Segurança de Tráfego Urbano Utilizando o Método SIGSET. *Revista dos Transportes Públicos*, n. 110, 2006, pp. 29–40.

Ministério da Justiça; DENATRAN (2000). *Municipalização do trânsito: roteiro para implantação*. DENATRAN ed. Brasília: 2000. p. 48

NHTSA (2012). Model Minimum Uniform Crash Criteria. MMUCC Guideline. 4ª ed., 148 p.

OMS (2012). *Sistema de Dados. Um Manual de Segurança Viária para Gestores e Profissionais da Área*. Brasília. D.F.: OPAS.

Souza, E. R. de; Minayo, M. C. de S.; Franco, L. G (2007). *Avaliação do processo de implantação e implementação do Programa de Redução da Morbimortalidade por Acidentes de Trânsito. Epidemiologia e Serviços*, v. 16, n. 1, pp. 19–31.

Texas Department of Transportation (TDT) (2010). *Instructions to Police for Reporting Crashes*. Austin, Texas, 111 p.

United Nations (2011). *Improving Road Safety. Note by the Secretary General. Sixty-sixth session, Agenda item 12, Global road safety crisis*. Disponível em: ‹http://www.who.int/roadsafety/about/resolutions/download/en/›.

World Health Organization (WHO) (2010). *Data systems: a road safety manual for decision-makers and practitioners*.

Modelos de localização para melhoria do atendimento pré-hospitalar de acidentes de trânsito em Medellín, Colômbia

Juan G. Villegas R.[9]

Carolina Castañeda P.[10]

Katherine A. Blandón[11]

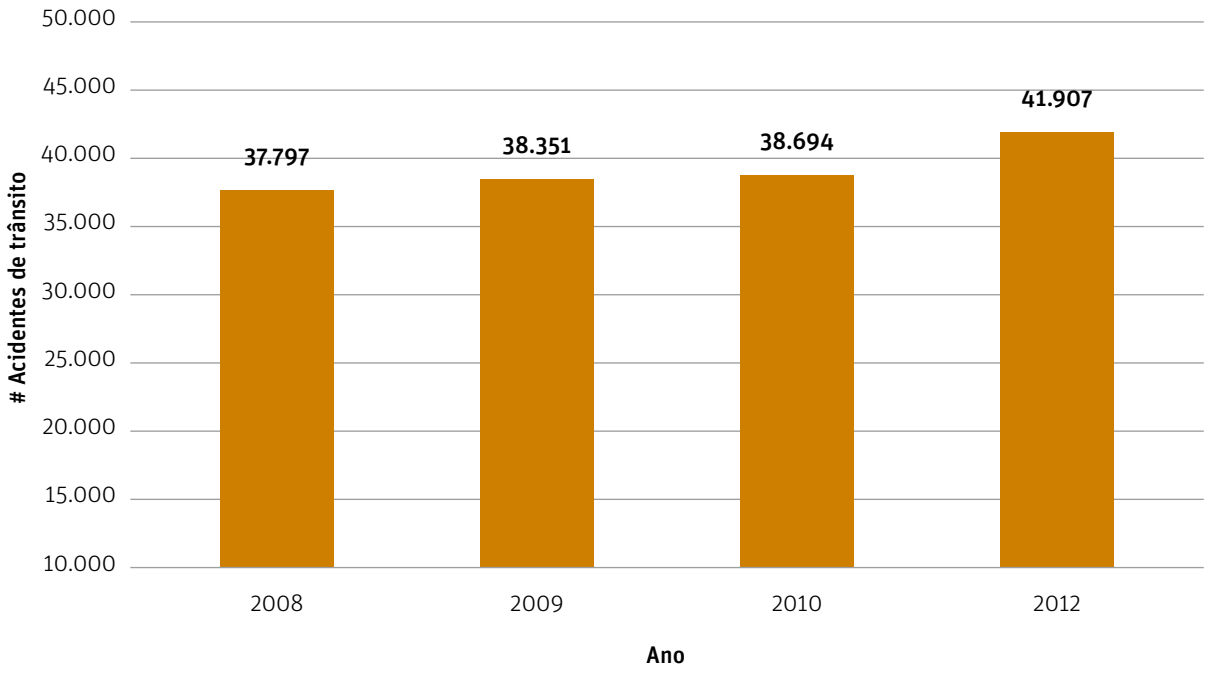
[9] Professor associado do Departamento de Ingeniería Industrial da Universidad de Antioquia (Colombia). Engenheiro de Produção da Universidad EAFIT (Colombia). Mestrado em Matemáticas Aplicadas da Universidad EAFIT e Mestrado em Engenharia Industrial da Universidad de los Andes (Colombia). Doutor em Engenharia e Otimização de Sistemas da Universidad de los Andes e de la Université de Technologie de Troyes (France).
[10] Engenheira Industrial da Universidad de Antioquia e estudiante de Mestrado em Engenharia da mesma universidade.
[11] Engenheira Industrial da Universidad de Antioquia.

1. Introdução, contexto geral no país e descrição do problema

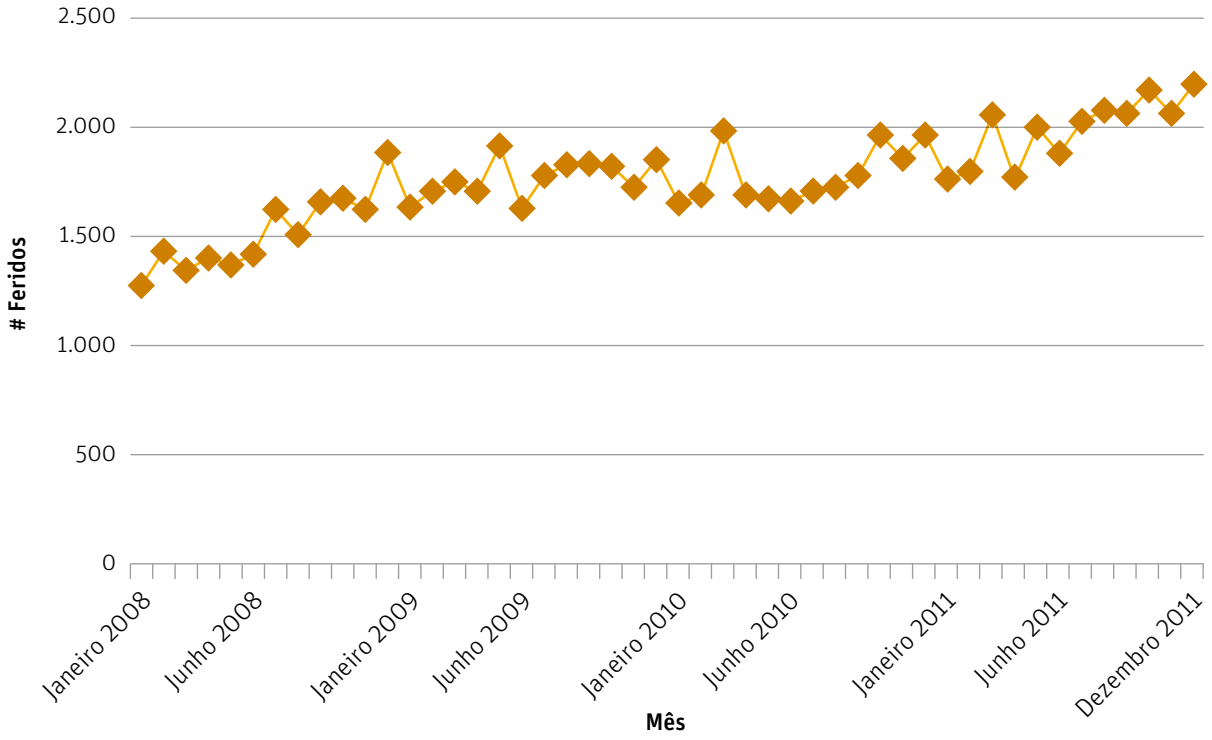
Medellín é uma das maiores cidades da Colômbia, com cerca de 2.368.282 habitantes (DANE, 2010). Devido ao aumento do número de acidentes de trânsito reportados ao Número Único de Segurança e Emergências "123" (NUSE), as autoridades locais estão buscando alternativas para resolver esse problema do ponto de vista do atendimento adequado às vítimas.

