

# **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA SEGURANÇA VIÁRIA DE INTERVENÇÕES EM INTERSEÇÕES URBANAS NÃO SEMAFORIZADAS**

**William Gonçalves Bonfim**

**Caio Assunção Torres**

Departamento de Engenharia de Transportes | Universidade Federal do Ceará  
Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania | Prefeitura de Fortaleza

## **RESUMO**

No esforço de melhorar a segurança viária em interseções urbanas não semaforizadas, a Prefeitura de Fortaleza implantou a operação Esquina Segura. Este trabalho avaliou o impacto desse projeto por meio de estudos observacionais do tipo “antes” e “depois”. Os resultados obtidos, para o método com grupo de comparação, demonstram uma eficácia da operação, com uma redução em média de 53% no número esperado de acidentes totais e uma redução média de 60% e 48% no número esperado de acidentes com e sem vítimas, respectivamente. Em relação aos acidentes envolvendo pedestres, não há evidências estatísticas suficientes para avaliar a efetividade da intervenção na segurança dos pedestres.

## **1. INTRODUÇÃO**

Os acidentes de trânsito geram, em todo o mundo, aproximadamente 1,25 milhões de vítimas fatais por ano. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (2015), eles são considerados a principal causa de mortes de jovens entre 15 e 29 anos. No Brasil, foi estimado a ocorrência de cerca de 47 mil acidentes fatais de trânsito no ano de 2013, o que gerou um gasto de aproximadamente 1,2% do PIB nacional (WHO, 2015).

Devido aos elevados índices de acidentes, a Assembleia Geral das Nações Unidas declarou a “Década das Ações para Segurança Viária” (2011-2020), enfatizando a necessidade de intervenções governamentais para o controle e a redução dos níveis alarmantes de vítimas lesionadas no trânsito.

Nas áreas urbanas, existem diversos pontos potencialmente perigosos para a segurança no trânsito. Dentre esses pontos, pode-se citar as interseções viárias, onde as trajetórias conflitantes de veículos motorizados, não motorizados e pedestres se interceptam, causando desacordos quanto ao direito de passagem (Gold, 1998).

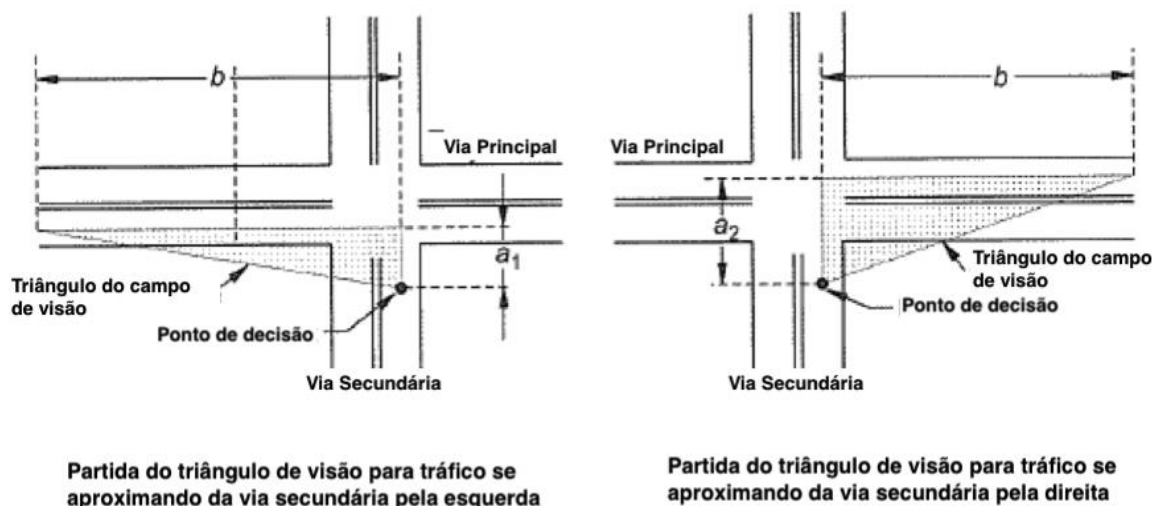
No esforço de melhorar a segurança nesses locais, foi implantada, no ano de 2017, a operação “Esquina Segura” na cidade de Fortaleza. O projeto se caracteriza como uma ação de curto prazo e consiste no realinhamento estratégico nas atividades de fiscalização e na renovação da sinalização horizontal e vertical, implantação de placas, marca de canalização e tachões para alertar a proibição de estacionamento nas interseções não semaforizadas (Fortaleza, 2017).

