

NT 224

2012

# O FENÔMENO DA REGRESSÃO PARA A MÉDIA EM ESTUDOS OBSERVACIONAIS DE SEGURANÇA DE TRÁFEGO DO TIPO “ANTES-DEPOIS”

SUN HSIEN MING

## 1. INTRODUÇÃO

Com a crescente necessidade de deslocamento de pessoas e de bens e o consequente aumento da frota circulante de veículos, houve aumento substancial na exposição de risco a acidentes de trânsito, com crescimento preocupante de vítimas e danos materiais. A mortalidade no trânsito atingiu intensidade tal que é considerado um problema de saúde pública, superando muitas vezes o número de homicídios [1].

Para combater tal problema, autoridades de trânsito têm investido cada vez mais em políticas, programas, tratamentos ou intervenções em locais com alta incidência de acidentes, visando melhorar o nível de segurança viária. Dada a diversidade de alternativas possíveis para tratar o mesmo problema, é fundamental avaliar de forma quantitativa a eficiência da medida aplicada para permitir comparações com outras soluções, bem como para subsidiar decisões para implantações futuras em outros locais.

Um método normalmente utilizado para medir o efeito de uma medida aplicada é o estudo do tipo “antes-depois”, que consiste, basicamente, em comparar o número de acidentes do período antes da aplicação da medida com o período depois da aplicação da medida. Esse método é conhecido como “Método Ingênuo” (*Naïve Method*). Contudo, esse método, entre outras deficiências, está sujeito ao efeito da Regressão para a Média, fenômeno que tende a superestimar a eficiência da medida aplicada.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma explanação sobre o que é o fenômeno da Regressão para a Média, a sua natureza e a sua influência nos resultados de um estudo do tipo “antes-depois”. São apresentados neste trabalho exemplos utilizando dados reais de acidentes para comprovar a existência desse fenômeno.

Não faz parte do escopo deste trabalho apresentar, propor ou analisar metodologias que visam neutralizar o efeito do fenômeno da Regressão para a Média nos resultados obtidos em estudos do tipo “antes-depois”. Contudo, na parte final do trabalho são mencionadas algumas alternativas para evitar ou contornar o problema da Regressão para a Média.

Em particular, o trabalho pretende:

- a) tecer algumas considerações sobre estudos do tipo “antes-depois” para avaliar a eficiência de medidas ou tratamentos que visam melhorar a segurança viária;
- b) explicar o que é o fenômeno da Regressão para a Média e a sua influência nos estudos “antes-depois”;
- c) fazer uma reflexão sobre o que é “um local perigoso”;
- d) mostrar que o simples uso do histórico de acidentes para definir a “periculosidade” de um local pode levar a “falsos-positivos” (considerar um local como “perigoso” quando na verdade não é) e “falsos negativos” (considerar um local como “não perigoso” quando na verdade é).

Com o presente trabalho, espera-se poder contribuir para uma discussão mais aprofundada sobre o tema, com o objetivo de aperfeiçoar cada vez mais as ferramentas de análise e de avaliação de projetos em engenharia de tráfego.

## 2. ESTUDOS OBSERVACIONAIS

Em um experimento de laboratório, há controle de todas as variáveis que podem influenciar o resultado, de forma que elas são mantidas constantes ao longo de todo o experimento. Assim, pode-se garantir que o resultado obtido é devido, única e exclusivamente, à grandeza em estudo.

Em experimentos estatísticos, a seleção dos indivíduos é feita de forma aleatória, de forma que qualquer indivíduo tem a mesma probabilidade de ser escolhido.

Um estudo observacional é um estudo empírico onde não se tem o controle das variáveis que podem influenciar o resultado (como se tem em experimentos de laboratório) e a escolha dos indivíduos não é aleatória (como ocorre em experimentos estatísticos).

Segundo [2], um estudo observacional é uma investigação empírica dos efeitos causados por um tratamento, política ou intervenção na qual não é possível selecionar aleatoriamente os indivíduos a serem tratados e tampouco haver controle do ambiente como seria em experimentos controlados.