De acordo com estatísticas da cidade para 2011, nos últimos anos, houve uma tendência de aumento do número de acidentes de trânsito, que entre 2008 e 2009 foi de 1,4% e, em 2010, de 0,9% (Alcaldía de Medellín, 2011). Em 2011, houve uma elevação alarmante de 7,7%, conforme mostra a Figura 1a. Uma das principais causas do problema é o aumento do número de veículos, que entre 2008 e 2011 passou de 767.548 para 1.018.257, o que representa uma elevação de aproximadamente 32,6%. Além disso, em 2011, os acidentes de trânsito envolvendo lesões aumentaram 12,1%, e o número de mortes cresceu 4,1% em relação a 2010.

Em resumo, a tendência de aumento do número de acidentes de trânsito envolvendo vítimas (ver Figura 1b.) levou as autoridades locais a buscar alternativas para melhorar o serviço médico de emergência, não só de forma operacional mas também estratégica, para assegurar um atendimento adequado às vítimas, considerando a escassez de recursos.



a. Número de acidentes de trânsito ao ano (2008-2011)



b. Número de feridos em acidentes de trânsito ao mês (2008-2011)

Figura 1: Número de acidentes de trânsito (a) e número de vítimas (b) entre 2008-2011.

Fonte: elaboração dos autores com dados dos relatórios anuais de acidentes da cidade de Medellin entre 2008 e 2011. Prefeitura de Medellin.

No âmbito nacional, a situação é semelhante à da cidade de Medellín. De acordo com o Fundo de Prevenção Viária, no ano de 2011, 20% de todas as mortes violentas na Colômbia foram causadas por acidentes de trânsito. Além disso, em comparação com outros países, a Colômbia tem uma das mais altas taxas de mortalidade (12 mortes por 100 mil habitantes) superando a média dos 20 países da amostra analisada (5,9 mortes por 100.000 habitantes) (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2013). Da mesma forma, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), lesões causadas por acidentes de trânsito serão a quinta principal causa de morte em 2030, superando doenças como o HIV/AIDS (WHO, 2009).

Portanto, neste trabalho, desenvolveu-se um modelo matemático de localização para determinar o número de ambulâncias necessárias para atender as emergências relatadas para o número de telefone de emergência da cidade e estabelecer sua localização geográfica adequada (de acordo com a distribuição temporal e geográfica da demanda estimada por meio de dados históricos), com o objetivo de ampliar ao máximo o número de pessoas atendidas pelo serviço.

2. Objetivos do estudo

Desenvolver uma análise estatística exploratória do comportamento de eventos que precisam de atendimento de emergência com ambulância, principalmente acidentes de trânsito, na cidade de Medellín.

Determinar o número ideal de ambulâncias necessárias para o sistema de emergência da cidade de Medellín por período do dia (turno diurno e noturno) para a maximização da cobertura no atendimento pré-hospitalar da população.

Definir a localização das unidades de onde sairão as ambulâncias, por horário, mediante o sistema de atendimento de emergências da cidade de Medellín.

3. Pilares da Década de Ação para a Segurança Viária 2011-2020

A Assembleia Geral das Nações Unidas proclamou o período de 2011 a 2020 a Década de Ação para a Segurança Viária pela resolução 64/255 de março de 2010 (ONU, 2010) a fim de "estabilizar e posteriormente reduzir o número estimado de mortes em acidentes de trânsito em todo o mundo aumentando as atividades nos níveis nacional, regional e global" (OMS, 2011).

As ações planejadas para resolver a questão da segurança viária durante essa década se assentam em cinco pilares principais: (i) Gestão da segurança rodoviária, (ii) Vias de trânsito e mobilidade mais segura, (iii) Veículos mais seguros, (iv) Usuários mais seguros e (v) Atendimento pós-acidentes. Este estudo está alinhado com este último pilar, que visa "aumentar a capacidade de resposta a situações de emergência causadas por acidentes de trânsito e melhorar a capacidade dos sistemas de saúde e outros meios para proporcionar às vítimas um tratamento de emergência apropriado e reabilitação de longo prazo".

Em particular, este trabalho se concentra nas seguintes atividades do pilar (OMS, 2011):

"Atividade 1: Criar sistemas de atendimento pré-hospitalar, incluindo a remoção de vítimas de veículos sinistrados, e implantar um único número de telefone em todo o país para situações de emergência, mediante a aplicação das melhores práticas existentes."

"Atividade 7: Estimular o setor de pesquisa e desenvolvimento para melhorar a resposta pós-acidentes."

4. Público alvo

O público alvo são os moradores de Medellín, Colômbia, cidade que possui cerca de 2.368.282 habitantes distribuídos entre 271 distritos agrupados em 16 comunas e cinco municípios (DANE, 2010).

5. Metodologia empregada no estudo

A metodologia utilizada no desenvolvimento do projeto envolveu quatro aspectos principais: revisão da literatura, seleção e abordagem do modelo matemático, análise e georreferenciamento de dados de acidentes da cidade de Medelín e, finalmente, a implementação do modelo.