Todavia, a avaliação desse programa é de difícil execução, visto que não existem muitos estudos específicos na eficácia de intervenções em áreas urbanas. Este trabalho tem o objetivo de avaliar o impacto na segurança viária por meio de estudos observacionais do tipo “antes” e “depois” da implementação de intervenções de melhoria da sinalização horizontal e vertical em interseções urbana não semaforizadas quanto a gravidade e frequência de acidentes de trânsito. Desta forma, aspira-se a consolidação de avaliações precisas, sob a ótica da segurança viária, de intervenções em interseções urbanas não semaforizadas. Como estudo de caso, o presente trabalho irá aplicar essa metodologia para avaliação da Operação Esquina Segura.

## 2. INTERSEÇÕES URBANAS NÃO SEMAFORIZADAS

As interseções urbanas são elementos de descontinuidade na rede viária e, portanto, acarretam situações críticas que devem ser tratadas de forma adequada (DNIT, 2005). Dessa forma, os projetos rodoviários devem assegurar o nível de serviço da via, garantindo a circulação de forma ordenada dos veículos e a segurança em áreas em que o fluxo veicular sofre interferência de outras correntes internas ou externas (DNIT, 2005).

Em ambientes urbanos, geralmente as interseções são em nível, possibilitando a utilização de uma mesma região para duas ou mais trajetórias. Essas são classificadas em relação a forma de controle: por semáforos, no qual o direito de passagem é dividido entre as vias que se cruzam de acordo com a indicação da sinalização luminosa; por sinal “PARE” e por sinal de “dê a preferência”, no qual o direito de passagem na interseção é dado à via preferencial; e as não controladas, no qual o direito de passagem é definido pelo Código Nacional de Trânsito como sendo preferencial do veículo que vier da direita (Setti, 2002). A Figura 1 representa o comportamento dos motoristas em cruzamento de vias controladas por sinalização de parada.



Fonte: Adaptado de AASHTO (2011)

**Figura 1:** Triângulo de visão em interseções controladas por sinal de PARE

É notório a importância do triângulo de campo de visão para que os motoristas das vias secundárias tomem uma decisão segura sobre a interação com a via principal, devendo ser disponibilizado em todo cruzamento controlado por sinalização de parada ou dê a preferência (AASHTO, 2011). É importante que qualquer objeto próximo que obstrua a visão desses motoristas, como construções, veículos estacionados, árvores, paredes, vegetação não cortada e cercas, seja removido (AASHTO, 2011).

O ponto de decisão do motorista da via secundária se encontra no local em que existe uma abertura de visão suficiente para decidir entrar ou cruzar a via principal (AASHTO, 2011). A distância  $a_2$  é igual a distância  $a_1$  adicionada do comprimento da via e de qualquer outra estrutura de divisão das vias, com exceção de que essa separação seja larga o suficiente para permitir a parada de veículos antes de entrarem ou de atravessarem a faixa mais adiante (AASHTO, 2011). O comprimento do triângulo de campo de visão deve ser dimensionado com base em premissas de observações acerca do comportamento da abertura aceitável do motorista,

o qual é o *headway* mínimo entre dois veículos em que o motorista aceita cruzar ou entrar no fluxo principal (AASHTO, 2011).

Grandes cidades, que apresentam um crescimento municipal não planejado, tendem a apresentar maiores problemas. É comum encontrar interseções onde casas e estabelecimentos comerciais avançam o espaço reservado para calçadas, diminuindo a distância  $a_1$  e levando os motoristas das vias secundárias a avançar a via principal para obterem uma melhor visão.