Estudos do tipo “antes-depois” para medir a eficiência de medidas de segurança são essencialmente estudos observacionais, pois não é possível ter o controle de todas as variáveis que afetam a segurança (chuva, estacionamento, uso do solo, fluxo de veículos e pedestres, condições de pavimento, etc.) e os locais não são escolhidos por aleatoriedade, mas pelo seu histórico de acidentes (normalmente, são escolhidos os locais com maior frequência de acidentes).

Quando não há o controle sobre as variáveis que podem influenciar o resultado do experimento, o resultado obtido é mascarado pela influência dessas variáveis. Neste caso, as variáveis não controladas que afetaram o resultado obtido são conhecidas como “fatores de confusão” (*confounding factors*) [3].

Quando os locais não são selecionados por aleatoriedade, o correspondente estudo fica sujeito ao fenômeno de Regressão para a Média (*Regression to the Mean* ou *Regression toward the Mean* – RTM), o qual, se não tratado, provoca resultados viciados, geralmente superestimando a eficiência da medida de segurança aplicada. Embora a existência desse fenômeno esteja amplamente comprovada, observa-se, na prática, que uma grande parte das avaliações de tratamentos que visam melhorar a segurança viária é conduzida ignorando a influência desse fenômeno nos resultados obtidos. Com isso, os resultados obtidos são, indevidamente, atribuídos à eficiência da medida aplicada.

### 3. ESTUDOS “ANTES-DEPOIS”

A ideia básica de um estudo “antes-depois” é comparar o número de acidentes no período “depois” com o tratamento efetivamente aplicado com o número de acidentes que teria ocorrido no período “depois” se o tratamento não tivesse sido aplicado.

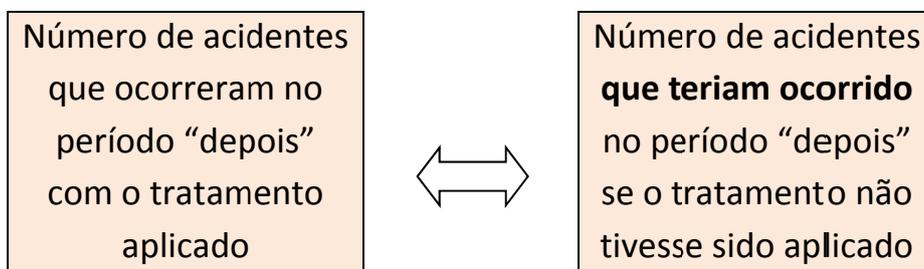


Figura 1. Ideia básica de um estudo “antes-depois”.

A expressão mais correta para “antes-depois” talvez fosse “depois com tratamento-depois sem tratamento” (ou, abreviadamente, “depois-depois”). A rigor, não há o período “antes”.

O problema fundamental de um estudo “antes-depois” é que não é possível conhecer o número de acidentes que teriam ocorrido no período “depois” se o tratamento não tivesse sido aplicado. Esse número só pode ser estimado. Todo o problema deriva do fato de como fazer essa estimativa.

A origem do termo “antes” vem do fato de que o número de acidentes que teriam ocorrido no período “depois” se o tratamento não tivesse sido aplicado é geralmente estimado como sendo igual ao número de acidentes que ocorreram no período “antes” da aplicação do tratamento.

	Com tratamento	Sem tratamento
Antes	---	173
Depois	144	?

	Com tratamento	Sem tratamento
Antes	---	173
Depois	144	173

Figura 2. Estimativa do número de acidentes que teriam ocorrido no período “depois” se o tratamento não tivesse sido aplicado é estimado como sendo igual ao número de acidentes que ocorreram no período “antes” da aplicação do tratamento.

Entretanto, essa não é uma boa estimativa. De fato, se ocorreram 173 acidentes no período “antes”, nada garante que também ocorrerão 173 acidentes no período seguinte. Um dos principais problemas dessa estimativa é a Regressão para a Média.

#### 4. O FENÔMENO DA REGRESSÃO PARA A MÉDIA

Segundo [4], em Estatística, Regressão para a Média é o fenômeno em que, se uma variável assume um valor extremo numa primeira medida, o seu valor tenderá a estar mais próximo da média numa segunda medida.

