

# REDUÇÃO DE ACIDENTES DEVIDO À REPROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA

Luis Vilanova e João Cucci Neto \*

## RESUMO

Este trabalho registra o método utilizado em São Paulo na etapa preparatória para a transição do sistema de controle semaforizado de tempos fixos para o de tempo real na cidade e suas conseqüências em relação aos acidentes de trânsito. Essa transição, que ocorreu a partir do segundo semestre de 1996, envolveu a elaboração de projetos funcionais, auditorias de segurança, elaborações de novas programações semafóricas e acompanhamento das implantações para ajustes em campo. Tal metodologia foi estabelecida priorizando-se as ações voltadas à segurança viária. Apresentam-se, aqui, os resultados da aplicação desse método nos primeiros 133 cruzamentos implantados na Central de Tráfego em Área 1 – CTA-1, que abrange a região central da cidade. Após um ano de implantação verificou-se a queda na quantidade dos acidentes com vítima de 210 para 162 casos e de 141 para 70 ocorrências nos atropelamentos, comparando-se os anos de 1995 e 1997. Essa significativa redução motivou o desenvolvimento de uma investigação detalhada para identificação dos seus fatores contribuintes. Para tanto, foram utilizadas duas técnicas estatísticas: “Diferença das Médias pela Distribuição de Student” e “Regressão Múltipla Paramétrica”.

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho decorre da implantação do sistema de controle semafórico em tempo real na cidade de São Paulo, que se iniciou em junho de 1996. O projeto consistiu na instalação de cinco centrais de controle (uma em cada Zona da cidade: Norte, Sul, Leste e Oeste e uma na área central) que, além do controle semafórico, receberam sistemas de circuito fechado de câmeras de TV. O escopo do projeto previa 1.507 cruzamentos em tempo real e 164 câmeras de TV nas principais vias da cidade. Devido a empecilhos administrativo-jurídicos, o projeto ainda não foi completamente implantado.

O presente estudo foi desenvolvido na área central da cidade, na CTA-1. Ela abrange, além do centro propriamente dito, as regiões da Av. Paulista, Jardins, Ibirapuera, Vila Mariana, Av. Juscelino Kubitschek, Av. dos Bandeirantes e outros eixos e bairros que compõem o “centro expandido” da cidade, perfazendo 667 cruzamentos semaforizados, boa parte deles monitorada por 78 câmeras de TV. A análise tomou como base o ano de 1997, quando havia 133 cruzamentos e 19 câmeras em operação na CTA-1.

O trabalho detalhado no capítulo seguinte foi executado por uma equipe formada por funcionários da Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, que teve, ao longo de todo o desenvolvimento das atividades de implantação, o envolvimento de uma média de quinze profissionais de nível superior (engenheiros, arquitetos e tecnólogos), que realizaram os projetos, as programações dos semáforos e as regulagens em campo e doze de nível técnico, responsáveis pela operação das mesas do controle centralizado.

## **2. METODOLOGIA DO ESTUDO DE SEGURANÇA**

A metodologia de implantação de uma interseção semaforizada CTA foi dividida em quatro etapas: elaboração dos projetos funcionais, auditoria de segurança, elaboração da programação semafórica e acompanhamento da implantação. A partir desse ponto a interseção passava a operar em tempos fixos. Posteriormente, se iniciavam os procedimentos de coleta de dados e de validação para operação em tempo real.

### **2.1. Elaboração dos projetos funcionais**

O projeto CTA previa a substituição do sistema de controle em interseções que já eram semaforizadas. Mas, devido às características operacionais específicas tanto do controle em tempo real quanto dos novos equipamentos (controladores), houve a necessidade de se elaborar projetos funcionais para adaptação à nova tecnologia. Os controladores utilizados, por serem de grande porte e capacidade de recursos, permitiam a confecção de programações semafóricas mais complexas e com mais flexibilidade. Para elaboração dos projetos funcionais, cada local foi vistoriado e, além da abordagem sob o ponto de vista operacional, foram feitas análises críticas em relação à segurança do trânsito. Esse cuidado gerou uma série de modificações, como: inclusão de grupos semafóricos para pedestres; utilização de estágios para pedestres sob demanda através de botoeiras; modificações no arranjo físico da instalação (posicionamento dos grupos focais veiculares, colunas, etc.) e alteração na seqüência de estágios. Cada projeto funcional se desdobrava em três projetos executivos: de instalação (colunas, grupos focais e elétrica); de obras civis (dutos, base de controlador, etc.) e de laços detectores, que são os elementos responsáveis pela coleta dos dados de fluxo para operação em tempo real.