5.1. Revisão de literatura.

Nesta fase, foram estudados os modelos matemáticos que têm sido utilizados no planejamento e otimização de sistemas voltados para a prestação de serviços de emergência. Foram identificadas as metodologias utilizadas para localizar ambulâncias em sistemas de emergência, classificadas em duas categorias principais: modelos probabilísticos utilizando simulação (Goldberg, 2004) ou teoria espacial das filas (Larson, 1975) e modelos inteiros de programação (Brotcorne, Laporte & Semet, 2003). Neste trabalho, um modelo local de ambulância (programação inteira) é proposto para determinar a quantidade e a localização desses veículos na cidade de Medellín. Para uma revisão detalhada dos modelos de localização e realocação de ambulâncias, o leitor interessado pode consultar Goldberg (2004) ou Brotcorne et al (2003). Uma decisão bastante estudada foi a localização de ambulâncias para atendimento de emergência. Em geral, os modelos de programação linear inteira empregados para localizar ambulâncias têm uma estrutura semelhante, na qual se busca maximizar a capacidade de resposta do sistema. A medição considera um tempo máximo de resposta que determina o sucesso do atendimento, que por sua vez induz a uma área de cobertura quando se decide optar pela localização de uma ambulância em determinada área.

5.2. Seleção e abordagem do modelo matemático.

Para modelar a decisão de localização de ambulâncias de atendimento pré-hospitalar na cidade de Medellín, foram utilizados dois modelos matemáticos: o Problema de Localização de cobertura máxima prevista (Maximum Expected Coverage Location Problem - MEXCLP) (Daskin, 1983) e o Problema de Localização de Conjunto de Cobertura (Set Covering Location Problem - SCLP) (Toregas et al. 1971).

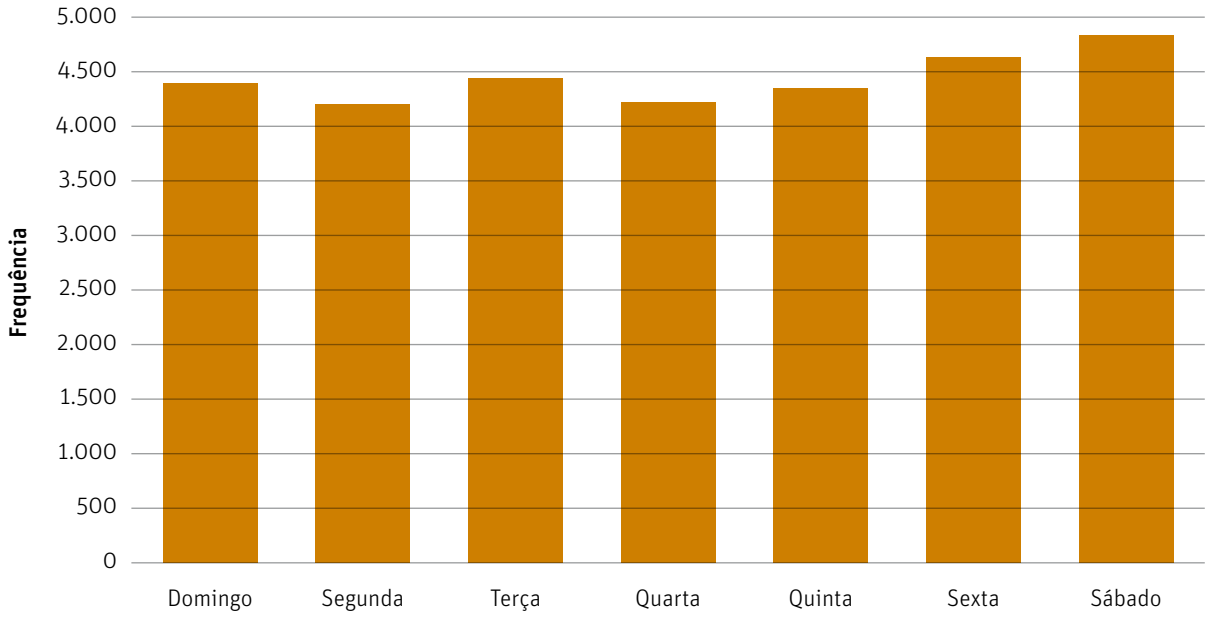
Inicialmente, o MEXCLP verifica o número de ambulâncias necessárias para operar o sistema de modo a maximizar a demanda atendida, considerando a disponibilidade do serviço. Nesse modelo, com base na estimativa global do nível de ocupação do sistema, é possível determinar a disponibilidade do serviço em cada zona, tendo em conta o número de ambulâncias alocadas dentro do tempo de resposta desejado. Posteriormente, utilizou-se uma extensão do SCLP para minimizar o número de estações nas quais se situarão as ambulâncias, mantendo a qualidade dos serviços obtidos com o MEXCLP. Os modelos matemáticos empregados são apresentados em detalhes no Apêndice 1.

5.3. Análise e georreferenciamento de dados relativos a acidentes.

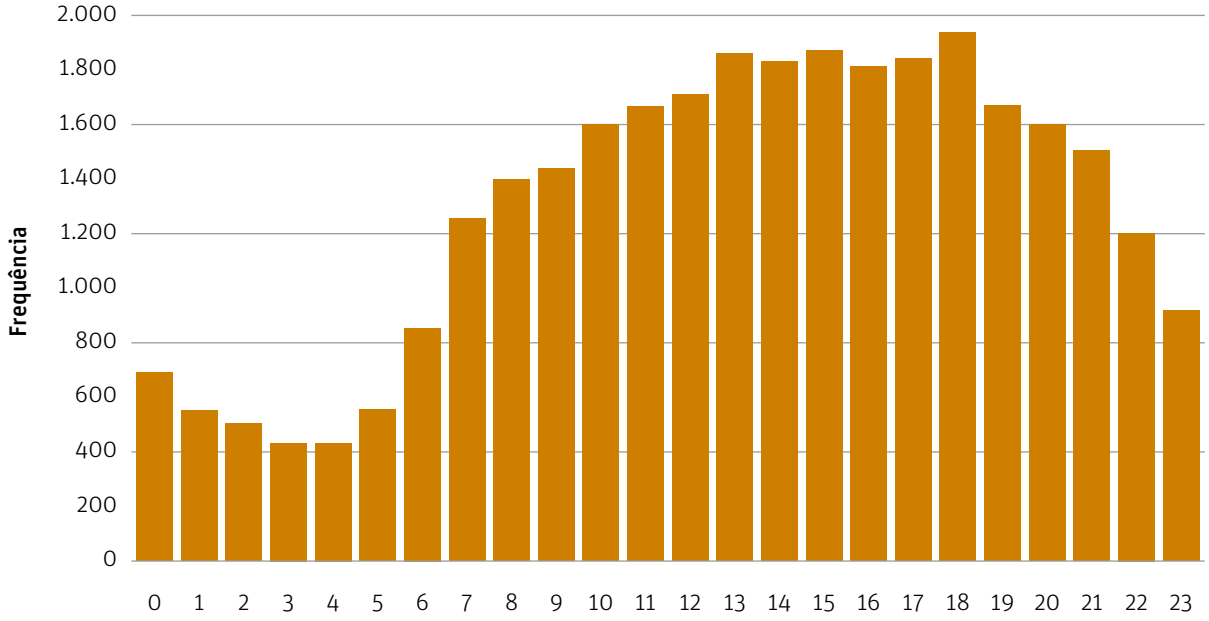
Antes da implementação do MEXCLP e do SCLP para melhorar o serviço de emergência da cidade de Medellín, foram analisadas as informações fornecidas pelo Número Único de Segurança e Emergências – NUSE. Para esse fim, a entidade forneceu os registros de ocorrências que requereram o serviço de ambulância na cidade entre junho de 2010 e maio de 2011. As informações fornecidas foram analisadas estatisticamente e os diferentes incidentes relatados foram georreferenciados e agregados por bairros mediante o sistema de informação geográfica (SIG) ArcGIS. Além disso, foi feita uma filtragem importante para excluir registros duplicados, não georreferenciados e relatados fora da área urbana da cidade.