Uma outra definição poderia ser:

“Regressão para a Média é um fenômeno estatístico segundo o qual, tomada uma amostra não aleatória de dados de uma variável aleatória com média amostral distante da média da população, a média de uma amostra seguinte tenderá para a média da população.”

O motivo é que a tendência dos dados da população é a de gravitar em torno da sua média.

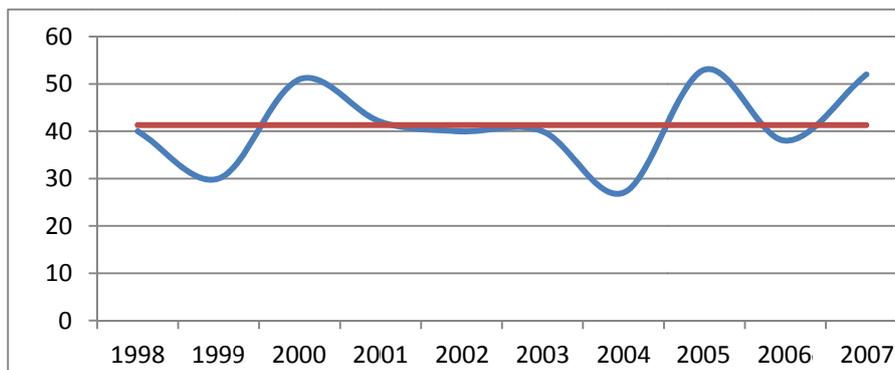


Figura 3. Os dados gravitam ou oscilam em torno da média.

Um exemplo da oscilação dos valores pode ser encontrado no mercado de ações. A ideia de “comprar na baixa” e “vender na alta” tem por base o fato de que após um período de alta pode suceder um período de baixa e vice-versa, de acordo com as oscilações do mercado.

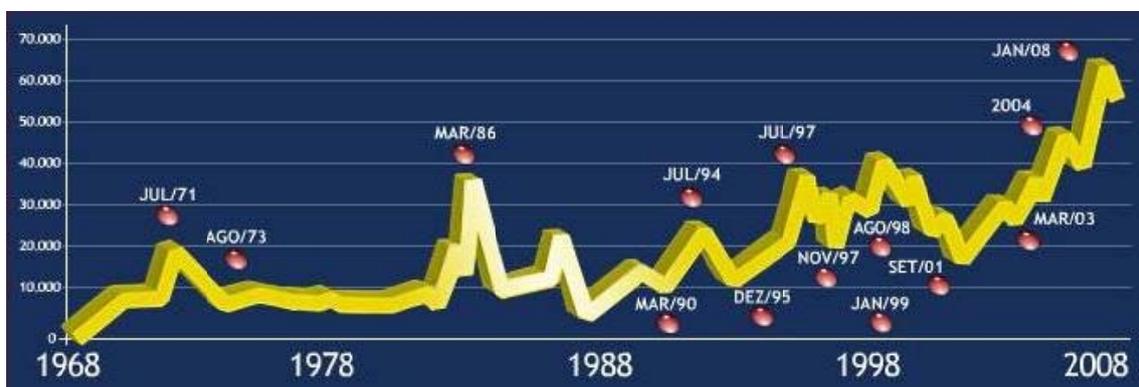


Figura 4. Evolução do IBOVESPA no período de 1968 a 2008.

Segundo Hauer [5], o fenômeno da Regressão para a Média foi relatado pela primeira vez por Francis Galton em 1877. Galton constatou que os filhos de pais altos eram, em média, mais baixos que os seus pais<sup>1</sup>.

O fenômeno ocorre quando a amostra não é aleatória. Quando a amostra é escolhida de acordo com algum critério que não a aleatoriedade, os resultados poderão estar contaminados pela Regressão para a Média. Por isso, o fenômeno também é conhecido como “vício de seleção” (*selection bias*). Uma amostra não aleatória é estatisticamente viciada.