### **3. ESTUDOS OBSERVACIONAIS ANTES E DEPOIS NA ANÁLISE DA SEGURANÇA VIÁRIA**

Os estudos observacionais do tipo “antes” e “depois” são uma ferramenta de extrema importância na análise de entidades viárias que sofrem tratamentos, pois intervenções nesse ramo são geralmente reativas e a solução não é passível de testes antes da sua aplicabilidade. É comum a comparação entre segurança e o número de acidentes. Deve-se perceber que a quantidade de acidentes varia de um período para outro, mesmo quando não há mudança visível em qualquer fator causal (Hauer, 2002). A essência da natureza dos acidentes está na sua aleatoriedade e, portanto, podemos considerar a segurança de uma entidade relacionada ao número esperado de acidentes ou ao número esperado de acidentes discriminados por tipo e severidade durante um período específico (Hauer, 2002).

Hauer (2002) afirma que a segurança global varia com o tempo e que não pode ser assumido que a não realização do tratamento faria com que a segurança no período “depois” fosse igual à do período “antes”. Objetivando a realização da análise de tratamentos em um grupo de estudo, têm-se duas principais tarefas a serem completadas: primeiramente, precisa-se prever qual seria a segurança da entidade no período “depois” caso não houvesse tratamento e, por fim, estimar qual o nível de segurança das entidades tratadas no período “depois” (Hauer, 2002). Não deve-se assumir que todos os fatores que influenciam a segurança permanecem constantes de um período “antes” para um período “depois” qualquer, já que os efeitos de fatores causais, como o tráfego de veículos, o comportamento climático e a demanda de viagens, não podem ser facilmente medidos, entendidos ou modelados (Hauer, 2002).

Existem diversas maneiras de predições dos parâmetros de estudo, sendo assim, a preferência é sempre por métodos que apresentem melhores premissas (Hauer, 2002). As mais comumente utilizados são: estudo “antes” e “depois” simples ou *naïve*, estudo “antes” e “depois” com grupo de comparação e a abordagem Empírica de Bayes. As metodologias envolvem desde a estimação do número esperado de acidentes no período “depois” até a estimação das variâncias, essencial para esse tipo fenômeno, considerado raro e aleatório. As expressões completas para a aplicação dos métodos são encontradas em Hauer (2002).

#### **3.1. Método “antes” e “depois” simples**

Esse método consiste em uma comparação entre a contagem de acidentes no período antes do tratamento de uma certa entidade e a contagem de acidentes no período depois do tratamento (Hauer, 2002). Portanto, estima uma mistura de efeitos devido ao tratamento realizado e a outras influências das condições dos motoristas e das entidades.

Um acidente pode ser ocasionado por uma convergência de diversos fatores muitas vezes externos ao motorista. O volume de tráfego, as condições climáticas, o comportamento dos usuários da via, as frotas veiculares, entre outros, mudam de forma autônoma ao longo do tempo

e, portanto, a mudança na segurança do período antes para o período depois do tratamento é um reflexo da mudança desses fatores juntamente com o efeito do tratamento realizado (Hauer, 2002).

Além do próprio tratamento, outras intervenções implementadas na região de estudo no período antes ou depois alteram os resultados de segurança da via, ou, até mesmo a probabilidade de se reportar o acidente pode variar ao longo do tempo, o que interfere na análise quando se utiliza o estudo “antes e depois” simples (Hauer, 2002).

### **3.2. Método “antes” e “depois” com grupo de comparação**

A utilização de um grupo de comparação (GC) tem como principal objetivo a identificação de um conjunto de entidades que não sofreram tratamento e que possuam características similares às entidades tratadas. A expectativa é que a mudança na segurança no período “antes” e “depois” do GC seja indicativo de como a segurança do grupo de tratamento deveria ter variado. Logo, considera-se a influência da variação de fatores causais que mudam com o tempo (Hauer, 2002).