### **2.2. Auditoria de segurança viária**

Os contratos dos projetos de cada uma das cinco CTAs previam que cada interseção receberia uma auditoria de segurança viária, feita por um órgão independente.

O procedimento da auditoria consistia em uma vistoria prévia por parte dos agentes auditores, baseada no projeto funcional. Sobre ele eram feitas observações relativas à segurança, como visibilidade e posicionamento dos grupos focais do semáforo, entre outras. As observações dos auditores eram encaminhadas aos projetistas da CTA, que as analisavam. O resultado da auditoria era apresentado em reunião e, havendo divergência, uma vistoria conjunta entre os auditores e os analistas da CET era realizada no cruzamento em questão, onde se procurava um consenso. Cabe ressaltar que a palavra final pertencia à CET.

### **2.3. Elaboração da programação semafórica**

As programações semafóricas iniciais, de tempos fixos, de um modo geral, repetiam aquelas que eram utilizadas no controle semafórico existente, pois a grande maioria dos locais da CTA-1 já operava em modo centralizado em tempo fixo. Houve a necessidade de um trabalho de adaptação, principalmente para melhor aproveitar os melhores recursos dos novos controladores. Procurou-se, em especial, tratar detalhadamente a questão dos entretornos (tempos de amarelo e vermelho geral) e dos tempos de travessia de pedestres. As equipes

técnicas envolvidas no projeto se reuniram e elaboraram um critério único de tratamento. Essa abordagem gerou uma série de modificações nas programações antigas, sempre favoráveis à segurança.

#### **2.4. Acompanhamento da implantação**

Pelas características da implantação do Projeto CTA-1 (área central da cidade, com alto nível de saturação e a convivência, ainda que provisória, de sistemas de controle diferentes em interseções adjacentes), houve a necessidade de um intensivo acompanhamento pelos analistas em campo de cada interseção implantada. Além da conferência dos itens de projeto, esse acompanhamento tinha a função de realizar ajustes da programação. Esses ajustes de campo tinham funções múltiplas: conferência da programação central e local; ajustes finos de temporização (partição de verde, ciclo e defasagem) e compatibilização com o controle adjacente. Esse acompanhamento foi feito durante os dias úteis (em geral, entre 6h30 e 21h00) e nos finais de semana, o que também resultou em ajustes de programação, favoráveis tanto à segurança como à fluidez.

### **3. QUADRO GERAL DOS RESULTADOS OBTIDOS**

Foram analisadas 133 intersecções semaforizadas, com os seguintes resultados:

Ano	1995	1997
Acidentes com vítima	210	162
Atropelamentos	141	70

Outros resultados:

- 41 cruzamentos não tiveram nenhum acidente em 1995 e 1997;
- 73 cruzamentos não tiveram nenhum atropelamento em 1995 e 1997;
- 55 cruzamentos não tiveram nenhum acidente com vítima em 1995 e 1997.

### **4. ANÁLISE DOS DADOS**

#### **4.1. Objetivo**

A análise procurou verificar quais as ações tomadas no Projeto CTA-1, e em que medida, foram responsáveis pela variação do número de acidentes nos 133 cruzamentos contemplados.

#### **4.2. Metodologia Utilizada**

Inicialmente, foram escolhidas as ações que poderiam ter influenciado os resultados. Os critérios adotados para esta escolha foram de natureza subjetiva, orientados pela experiência dos autores em projetos semelhantes.

A análise foi feita, isoladamente, para o conjunto dos atropelamentos e para o conjunto das colisões com vítimas, pois são acidentes provocados por situações muito diferentes entre si. Não foram abordados os acidentes do tipo “sem vítimas”, devido ao fato de serem pouco representativos da efetiva realidade, pois a maior parte não é sequer relatada aos órgãos oficiais.