Em [6] há um exemplo que ilustra a ocorrência do fenômeno. Numa sala de aula, 100 estudantes fazem uma prova com questões do tipo “Verdadeiro/Falso”. Suponha que todos os estudantes respondam a todas as questões de forma aleatória (“no puro chute”). A média esperada dos 100 estudantes é 50. Naturalmente, alguns estudantes terão notas acima de 50 e outros abaixo de 50. Se pegarmos os 10 estudantes que tiraram as notas mais altas e submetê-los a uma nova prova (onde vão responder novamente de forma aleatória), é de se esperar que a média desses 10 alunos seja menor do que a sua média anterior, uma vez que a média esperada desses 10 estudantes também é de 50. Então, a média dos 10 estudantes no segundo teste “regressaria” de volta à média esperada da classe inteira (de 100 estudantes), não importando se esses 10 estudantes obtiveram notas bem acima de 50 no primeiro teste. A redução da média dos 10 estudantes no segundo teste se deveu ao critério de escolha dos mesmos (as 10 maiores notas do primeiro teste). Se a escolha dos 10 estudantes tivesse sido aleatória, não haveria o efeito da Regressão para a Média.

Numa amostra aleatória suficientemente grande, a média da amostra representa a média da população da qual a amostra foi extraída. Neste caso, normalmente, é usado o valor da média da amostra como uma estimativa da média da população (geralmente desconhecida).

Quando a amostra não é aleatória, a média da amostra não representa a média da população, de forma que não se pode usar a média da amostra como uma estimativa da média da população. Neste caso, existe uma tendência de que a média da amostra fique mais próxima da média da população numa medida seguinte.

No exemplo de Francis Galton, a amostra dos pais não foi escolhida de forma aleatória, de modo que a média dos pais escolhidos não representa a média da população (“pais altos” significa que a média da altura dos pais selecionados é maior que a média da população). Logo, a altura média dos seus filhos (uma amostra seguinte) tenderá para a média da população (a qual é menor que a média da altura dos seus pais).

---

<sup>1</sup>A rigor, a altura dos filhos pode ser determinada por fatores hereditários dos pais, alimentação melhor que a dos pais durante a fase de desenvolvimento, prática de esportes e atividades físicas e outros fatores ambientais. Contudo, foi por meio dessa constatação que o Galton descobriu o fenômeno da Regressão para a Média no século XIX, permanecendo o exemplo válido para efeitos didáticos.

Num estudo de segurança de tráfego do tipo “antes-depois”, surge como natural a escolha do histórico de acidentes como a variável mais adequada para medir a eficiência da aplicação de um tratamento, pois o objetivo do tratamento é justamente a redução dos acidentes. Obviamente, os locais onde será aplicada a medida de segurança cuja eficiência quer se medir não são escolhidos de forma aleatória, mas sim, pelo seu histórico de acidentes.

Fazendo-se uma analogia com o exemplo de Francis Galton, o número de acidentes do período “antes” da aplicação da medida de segurança equivale à altura dos pais (assim como o Galton escolheu os pais mais altos, o engenheiro de tráfego escolhe os locais com maior frequência de acidentes). O número de acidentes do período “depois” da implementação da medida de segurança equivale à altura dos filhos. Assim como a altura média dos filhos foi menor que a altura média dos pais, a média de acidentes do período “depois” tenderá ser menor que a média de acidentes do período “antes”, independentemente da eficiência da medida de segurança aplicada.

Segundo [6], Hauer (1980) descreveu o fenômeno da Regressão para a Média com o seguinte exemplo:

*“ ... considere um grupo de 100 pessoas lançando um dado não viciado, um de cada vez. Suponha que tirar 6 no lançamento do dado seja indesejável e a pessoa que obter esse resultado é considerado ‘doente’. Selecione do grupo aqueles que obtiveram 6. Suponha que esse grupo de ‘doentes’ seja de 16 pessoas. Num esforço para ‘curar essa doença’, é administrado a cada uma dessas 16 pessoas um copo de água e, em seguida, é solicitado que essas 16 pessoas joguem o dado mais uma vez. Pode-se esperar que, das 16 pessoas, 2 ou 3 obtenham novamente 6 e que todas as demais pessoas desse grupo estejam ‘curadas da doença de obter 6’ devido ao efeito do copo de água (o copo de água teria uma eficiência de ‘cura’ de mais de 81%!...). Esse ‘sucesso’ do copo de água é devido inteiramente ao processo de seleção das pessoas para o tratamento.”*