O estudo observacional que utiliza o grupo de comparação baseia-se na premissa que, na ausência do tratamento, a razão esperada do número de acidentes “antes” e “depois” seria a mesma para os grupos de tratamento e de comparação. Assume-se, portanto, que os diversos fatores que afetam a segurança mudaram no período “antes” e “depois” da mesma maneira, como também a sua influência sobre a segurança dos grupos. O método com GC busca estimar de maneira específica os efeitos da segurança causados pelo tratamento, diferentemente do método simples que não faz distinção entre efeitos do tratamento e todos os outros fatores causais que variam com o tempo.

### **3.3. Abordagem Empírica de Bayes**

Apesar de se tentar estimar a quantidade de acidentes “depois” do tratamento da melhor forma possível, ainda restam considerações relativas ao fenômeno que não são consideradas nas abordagens anteriores. Primeiro, não se pode assumir que o histórico de acidentes não foi considerado na decisão de se tratar ou não uma determinada entidade. Isso acarreta em um problema conhecido como tendência de seleção ou fenômeno de regressão a média. Se a contagem de acidentes “antes” influencia na decisão do tratamento, a estimativa de acidentes depois é tendenciosa, podendo levar a resultados exagerados do efeito estudado. Segundo, assume-se que as mudanças no fluxo veicular são proporcionais, mesmo tendo conhecimento que o fluxo e a segurança raramente apresentam uma relação linear.

A Abordagem Empírica de Bayes utiliza dados relativos ao fluxo veicular e a série histórica de acidentes das entidades a fim de prever o que ocorreria no período “depois”. Dessa forma, essa metodologia é capaz de considerar o fenômeno de regressão a média e fazer uma estimativa melhor sobre a quantidade esperada de acidentes.

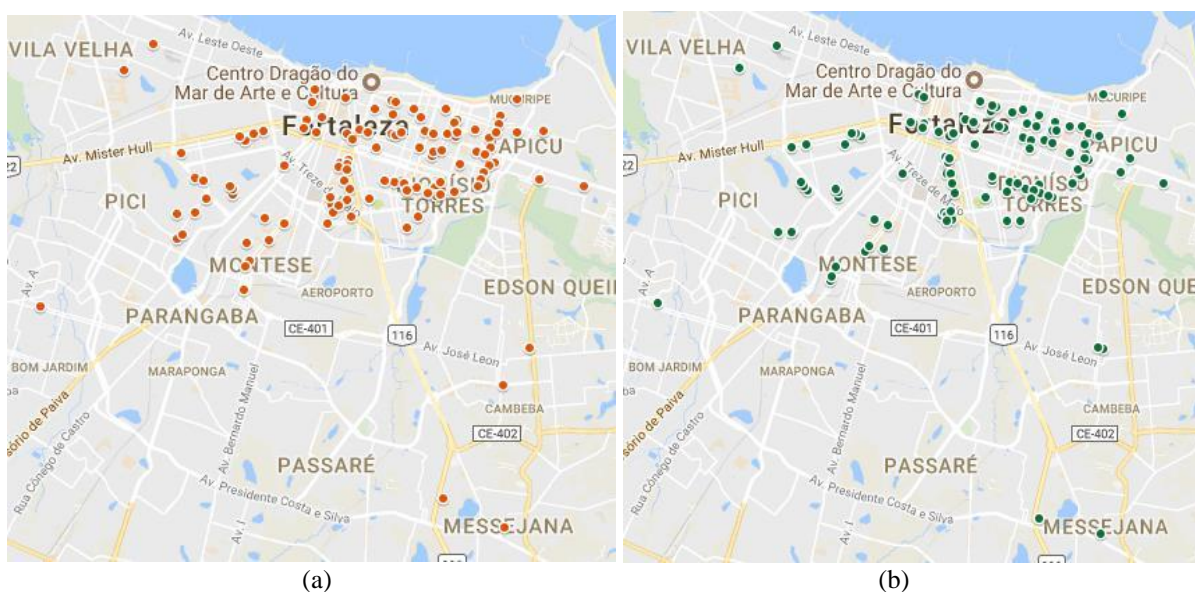
## **4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO E RESULTADOS**

Nesse estudo, foi realizado o detalhamento das etapas metodológicas empregadas para a análise do impacto de intervenções em interseções não semaforizadas da cidade de Fortaleza. São elas: (a) seleção da amostra, (b) coleta dos dados, (c) Aplicação dos métodos “antes e depois” e (d) Análise dos resultados. Devido a não disponibilidade de dados de fluxo para as entidades tratadas, não será aplicado o método da Abordagem Empírica de Bayes.