A primeira análise corresponde à distribuição temporal dos incidentes. Analisou-se a ocorrência dos acidentes durante a semana, definindo um ajuste de distribuição uniforme, o que indica que, em geral, não há um dia da semana no qual se concentra um número mais alto de incidentes. Esse comportamento é ilustrado na Figura 2a.

Por outro lado, quando analisada a distribuição dos eventos ao longo do dia, foi possível observar uma frequência mais elevada na metade do dia, com alguns picos durante a noite. A distribuição de registros poderia ser associada com os horários de pico da cidade, observando-se uma diminuição de eventos nas primeiras horas da manhã, quando a mobilidade é baixa, e um aumento progressivo da frequência de eventos, até que se estabilizam no período compreendido entre as 7h00 e 19h00. Após esse intervalo, o número de incidentes decresce nas primeiras horas da noite e durante a madrugada. Esse comportamento dos eventos ao longo do dia é demonstrado na Figura 2b. Com base nesse comportamento, decidiu-se dividir a análise em dois turnos de 12 horas: o turno diurno (alta demanda) compreendido entre 7h00 e 19h00 e o turno noturno (baixa demanda), que começa às 19h00 e termina às 7h00.



a. Distribuição dos eventos por dia da semana



b. Distribuição de eventos por hora do dia

Figura 2: Distribuição temporal dos eventos reportados ao NUSE de acordo com o dia da semana (a) e a hora do dia (b).

Fonte: elaboração dos autores com dados fornecidos pelo NUSE.

Um fator importante a considerar no MEXCLP é o tempo necessário para o atendimento dos eventos, caso em que a análise se centra no tempo compreendido entre o momento em que a ambulância é despachada até a liberação dos recursos, quando se encerra o ciclo de atendimento. Para caracterizar como transcorrem esses tempos, foram analisados todos os eventos em que havia registro de tempo de atendimento. Verificou-se que 50,49% dos eventos possuem tempo inferior a 50 minutos. Da mesma forma, mais de 80% dos eventos relatados ao NUSE são atendidos em tempo menor ou próximo a 90 minutos. Finalmente, a distribuição dos eventos alcança 98% das observações em tempos abaixo de 200 minutos, o que torna improvável a ocorrência de situações que excedam esse tempo. A partir dessa informação, decidiu-se utilizar um tempo de 90 minutos por evento para o cálculo da carga de atendimento gerada por cada bairro.

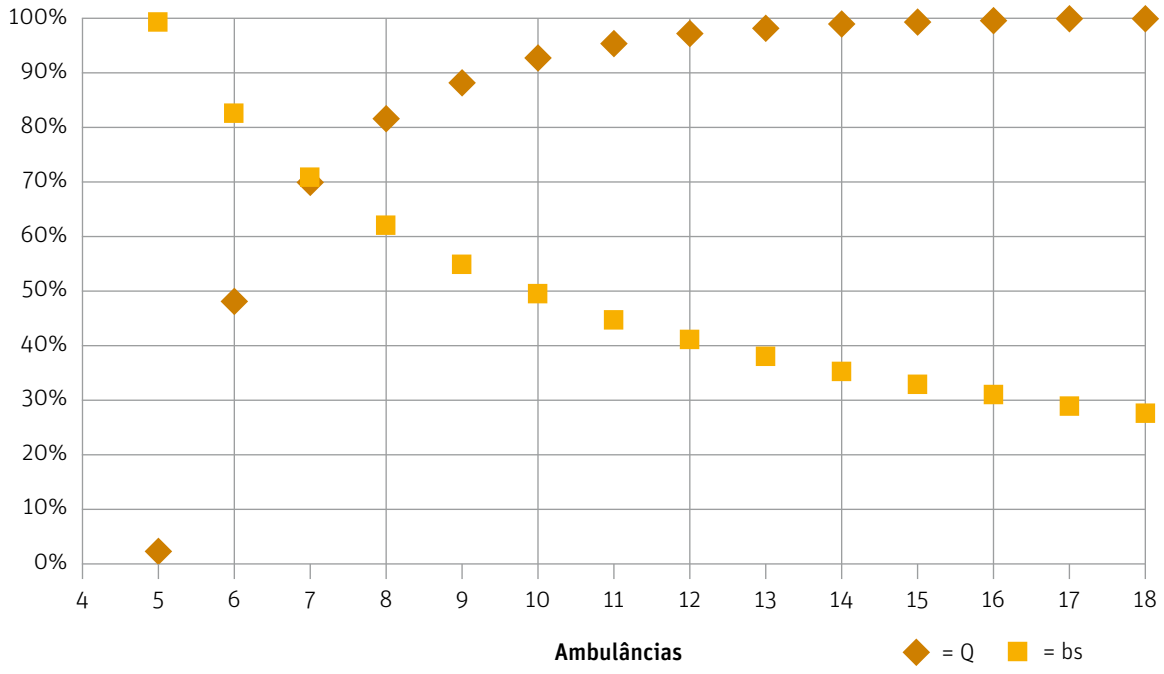
Outro componente importante do MEXCLP é a distância máxima de cobertura. Para poder estimar o tempo de deslocamento entre cada localidade possível da estação das ambulâncias aos diferentes bairros da cidade foram utilizadas as distâncias entre centroides geográficos. Uma vez que esses deslocamentos se deram pela malha viária, a versão 3 do API do Google Maps foi utilizada para encontrar a menor distância entre cada par de bairros. O resultado obtido foi uma matriz (assimétrica) de distâncias entre os bairros, com a qual é possível estimar o tempo de deslocamento, usando para isso a velocidade média indicada no sistema de mobilidade inteligente da cidade. [12]. Nesse caso, o tempo de resposta máximo desejado foi de 10 minutos, o que resulta numa distância de cobertura máxima de 5,66 km a uma velocidade média de 34 Km/h.