O projeto foi implementado de junho a outubro de 1996. A fim de representar as situações “antes” e “depois”, foram escolhidos, respectivamente, os anos de 1995 e 1997, os mais próximos entre si, com o objetivo de reduzir a ocorrência de outras influências. Não foi necessário assegurar um período de estabilização entre o fim das instalações e o início da coleta dos dados referentes à situação “depois”, devido ao caráter das intervenções realizadas pelo projeto, que não exigiram um período de compreensão e absorção por parte dos usuários.

Para comparar os resultados dos dois anos, utilizou-se, numa primeira abordagem, o método da “Diferença das Médias pela Distribuição de Student”, com o objetivo de identificar quais das ações foram efetivamente responsáveis pelas variações observadas. O Anexo, encontrado no final deste artigo, detalha os dados e resultados obtidos pela aplicação desta abordagem. Posteriormente, os dados foram submetidos ao método da “Regressão Múltipla Paramétrica”, visando quantificar o grau de influência de cada um das ações já identificadas como responsáveis. No final do trabalho, os resultados dos dois métodos foram confrontados, para as ações explicitadas em ambos.

Com o propósito de simplificar a equação da “Regressão Múltipla Paramétrica”, foram retirados da amostra todos os cruzamentos que apresentaram zero acidentes, tanto na situação “antes” como na “depois”. Esta decisão não compromete a análise estatística dos dados, para o fim que se persegue no trabalho. Visando preservar a possibilidade de comparação entre os dois métodos, adotou-se a mesma regra na análise da “Diferença das Médias”. Com isso, a amostra relativa ao estudo dos atropelamentos reduziu-se para 60 cruzamentos, enquanto que o conjunto dos acidentes com vítima ficou com 78 elementos.

Para garantir que a análise não fosse contaminada por eventos que tivessem ocorrido independentemente do Projeto CTA-1, adotou-se para o estudo de atropelamentos um índice igual a 0,76, que representa o quociente entre os atropelamentos totais na cidade de São Paulo em 1997 e em 1995. Assim, o quantitativo global, relativo à situação anterior, foi multiplicado por esse fator, permitindo uma comparação entre os dois anos, numa mesma base de referência. Analogamente, utilizou-se o mesmo procedimento para as colisões com vítimas, através do índice 0,89. Poderiam ter sido utilizados como padrão de referência, ao invés dos dados globais da cidade, aqueles relativos ao conjunto dos cruzamentos com semáforos em avenidas semelhantes às que fizeram parte do projeto; entretanto, como os resultados dos dois caminhos mostraram-se extremamente próximos, optou-se pelos dados mais gerais.

### 4.3. Identificação das Ações Responsáveis

Antes de iniciar, propriamente, a análise das ações individuais, os conjuntos “antes” e “depois” foram submetidos, como um todo, ao teste “Diferença das Médias pela Distribuição de Student”. No que tange aos atropelamentos, para o conjunto dos 60 cruzamentos analisados, o parâmetro  $t$  foi igual a  $-3,30$ , já expurgados os efeitos externos. O índice é de  $-1,66$  para um intervalo de confiança de 95% e de  $-2,38$  para um intervalo de confiança de 99% (60 cruzamentos). Portanto, é altamente significativo afirmar que os dois conjuntos são distintos e que ocorreram ações que causaram tal variação. Em relação às colisões com vítimas, foi encontrado o índice  $t$  de  $-0,45$ , já expurgados os efeitos externos. O índice  $t$  para um intervalo de confiança de 95% é de  $-1,65$  (78 cruzamentos). A princípio, não se pode dizer que os dois conjuntos difiram entre si, nem se adotando um patamar provavelmente significativo. Entretanto, as análises posteriores mostraram que o que ocorreu nesse caso foi que algumas ações se encarregaram de reduzir o número de acidentes enquanto outras foram responsáveis por aumentá-los.