#### 4.1. Seleção da Amostra

Foram realizadas um total de 139 intervenções, na cidade de Fortaleza, no ano de 2017 em decorrência da operação Esquina Segura. Uma análise preliminar reduziu a amostra utilizada no presente trabalho para 112 interseções não semaforizadas devido à falta de dados para algumas interseções no período de estudo.

Tendo em vista a análise pelo método com grupo de comparação, foi identificado um grupo de entidades que não sofreram tratamento. Portanto, com base nas 112 interseções tratadas, foram escolhidas outras 112 interseções não tratadas localizadas na mesma região e com características geométricas similares a do grupo de tratamento para compor o grupo de comparação. Espera-se, com isso, que os fatores temporais e espaciais que interferem na segurança variem de forma igual para o grupo de tratamento e de comparação. A seguir, na Figura 2, são apresentadas as localizações das entidades utilizadas no estudo.



**Figura 2:** Interseções não semaforizadas tratadas (a) e não tratadas (b)

#### 4.2. Coleta dos dados

Os dados de acidentes de Fortaleza utilizados para análise deste trabalho foram coletados através da Central de Atendimento aos Cidadãos (SAC) da Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC). A AMC é o órgão municipal responsável pela gerência do trânsito. Foram utilizadas as informações de todas as ocorrências coletadas relacionadas aos acidentes de trânsito registradas pelo SAC no período entre janeiro de 2015 e junho de 2018. Esses dados são registrados de forma a informar o local, o tipo, a data, o horário do acidente e a severidade do acidente, detalhando a gravidade da ocorrência (vítimas fatais, vítimas feridas ou apenas danos materiais).

Com base no banco de dados de acidentes do período, foram investigadas as interseções que sofreram intervenções de melhoria do desenho geométrico, da renovação de sinalização horizontal e vertical e da intensificação da fiscalização por meio da operação Esquina Segura. Dessa forma, foram coletados os dados sobre a quantidade de acidentes “antes” e “depois” do tratamento.

A partir da análise dos dados obtidos para o grupo de tratamento e de comparação, foi possível observar que ocorreram ao todo no período “antes” 1208 acidentes e no período “depois” 200. Foram observados 468 acidentes com vítimas no período “antes” e 73 no período “depois”. Em relação aos acidentes sem vítimas, observou-se 691 “antes” e 123 “depois”. Finalmente, acidentes envolvendo pedestres feridos foram 49 “antes” e 4 “depois”.

### 4.3. Aplicação dos métodos “antes” e “depois”

Em decorrência da variabilidade temporal dos tratamentos e do fato deles terem sido realizados pouco tempo antes ao fechamento da análise do presente trabalho, a duração dos períodos “antes” foi fixada em 24 meses, e dos períodos “depois” ficaram em média 11 meses para as entidades tratadas. Com isso, a correção pela razão de duração ( $r_d$ ) para os dados analisados foi aplicada, conforme a Equação 1.

$$r_d(j) = \frac{\text{Duração do período depois para a entidade } j}{\text{Duração do período antes para a entidade } j} \quad (1)$$

Para avaliar o tamanho da amostra em termos de acidentes de trânsito no período anterior utilizando a metodologia proposta pelo Hauer (2002), com base nos valores de  $\theta$ , definiu-se o valor da relação entre os períodos antes e depois ( $r_d$ ) para cada entidade de estudo, obtendo um valor médio de 0,46. Pela análise preliminar do método simples, o valor de  $\theta$  postulado foi de 0,36 e desvio padrão  $\sigma\{\theta\}$  de 0,028. Portanto, o número de acidentes no período “antes” necessários para uma boa identificação do efeito do tratamento é de 1194 acidentes. Dessa forma, como a coleta de dados possui uma quantidade de 1208 acidentes no período “antes” do tratamento, verifica-se a validade do estudo em questão.