5.4. Implementação do modelo.

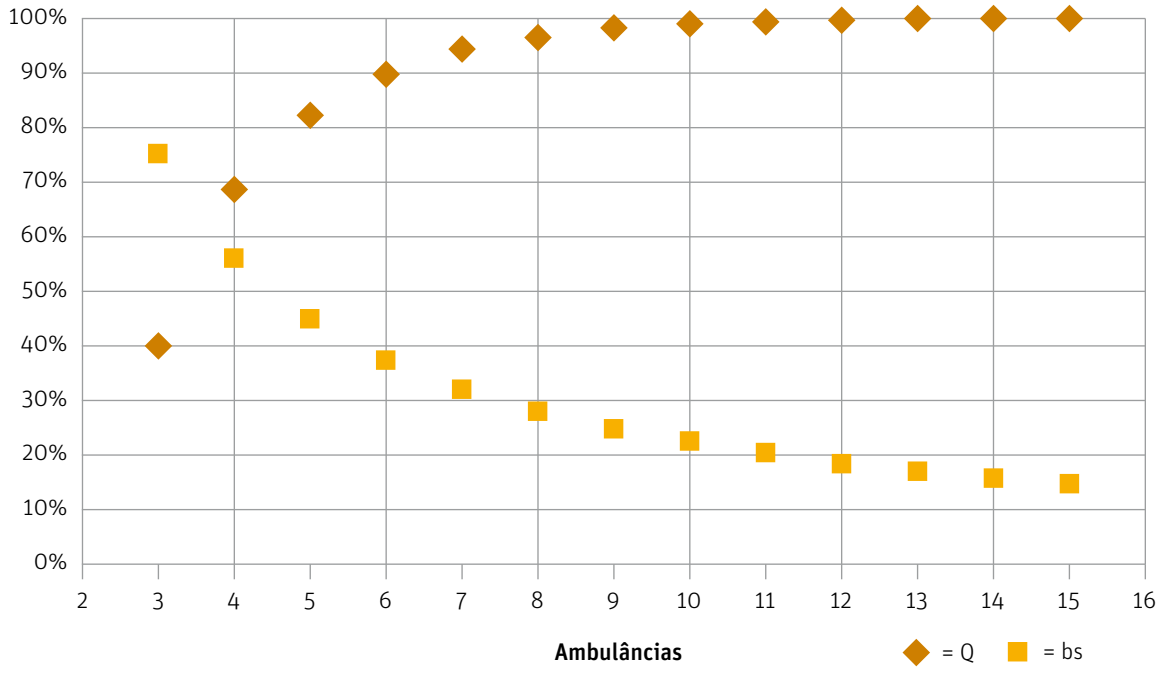
Os modelos de otimização descritos acima foram implementados no software de otimização IBM ILOG CPLEX Optimization Studio - Versão 12.2.

Foram utilizadas três métricas para avaliar o desempenho de cada solução obtida com os modelos de otimização: o número de ambulâncias (p), a ocupação do sistema (b_s) e a disponibilidade média ponderada (Q). Esta última métrica representa a probabilidade média ponderada de que uma zona encontre uma ambulância disponível quando é feita uma solicitação de serviço. Foram utilizados os dados dos turnos separadamente para analisar os diferentes cenários.

A partir de um número mínimo de ambulâncias, o MEXCLP foi processado de forma interativa, aumentando gradativamente a quantidade de ambulâncias até o ponto em que não fossem encontradas melhoras na métrica Q superiores a 1%. Como pode ser visto na Figura 3, para o turno diurno o número necessário de ambulâncias é de 14, enquanto para o turno da noite (com baixa demanda) são necessárias 10 ambulâncias.



a. Turno diurno (7h-19h)



b. Turno noturno (19h-7h)

Figura: Análise do número necessário de ambulâncias para turno do dia (a) e da noite (b) usando o MEXCLP.

Fonte: elaboração dos autores com dados dos resultados do modelo de otimização implementado

Foram analisados três cenários diferentes. O cenário de referência utiliza postos de bombeiros como potenciais locais para bases de despacho e considera apenas seis ambulâncias (um número fornecido pelo NUSE, de acordo com a disponibilidade de recursos do momento). Nos demais cenários, foi utilizado o número de ambulâncias encontrado com o MEXCLP na primeira fase e a localização das bases de despacho para as ambulâncias definida com o SCLP. O cenário I considerou todos os bairros da cidade, enquanto o cenário II utilizou somente quartéis de bombeiros como possível local para as bases.

6. Resultados e avaliação do trabalho

Como pode ser visto no Quadro 1, os cenários I e II melhoram a qualidade do serviço Q em relação ao cenário base em virtude do aumento do número de ambulâncias encontrado com o MEXCLP. Em ambos os casos, Q é maior que 97%. A comparação com o cenário de referência mostra uma melhoria significativa na qualidade do serviço para o turno do dia (7h00-19h00). Neste turno, o cenário base reporta um valor Q de apenas 49%. Essa baixa qualidade do serviço pode ser explicada principalmente pela indisponibilidade de ambulâncias prevista para a alta ocupação do sistema =83% (encontrada com 6 ambulâncias). Enquanto o cenário de referência não cobre um terço dos bairros da cidade (88 de 271), os cenários I e II deixam muito poucos bairros sem cobertura, 3 e 10 respectivamente.

É importante ressaltar que para ambos os turnos a diferença entre a qualidade do serviço nos cenários I e II é de apenas 1%. Esse resultado indica que os quartéis e postos de bombeiros são uma boa alternativa para a localização de ambulâncias, em especial porque possuem uma boa distribuição ao redor da cidade, como mostram as Figuras 4 e 5. Nesse caso, a principal contribuição do modelo proposto é a determinação do número de ambulâncias a ser atribuído para cada posto do corpo de bombeiros.

Por outro lado, para o turno da noite, a diferença entre o cenário base e os cenários I e II é muito menor. Embora seis ambulâncias não sejam ideais para esse turno, o serviço prestado é de qualidade tolerável (Q = 83%). Adicionando-se mais 4 unidades para atingir 10 ambulâncias, melhora em 15% e os bairros não cobertos diminuem aproximadamente para 10%. Nesse turno, boa parte das ambulâncias pode estar localizada fora do centro da cidade, porque a demanda de serviços de emergência se desloca para as áreas residenciais.