A seguir, passou-se a identificar as conseqüências de cada ação. Para calcular os efeitos de uma certa ação, separou-se o conjunto total dos cruzamentos em dois subconjuntos: o primeiro, denominado  $A$ , composto pelos acidentes nos cruzamentos em que a ação foi tomada e o segundo, denominado  $B$ , composto pelos acidentes nos cruzamentos que não sofreram tal ação. Calcula-se, então:

$$NNA'_{depois} = \frac{NNB_{depois}}{NNB_{antes}} * NNA_{antes} \quad (1)$$

O termo  $NNA'_{depois}$  representa o número de acidentes que se esperaria encontrar para o conjunto  $A$ , na situação “depois”, caso a ação em questão não tivesse sido tomada. Está implícito, neste encaminhamento, que o restante das ações distribue-se igualmente entre os conjuntos  $A$  e  $B$ , ou seja, que não há interdependência entre as ações. Tal hipótese pode ser considerada válida devido às características das ações escolhidas a princípio. A expressão (1) implica, também, em que estão sendo considerados, indiretamente, os efeitos dos fatores externos ao Projeto CTA-1.

O próximo passo foi o de comparar, pelo teste “Diferença das Médias”, os subconjuntos  $A$  (*depois*) e  $A'$  (*depois*) para cada uma das ações. Dessa forma, foi possível isolar as conseqüências de cada uma, e avaliar seus efeitos na ocorrência dos acidentes.

As Tabelas 1 e 2, no Anexo, apresentam os resultados encontrados.

Verifica-se, em relação aos atropelamentos, que as ações “entreverdes” e “grupo focal veicular” influíram, em um nível provavelmente significativo (intervalo de confiança de 95%), no número de ocorrências. Porém, enquanto a primeira foi responsável por uma redução dos atropelamentos, a segunda causou um aumento dos mesmos! Para as outras ações, os resultados encontrados não permitiram concluir pela hipótese da variação, no intervalo de confiança adotado.

No que diz respeito às colisões com vítimas, observa-se que a única ação causadora de variações, num nível provavelmente significativo, foi “grupo focal veicular”, e seus efeitos acarretaram aumento de acidentes. As outras ações não mostraram resultados que permitissem concluir pela sua influência, no nível de significância adotado.

#### 4.4. Grau de Influência das Ações Responsáveis

Uma vez caracterizadas as ações que efetivamente causaram impacto nos acidentes, procurou-se quantificar o respectivo grau de influência.

Existem três fatores a serem considerados, inicialmente, no caso dos atropelamentos: influências externas ao projeto CTA-1, ação “entreverdes” e ação “grupo focal veicular”. Entretanto, no tratamento estatístico pelo método do Teste das Médias, observou-se que, embora cada uma das demais ações não pudesse ser identificada como responsável isoladamente, o conjunto delas, entendidas como uma ação única, representaria uma influência significativa. Assim, configurou-se uma quarta ação a ser avaliada, denominada ação “múltipla”, que abrange as seguintes ações: “seqüência de estágios”, “botoeira”, “estágio de pedestres” e “grupo focal de pedestres”, bem como todas as ações que não haviam sido explicitadas, a princípio, como, por exemplo, a defasagem entre cruzamentos vizinhos.

Analogamente, no caso das colisões com vítimas, foram considerados ao todo três fatores: influências externas ao projeto CTA-1, ação “grupo focal veicular” e ação “múltipla”, que nesse caso abrange as seguintes ações: “entreverdes”, “seqüência de estágios”, “botoeira”, “estágio de pedestres”, “grupo focal de pedestres”, e ainda, as outras que não foram consideradas individualmente.

Para dimensionar o efeito de cada fator escolhido, utilizou-se o método da “Regressão Múltipla Paramétrica”. Neste método, considera-se a seguinte expressão básica, para cada um dos elementos da amostra (correspondente a cada um dos cruzamentos):

$$N_d = N_a * \sum_{i=1}^p K_i \quad (2)$$

em que,

$N_a$  - número de eventos da situação “antes”;

$N_d$  - número de eventos da situação “depois”;

$K_i$  - valor que representa a influência do fator  $i$  (correspondente a cada uma das ações)

$p$  - quantidade de fatores considerados

Deverá ser imposto o valor  $K_i = 1$  quando o correspondente fator  $i$  não estiver presente no elemento considerado.

O método busca encontrar o melhor conjunto de valores  $K_i$ , que deverão atender simultaneamente a todos os elementos da amostra (cruzamentos). O melhor conjunto será aquele que produzir o menor erro global.