Em relação aos acidentes alvos para realização das análises, foram utilizados apenas os dados relativos a quantidade de acidentes totais, com vítimas feridas, sem vítimas e com pedestres feridos. Embora fosse possível a obtenção dos dados de vítimas fatais, esses dados foram desconsiderados para uma análise específica, pois não possuíam quantidade de acidentes significativa para a aplicação da metodologia de estudo.

#### 4.3.1 Antes e depois simples

Na Tabela 1 é possível observar os valores do índice de efetividade ( $\theta$ ) e os limites dos intervalos de confiança obtidos com base na metodologia simples.

**Tabela 1:** Valores médios de  $\theta$  com intervalo de confiança de 95% para o método simples

	Total	Vítimas	Pedestres	Sem vítimas
$\theta$	0,36	0,34	0,18	0,39
$\theta+2\sigma\{\theta\}$	0,42	0,42	0,36	0,46
$\theta-2\sigma\{\theta\}$	0,31	0,25	0,00	0,31

Percebe-se que, em todos os acidentes alvos analisados, o valor de  $\theta$  é consideravelmente baixo. Isso indica que a junção dos efeitos da operação Esquina Segura com os fatores externos que influenciam a segurança da cidade apresentaram uma redução no número esperado de acidentes. Entretanto, não é possível avaliar os efeitos isolados da intervenção apenas com os resultados obtidos nessa análise.

#### 4.3.2 Antes e depois com grupo de comparação

Os resultados dos valores médios de  $\theta$  e os limites dos intervalos de confiança para cada cenário analisado pelo método com GC são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Valores médios de  $\theta$  com intervalo de confiança de 95% para o método com GC

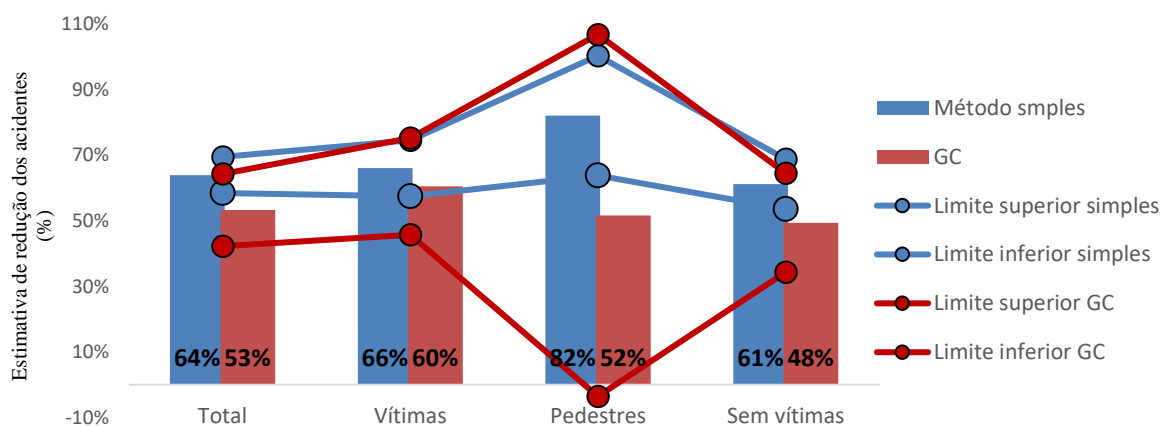
	Total	Vítimas	Pedestres	Sem vítimas
$\theta$	0,47	0,40	0,48	0,52
$\theta+2\sigma\{\theta\}$	0,58	0,53	1,03	0,66
$\theta-2\sigma\{\theta\}$	0,37	0,26	-0,06	0,38

Com base nesses resultados, percebe-se uma coesão entre os valores obtidos pelos dois métodos para a quantidade total de acidentes, com vítimas e sem vítimas. Para o GC, são observados valores médios de  $\theta$  maiores que para o método anterior. Isso sugere que houve um aumento na segurança devido a fatores globais externos ao tratamento.