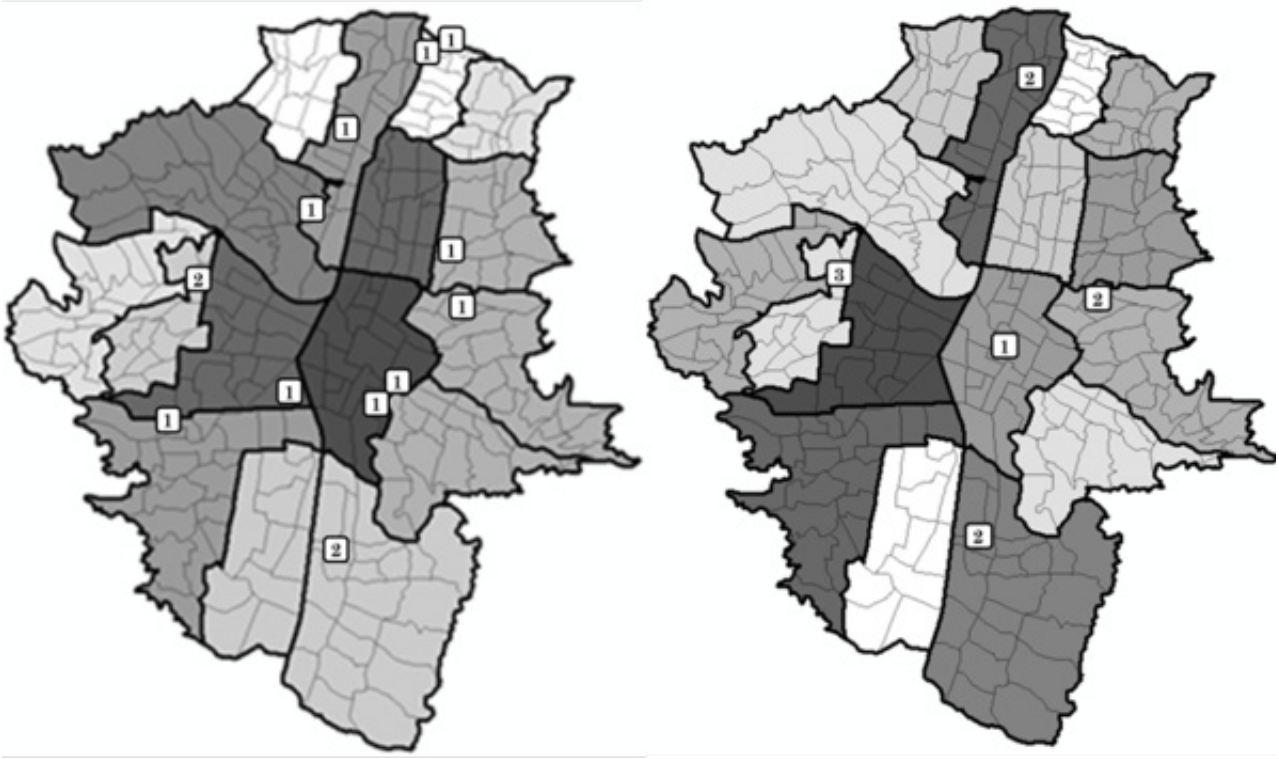
Quadro . Resumo dos resultados para os diferentes cenários

Turno	Cenário	p	b_s (%)	Q (%)	Bairros não cobertos
Dia (7h-19h)	Base	6	83	49	88
	I	14	35	98	3
	II	14	35	97	10
Noite (19h-7h)	Base	6	38	83	29
	I	10	23	98	14
	II	10	23	97	17

Fonte: elaboração dos autores com dados dos resultados do modelo de otimização implementado

As Figuras 4 e 5 mostram a implantação de ambulâncias nos cenários I e II para ambos os turnos. Como se pode observar, a quantidade de ambulâncias se adapta aos padrões da demanda com base na concentração geográfica e temporal das emergências comunicadas ao sistema de acordo com a hora do dia (uma política que não é atualmente considerada na administração do sistema). Durante o turno diurno o serviço é voltado para o centro da cidade, já que essa é a área com o maior número de incidentes. Por outro lado, durante o turno da noite um número maior de casos se concentra nas áreas residenciais (periferia da cidade).

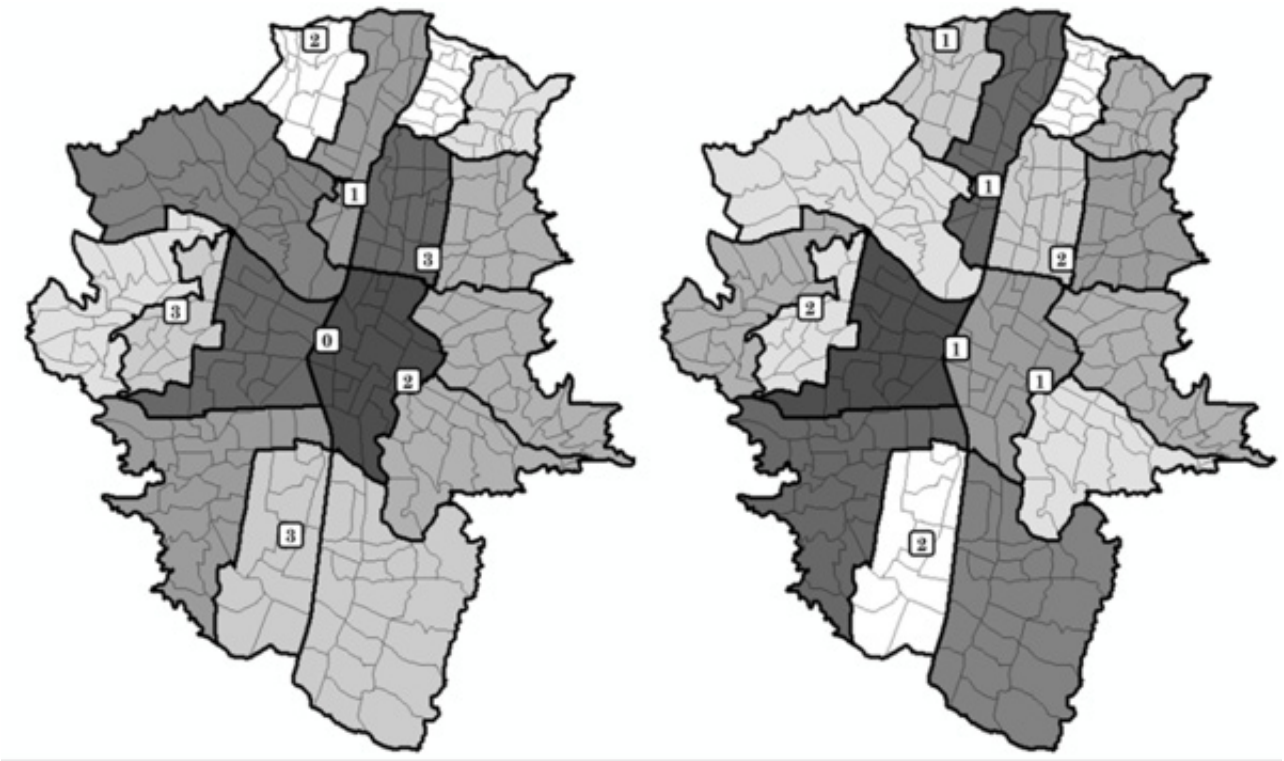
Finalmente, como conclusão da segunda fase do modelo proposto, que busca um número mínimo de bases de deslocamento, essa necessidade fica mais evidente no turno da noite, em que a solução do cenário I sugere que o sistema possua 5 bases para abrigar 10 ambulâncias.