Ainda segundo [6], o exemplo de Hauer pode, a grosso modo, ser comparado com a escolha de 16% de locais onde ocorreram mais acidentes (“pontos negros” – *black spots*) para receber um tratamento de segurança. É possível obter resultados estatisticamente bastante significativos (tais como os 81% do exemplo do dado) para tratamentos totalmente inócuos. Avaliações de programas de segurança para pontos negros, realizadas com base em histórico de acidentes, que não levem em consideração o efeito da Regressão para a Média são viciadas e tendem a superestimar a eficiência do programa avaliado.

## 5. JOGO DE DADOS E ACIDENTES

Na seção anterior foram dados dois exemplos para ilustrar o fenômeno da Regressão para a Média. O primeiro exemplo envolve um teste com questões do tipo “verdadeiro-falso”, respondidas ao acaso, e o segundo exemplo envolve lançamentos de dado.

Entretanto, pode-se perguntar: Os acidentes devem ser tratados como se fossem lançamentos de dado? Existem diferenças entre lançamentos de dado e os acidentes?

O lançamento de dado é um evento puramente aleatório. Não há relações de causa-efeito.

Na ocorrência de acidentes, podem-se constatar relações de causa-efeito. As causas são os fatores de risco. Por exemplo, a falta de visibilidade pode ser um fator para a ocorrência de acidentes (causa = falta de visibilidade; efeito = acidente).

Entretanto, apesar dessa diferença, os acidentes apresentam a mesma natureza que os lançamentos de dado, pois o acidente também é um evento aleatório e não um evento determinístico. Assim, os acidentes devem ser tratados da mesma forma como lançamentos de dado, isto é, a ocorrência de acidente é um evento aleatório e o número de acidentes é uma variável aleatória (assim como o lançamento de um dado é um evento aleatório e o resultado obtido no lançamento é uma variável aleatória).



Figura 5. Acidente como um evento aleatório e o número de acidentes como uma variável aleatória.

Uma variável aleatória possui uma distribuição de probabilidades e os seus dois momentos principais: esperança e variância.

A distribuição de probabilidades é uma associação entre o valor da variável aleatória e a probabilidade de sua ocorrência. A Figura 6a mostra a distribuição de probabilidades de um lançamento de dado e a Figura 6b a distribuição de probabilidades de acidentes.

Variável aleatória $X$	Probabilidade $P(X)$
1	1/6
2	1/6
...	...
6	1/6

Figura 6a. Distribuição de probabilidades de um lançamento de dado

Variável aleatória $X$	Probabilidade $P(X)$
0 acidente	$P(0)$
1 acidente	$P(1)$
2 acidentes	$P(2)$
...	...

Figura 6b. Distribuição de probabilidades de acidentes.

Na Figura 6b,  $X$  é o número de acidentes e  $P(X)$  é a probabilidade de ocorrerem  $X$  acidentes.

A esperança  $E\{X\}$  e a variância  $VAR\{X\}$  de uma variável aleatória são dadas pelas expressões:

$$E\{X\} = \sum_{i=1}^{\infty} X_i P(X_i) \quad \text{e} \quad VAR\{X\} = \sum_{i=1}^{\infty} [(X_i - E\{X\})^2 P(X_i)] \quad (1)$$

A esperança é a média teórica (ou a média esperada) da distribuição.

Usando as expressões (1), a esperança no lançamento de dado é  $21/6 = 3,5$  e a variância é  $35/12 = 2,92$ .

## 6. RELAÇÕES DE CAUSA-EFEITO

Foi dito na seção anterior que os acidentes devem ser tratados da mesma forma como o lançamento de dado, apesar da existência de relações de causa-efeito nos acidentes. Aqui, a pergunta é: onde entram as relações de causa e efeito?