Para os resultados de acidentes envolvendo pedestres feridos, existe uma diferença considerável entre os valores médios, além do intervalo de confiança ser consideravelmente grande. Essa elevada variação nesse acidente alvo deve-se a baixa quantidade de observações comparada com os outros cenários, que leva a resultados imprecisos.

#### 4.4. Análise dos resultados

Sendo a redução do número esperado de acidentes a diferença  $1-\theta$ , a Figura 3 apresenta os valores percentuais médios de redução e os seus respectivos intervalos de confiança.



**Figura 3:** Comparação na alteração do nível de segurança pelo método simples e com GC

Fica evidente a diferença entre os resultados obtidos pelos dois métodos, pois utilizando o grupo de comparação, a redução percentual no número de acidentes devido à implantação é menor do que a redução global devido a fatores externos apresentados no estudo simples.

Em relação a quantidade de acidentes totais, pode-se concluir que a implantação da operação Esquina Segura foi responsável pela redução de em média 53% no número esperado de acidentes, o qual para um intervalo de confiança de 95% apresenta redução esperada entre 42% e 63% no número de acidentes. Quanto aos acidentes envolvendo pedestres, é perceptível que houve uma redução no número de acidentes, porém não é possível inferir acerca do efeito da operação Esquina Segura nos atropelamentos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tradicionalmente são utilizados dados sobre a frequência de acidentes observados para verificar a segurança de entidades rodoviárias. Com base nisso, a utilização de metodologias que levem em consideração a natureza estocástica e rara do fenômeno é de extrema importância para obter resultados que busquem isolar os efeitos específicos das intervenções estudadas.

Com base nos estudos observacionais realizados, verificou-se que a metodologia com a utilização do grupo de comparação apresentou resultados mais específicos sobre o efeito isolado da operação Esquina Segura quanto a segurança das interseções urbanas estudadas. Foi obtido um valor médio de índice de efetividade ( $\theta$ ) e intervalo de confiança de 95% de 0,36 [0,31 – 0,42] (simples) e 0,47 [0,37 – 0,58] (grupo de comparação). Dessa forma, utilizando os resultados do grupo de comparação, a operação Esquina Segura foi responsável pela redução em média de 53% no número esperado de acidentes. Quanto aos acidentes com vítimas, pode-se concluir que houve uma redução média de 60% no número esperado de acidentes e para os acidentes sem vítimas, a redução média foi de 48% no número esperado de acidentes devido à implantação da operação Esquina Segura. Em relação aos acidentes envolvendo pedestres, não há evidências estatísticas suficientes para avaliar a efetividade da intervenção na segurança.

Verifica-se, portanto, a efetividade de intervenções de renovação de sinalização horizontal e vertical, com intensificação de esforços de fiscalização de estacionamento irregular, na diminuição de acidentes em interseções urbanas não semaforizadas.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e Cidadania de Fortaleza (AMC) pelas informações disponibilizadas para o desenvolvimento desse trabalho e ao Professor Flávio José Craveiro Cunto pela mentoria durante a realização do estudo.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (2011). American Association of State Highway and Transportation Officials. *A policy on geometric design of highway and streets*. 6. ed. Washington, DC.
- DNIT (2005). *Manual de projeto de interseções*. 2. ed., v. 5.: Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.
- FORTALEZA (2017). *Relatório anual de segurança viária*. Prefeitura de Fortaleza. Fortaleza, CE.
- GOLD, P. A. (1998). *Segurança de trânsito: aplicações de engenharia para reduzir acidentes*. 1. ed. Banco Interamericano de Desenvolvimento. USA.
- HAUER, E (2002). *Observational before-after studies in road safety: estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety*. 1. ed. Tarrytown, NY.
- SETTI, J. R. A. *Tecnologia de transportes*. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP.
- WHO (2015) World Health Organization. *Global status report on road safety*. Geneva, Switzerland.

---

William Gonçalves Bonfim (gbo.william@gmail.com)

Caio Assunção Torres (caio@det.ufc.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará  
Campus do Pici - Bloco 703 – Fortaleza, CE, Brasil