A equação que foi utilizada para cálculo do erro global é a seguinte:

$$E_g = \sum_{j=1}^s \frac{(N_a * k - N_d)^2}{(1+k)^2 * (N_a + N_d)} \quad (3)$$

em que,

$E_g$  - erro global

$j$  - cada um dos elementos da amostra (correspondente a cada um dos cruzamentos)

$s$  - número total dos elementos da amostra (correspondente ao total de cruzamentos)

$k$  - produto dos valores  $K_i$  (equação 2)

Foi necessário desenvolver, especificamente para o presente estudo, a fórmula (3), a fim de superar o problema que surge quando o número de acidentes na situação “antes” é igual a zero. Esse desenvolvimento, bem como toda a aplicação do método da “Regressão Múltipla Paramétrica”, foi realizado com a colaboração do Eng. Pedro Szasz, consultor de Engenharia de Trânsito e Transportes.

A aplicação deste método ao estudo dos atropelamentos considerou os quatro fatores anteriormente descritos, sendo um deles prefixado com o valor de 0,76 (influências externas ao Projeto CTA-1). Os outros três fatores foram calculados com o auxílio da ferramenta Solver do aplicativo Excel. Chegou-se aos seguintes resultados:

- fator correspondente às influências externas ao Projeto CTA-1: 0,76
- fator correspondente à ação “entreverdes”: 0,55
- fator correspondente à ação “grupo focal veicular”: 1,69
- fator correspondente à ação “múltipla”: 0,54

Se um fator é inferior à unidade, isso significa que sua correspondente ação contribuiu para a diminuição dos acidentes; vice-versa para fatores superiores a um.

Pode-se verificar, dos resultados encontrados, a forte influência da ação “entreverdes” na redução dos atropelamentos, o que corrobora a conclusão correspondente do método “Diferença das Médias”. Da mesma forma, a ação “grupo focal veicular” contribuiu com aumento significativo neste tipo de acidentes. É interessante observar que as demais ações, condensadas como uma ação “múltipla”, foram responsáveis por uma redução também altamente significativa, embora a análise individual de cada uma delas não tenha se mostrado suficientemente marcante.

A análise para as colisões com vítimas foi análoga e chegou aos seguintes resultados:

- fator correspondente às influências externas ao Projeto CTA-1: 0,89
- fator correspondente à ação “grupo focal veicular”: 1,28

- fator correspondente à ação “múltipla”: 0,86

Observa-se que a ação “grupo focal veicular”, a exemplo do que já tinha ocorrido na outra abordagem, foi responsável por aumento no número de acidentes. As demais ações, aglutinadas como ação “múltipla”, se encarregaram de diminuir o número de colisões com vítimas de forma representativa.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise comparativa dos dados de acidentes mostrou o efeito positivo que a regulação semafórica pode ter na melhoria da segurança viária. O item “entreverdes” apresentou-se como de alta relevância entre os fatores contribuintes para a redução de acidentes registrada. Uma vez que o semáforo administra movimentos conflitantes e o entreverdes é o momento da transição do direito de passagem desses movimentos, seu correto dimensionamento é fundamental para a segurança da operação. Recomendamos a leitura do artigo “**Dimensionamento do tempo de entreverdes para os veículos**”, que pode ser encontrado neste mesmo site.

Outro aspecto que a análise dos dados mostrou e que deve ser ressaltado é a importância do acompanhamento das alterações semafóricas em campo. Os ajustes na temporização efetuados “in loco” após observações exaustivas, ainda que na maioria das vezes pequenos em termos absolutos, podem resultar a longo prazo em ganhos significativos na redução dos acidentes.

Se por um lado o resultado geral mostrou uma queda nos acidentes, a análise estatística desenvolvida mostrou que o fator “grupo focal veicular” resultou em aumento nos acidentes em algumas intersecções. Isso demandou uma investigação caso a caso para identificar que tipo de alteração na posição dos grupos focais interferiu nas condições de segurança do cruzamento, com a conseqüente correção posterior.

### Agradecimentos

A todos os envolvidos no trabalho: engenheiros, arquitetos, técnicos, estagiários, secretárias, motoristas, tanto da CET como nas demais empresas que participaram do Projeto CTA e que contribuíram, cada um com seu quinhão, para a diminuição do número de vítimas da violência do trânsito.