a. Turno diurno ***b. Turno noturno***

Figura . Implantação das ambulâncias no cenário I

Fonte: elaboração dos autores com dados dos resultados do modelo de otimização implementado



a. Turno diurno

b. Turno noturno

Figura . Implantação das ambulâncias no cenário II

Fonte: elaboração dos autores com dados dos resultados do modelo de otimização implementado

Em resumo, este estudo apresenta o modelo de localização desenvolvido para apoiar as autoridades de Medellín na melhoria do sistema de atendimento pré-hospitalar da cidade. Sistema que é essencialmente dedicado ao atendimento de vítimas de acidentes de trânsito, um fenômeno que está crescendo e tem suscitado preocupações no âmbito da administração municipal e entre a população em geral. O modelo desenvolvido combina elementos tanto da questão de localização de cobertura máxima esperada (MEXCLP) quanto da que diz respeito aos conjuntos de cobertura de rastreamento (SCLP).

Ao aplicar o modelo proposto com base nos dados do período compreendido entre junho de 2010 e maio de 2011, ficou claro que a proposta de deslocar as ambulâncias de suas bases atuais situadas em postos do corpo de bombeiros (uma alternativa que a cidade está explorando) contribuirá pouco para a melhoria da qualidade do serviço. Por outro lado, foi possível identificar o número necessário de ambulâncias para a correta operação do sistema, muito superior ao atual, e estimar que aumentar a quantidade de ambulâncias poderia melhorar a qualidade do serviço em aproximadamente 49% no turno diurno e 15% no noturno. Da mesma forma, é possível se obter uma redução significativa no total de bairros não cobertos, que passaria de 88 para menos de 10 no turno do dia e de 29 para 14 no turno da noite.

A flexibilidade da metodologia utilizada (programação inteira) permite estender a análise realizada para outros contextos. Isso pode ser obtido mediante a alimentação dos modelos matemáticos propostos com dados de outros serviços de emergência.

7. Informações adicionais / Comentários

Uma versão preliminar deste trabalho foi apresentada no Congresso Latino-americano de Pesquisa Operacional/ Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (XVI CLAIO/XLIV SBPO). Rio de Janeiro, Brasil, de 24 a 28 de setembro de 2012, intitulada: Melhorar a localização de ambulâncias de atendimento pré-hospitalar em Medellín (Colômbia), com modelos de otimização.

Agradecimentos: Os autores agradecem o apoio recebido da Universidade de Antioquia, por meio de projetos de pesquisa MC10-1-01 (Identificação de um modelo de decisão para o sistema de operação logística Teleassistência Pré-Hospitalar do Vale de Aburrá) e da Extensão BUPPE-223.104 (Estruturação de um modelo de operação logístico para o Sistema de Teleassistência Pré-Hospitalar da Área Metropolitana do Vale do Aburrá). Este trabalho também foi cofinanciado pela Empresa de Segurança Urbana (ESU) da cidade de Medellín. Os autores reconhecem esse apoio, bem como o acesso a informações utilizadas neste estudo de caso. Finalmente, os autores expressam sua gratidão ao IBM ILOG pela concessão da licença de uso do software CPLEX por intermédio do IBM Academic Initiative.

Apéndice 1. Modelo matemático.

Para modelar a decisão da localização de ambulâncias de atendimento pré-hospitalar da cidade de Medellín, propõe-se uma extensão do SCLP em que se utilizam sequencialmente dois modelos de localização. O primeiro deles, baseado no MEXCLP, identifica o número de ambulâncias necessário para operar o sistema. Posteriormente, um segundo modelo combina elementos do SCLP e do MEXCLP para minimizar o número de postos em que serão localizadas as ambulâncias. As anotações de cálculo necessárias para construir os dois modelos são descritas a seguir.

Seja $\boldsymbol{J} = \{1, \dots, m\}$ o conjunto de lugares onde é possível situar as ambulâncias (i.e. bases de deslocamento), p o número de ambulâncias que se procura localizar, $\boldsymbol{I} = \{1, \dots, n\}$ o conjunto de áreas de demanda para o serviço de emergência (i.e. bairros da cidade). Cada bairro $i \in \boldsymbol{I}$ tem uma demanda associada d_i (medida em minutos) que representa o tempo de atendimento derivado dos acidentes que ocorrem no bairro. A distância entre as bases de deslocamento $i \in \boldsymbol{I}$ e os bairros $j \in \boldsymbol{J}$ é denotada com h_{ij}. Por sua vez, h_{max} representa a distância máxima de cobertura (que é derivada do tempo de resposta máximo estabelecido para o desenho do sistema). Usando os valores de h_{ij} e h_{max}, é possível determinar o conjunto $\boldsymbol{N_i}$ de bases que dispõem de capacidade para atender o bairro $i \in \boldsymbol{I}$ dentro do tempo máximo de resposta: $\boldsymbol{N_i} = \{j \in \boldsymbol{J}: h_{ij} \leq h_{max}\}$.

Com base na duração do turno t (medida em minutos) e na demanda total agregada, é estimada a utilização global do sistema b_s, um dos componentes mais importantes de MEXCLP, que é dada pela expressão (1):

$$b_s = \frac{\sum_{i \in \boldsymbol{I}} d_i}{p \times t} \qquad (1)$$

Uma vez obtida b_s é possível calcular o índice de qualidade q_k, que mede a disponibilidade do serviço em um bairro quando se tem k ambulâncias localizadas dentro do raio de cobertura $\boldsymbol{N_i}$. Sob a hipótese de independência da ocupação das ambulâncias, q_k é a probabilidade de que haja pelo menos uma ambulância disponível para atender a demanda de um bairro. O valor q_k é calculado para cada um dos possíveis valores de k (k=$1, \dots, p$) como se mostra na expressão (2).

$$q_k = 1 - (b_s)^k \qquad (2)$$

O número de ambulâncias localizadas em um determinado local é representado pela variável de decisão inteira x_j ($\forall j \in \boldsymbol{J}$). Enquanto a variável binária y_{ik} ($\forall i \in \boldsymbol{I}, k = 1, \dots, p$) permite calcular a qualidade do serviço prestado para cada bairro: $y_{ik} = 1$ se o bairro é coberto por k ambulâncias, $y_{ik} = 0$ em caso contrário. Usando a anotação acima, o MEXCLP pode ser formulado tal como descrito por Sorensen e Church (2010):

$$max\ z_1 = \sum_{i \in I} \sum_{k=1}^{p} d_i q_k y_{ik} \qquad (3)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq \sum_{k=1}^{p} k y_{ik} \qquad \forall i \in \boldsymbol{I} \qquad (4)$$

$$\sum_{k=1}^{p} y_{ik} \leq 1 \qquad \forall i \in \boldsymbol{I} \qquad (5)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \qquad (6)$$

$$x_j \in \mathbb{Z}^+ \qquad \forall\ j \in J \qquad (7)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \qquad \forall i \in I,\ k = 1, \dots, p \qquad (8)$$

As funções objetivo z_1 calculadas na expressão (3) representam a cobertura esperada ponderada total dos bairros da cidade. As restrições (4) e (5) permitem calcular a cobertura de cada bairro. A restrição (4) garante que a variável y_{ik} seja igual a 1 se o bairro i tem k ambulâncias localizadas dentro do raio de cobertura $\boldsymbol{N_i}$. Já a restrição (5) requer que apenas um valor de q_k seja considerado para cada bairro, enquanto a expressão (6) afirma que p ambulâncias foram posicionadas. Finalmente, as expressões (7) e (8) definem o domínio das variáveis de decisão.

O MEXCLP descrito no modelo (3) – (8) é utilizado em uma análise paramétrica em que o valor de p é aumentado iterativamente até atingir um nível em que a cobertura esperada não aumenta mais de 1% ao agregar mais uma ambulância ao sistema. Essa análise paramétrica permite encontrar um número necessário de ambulâncias $\hat{p}$ e um valor ótimo de cobertura associada z_1^*. Usando esses valores, constitui-se um segundo modelo associado, ao se adicionar ao SCLP os elementos MEXCLP descritos anteriormente.

O modelo proposto visa minimizar o número de bases de onde saem as ambulâncias, pois é mais caro operar um sistema com muitas bases. Para construir esse novo modelo, é necessário definir uma nova variável binária w_j. Se você decidir localizar uma base para envio de ambulâncias ao local $j \in \boldsymbol{J}$ a variável w_j é igual a 1, enquanto w_j é igual a 0, se a base não estiver situada no local $j \in \boldsymbol{J}$.. Usando a anotação do MEXCLP e introduzindo a nova variável, o modelo proposto é formulado como se segue:

$$min\ z_2 = \sum_{j \in J} w_j \qquad (9)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i \in I} \sum_{k=1}^{p} d_i q_k y_{ik} = z_1^* \qquad (10)$$

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq \sum_{k=1}^{p} k y_{ik} \qquad \forall i \in \boldsymbol{I} \qquad (11)$$

$$\sum_{k=1}^{p} y_{ik} \leq 1 \qquad \forall i \in \boldsymbol{I} \qquad (12)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = \hat{p} \qquad (13)$$

$$x_j \leq \hat{p} \cdot w_j \qquad \forall\ j \in J \qquad (14)$$

$$w_j \in \{0,1\} \qquad \forall\ j \in J \qquad (15)$$

$$x_j \in \mathbb{Z}^+ \qquad \forall\ j \in J \qquad (16)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I,\ k = 1, \ldots, p \qquad (17)$$

A função de objetivo (9) busca minimizar o número de bases abertas, garantindo (com a limitação (10) que a cobertura esperada obtida com a análise paramétrica do MEXCLP não piore. Enquanto isso, a restrição (13) garante que o número de ambulâncias obtido com a análise paramétrica também seja conservado. A nova restrição (14) garante que somente sejam atribuídas ambulâncias a bases abertas. As restrições MEXCLP (11)-(12) y (16)-(17) mantêm-se inalteradas, embora as novas variáveis de decisão se definam na restrição (15). Na sequência desse processo de duas etapas se otimizam lexicograficamente z_1 e z_2. Ou seja, com o MEXCLP busca-se primeiro a melhor cobertura esperada e o número de ambulâncias e, em seguida, com o modelo proposto se buscam as melhores alternativas possíveis do MEXCLP que usem o menor número de bases de ambulâncias.

8. Referências bibliográficas.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2010). *Boletín censo general*, 2005, Bogotá.

Alcaldía de Medellín (2011). Informe Anual de Accidentalidad 2011. Medellín.

Corporación Fondo de Prevención Vial (2013). *Anuario estadístico de accidentalidad vial Colombia 2011*. Bogotá.

World Health Organization (2009). *Global status report on road safety 2009*. Switzerland: Department of Violence & Injury Prevention & Disability.

Organización de las Naciones Unidas (2010). *Resolución 64/255 Mejoramiento de la seguridad vial en el mundo*. [Online]. Disponible: http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/UN_GA_resolution-54-255-es.pdf [Consultado: 26-Oct-2013].

Organización Mundial de la Salud, Organización de las Naciones Unidas (2011). *Plan mundial para el decenio de acción para la seguridad vial 2011-2020*.

Goldberg JB (2004). Operations research models for the deployment of emergency services vehicles. *EMS Management Journal*. 1:20-39.

Larson R (1975). Approximating the performance of urban emergency service systems, *Operations Research*, 23:845-868.

Brotcorne L, Laporte G, Semet F (2003). Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research*, 147:451-463.

Daskin, MS (1983). A maximum expected covering location model: Formulation, properties and heuristic solution. *Transportation Science*, 17:48-70

Toregas C, Swain R, ReVelle C, Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 19:1363-1373.

Sistema Inteligente de Movilidad (SIMM) de Medellín (2012). *Indicadores de Movilidad. Secretaría de Tránsito y Transporte de Medellín*. [Online]. Disponible: http://www.Medellín.gov.co/transito/linea-base.html [Consultado: 14-May-2012].

Sorensen, P. & Church, R. (2010). Integrating expected coverage and local reliability for emergency medical services location problems. *Socio-Economic Planning Sciences*, 44: 8-18.

BID

www.iadb.org

Banco Interamericano de Desenvolvimento
Escritório de Parcerias Estratégicas
Setor de Infraestrutura e Meio-Ambiente
Divisão de Transporte
Estratégia de Segurança Viária

1300 New York Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20577, USA
Tel: (202) 623-1000
Fax: (202) 623-3096
www.iadb.org/seguridadvial