*\* Luis Vilanova é especialista em controle e monitoração de trânsito e trabalha, atualmente, na Gerência de Desenvolvimento Tecnológico da CET / SP.*

*João Cucci Neto é engenheiro da CET SP e professor de Engenharia de Tráfego no curso de Engenharia Civil da Universidade Mackenzie.*

## ANEXO

As duas tabelas seguintes pormenorizam o estudo da influência das ações na redução dos atropelamentos e das colisões com vítimas, quando d análise pela Distribuição de Student.. São utilizadas as seguintes notações:

- Q – quantidade de cruzamentos que existem no respectivo subconjunto;
- B – subconjunto composto pelo número de acidentes anuais dos cruzamentos em que a ação estudada não foi tomada;
- A – subconjunto composto pelo número de acidentes anuais dos cruzamentos em que a ação estudada foi tomada;
- A' – subconjunto composto pelo número de acidentes anuais dos cruzamentos em que a ação estudada foi tomada, caso tal ação não tivesse ocorrido;
- t(Ação) - índice de Student, calculado para comparar os subconjuntos A' (depois) e A (depois), em relação à ação estudada;
- t(x%) - índice de Student para intervalo de confiança de x%, conforme o número de graus de liberdade (gl) da amostra estudada;
- Concl. – Conclusão. A informação “sim” significa que a ação estudada foi responsável por uma variação significativa no número de acidentes; “não” significa que não se pode afirmar isto, no nível de significância adotado.

Alteração/Inclusão	Entreverdes	Seq.Estágios	Botoeiras	EstágioPed	GrupoFocalVeic	GrFocPed
QB	34	54	30	52	28	29
MEDIA B(Antes)	1,32	1,89	1,9	2,06	1,96	2,17
MEDIA B(Depois)	0,71	0,81	0,63	0,77	0,61	0,72
QA	26	6	30	8	32	31
MÉDIA A(Antes)	3,19	4,33	2,34	2,62	2,28	2,39
MÉDIA A'(Depois)	1,7	1,87	0,79	0,98	0,71	0,8
MÉDIA A(Depois)	1,04	1,17	1,07	1,38	1,06	0,94
DESV A(Antes)	2,14	2,73	2,22	2,39	2,35	2,25
DESV A'(Depois)	1,14	1,18	0,74	0,89	0,68	0,72
DESV A(Depois)	0,92	0,98	0,98	1,41	0,91	0,96
t (Ação)	-2,27	-1,02	1,22	0,62	1,75	0,64
t (95% , gl)	-1,68	-1,81	1,67	1,76	1,67	1,67
t (99% , gl)	-2,41	-	-	-	2,39	-
Concl.	sim	não	não	não	sim	não

**Tabela 1 - Teste “Diferença das Médias” aplicado aos atropelamentos**

Alteração/Inclusão	Entreverdes	Seq.Estágios	Botoeiras	EstágioPed	GrupoFocVeic	GrFocalPed
QB	51	73	48	69	39	47
MEDIA B(Antes)	1,73	2,21	2,35	2,13	1,97	2,38
MEDIA B(Depois)	1,43	1,86	2,04	1,91	0,97	1,77
QA	27	5	30	9	39	31
MÉDIA A(Antes)	3,37	3,6	2,2	3,56	2,62	2,16
MÉDIA A'(Depois)	2,8	3,04	1,91	3,19	1,29	1,6
MÉDIA A(Depois)	2,7	2	1,6	1,56	2,77	2,03
DESV A(Antes)	3,18	4,04	2,89	3,94	2,22	2,34
DESV A'(Depois)	2,63	3,41	2,51	3,54	1,65	2,02
DESV A(Depois)	2,54	2,83	1,85	1,42	2,82	2,41
t (Ação)	-0,13	-0,47	-0,53	-0,04	2,79	0,75
t (95%, gl)	-1,68	-1,86	-1,67	-1,75	1,67	1,67
t (99%, gl)	-	-	-	-	2,39	-
Concl.	não	não	não	não	sim	não

**Tabela 2 - Teste “Diferença das Médias” aplicado às colisões com vítimas**