No lançamento de dado, a esperança e a variância da distribuição são invariáveis ao longo do tempo. Desde que não sejam alteradas as características do dado, a esperança e a variância sempre serão 3,5 e 2,92, respectivamente.

Com relação aos acidentes, a esperança e a variância da distribuição variam em função da alteração dos fatores de risco ao longo do tempo (chuva, condições de pavimento, estacionamento, uso de solo, fluxo, etc.).

Os fatores de risco (causas) aumentam as chances de ocorrência de acidentes (efeito).

O aparecimento de um novo fator de risco ou o agravamento de um fator existente aumenta o valor da esperança e altera o valor da variância da distribuição da variável aleatória.

A eliminação ou redução de um fator de risco reduz o valor da esperança e altera o valor da variância da distribuição da variável aleatória.

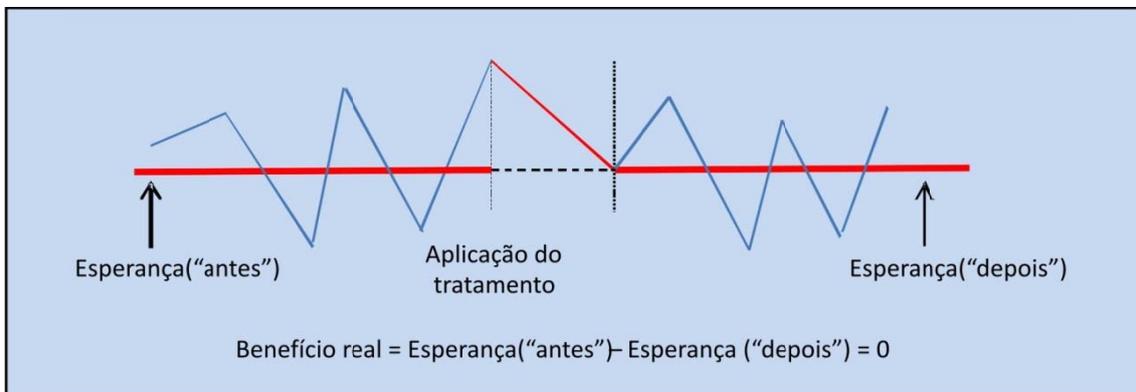
Quanto maior o período de observação, maior é a chance de ocorrerem variações dos fatores de risco.

O objetivo de qualquer tratamento que visa melhorar a segurança viária é eliminar ou reduzir um ou mais fatores de risco. Em consequência, a eficiência do tratamento deve ser medida pela redução do valor da esperança da distribuição. Assim, o benefício real de um tratamento deve ser medido pela diferença entre a esperança antes do tratamento e a esperança depois do tratamento e não pela diferença entre o número de acidentes do período “antes” e o número de acidentes do período “depois”. O valor da esperança não depende de oscilações aleatórias, enquanto que o número de acidentes oscila em torno do valor da esperança. Medir o efeito de

um tratamento pelo número de acidentes “antes” e “depois” é atribuir ao tratamento aplicado o efeito da oscilação aleatória (que iria ocorrer independentemente do tratamento aplicado).

As Figuras 7a a 7d ilustram as diversas possibilidades de influência da Regressão para a Média e têm como hipótese que, exceto o tratamento, todas as demais variáveis que influenciam a segurança permanecem constantes ao longo do tempo, de forma que a variação da esperança é devida única e exclusivamente ao tratamento aplicado.

A Figura 7a mostra uma situação em que a esperança antes do tratamento é igual à esperança depois do tratamento. O benefício aparente verificado pela redução de acidentes antes e depois do tratamento é devido exclusivamente à flutuação aleatória do número de acidentes. Mesmo que nada tivesse sido feito, teria ocorrido a redução de acidentes observada. Neste caso, o tratamento foi totalmente inócuo.



*Figura 7a. A redução observada de acidentes é devida exclusivamente ao fenômeno de regressão para a média.*

Na melhor das hipóteses, a redução observada de acidentes pode ser devida parcialmente aos efeitos da medida aplicada e parcialmente aos efeitos da Regressão para a Média, não se podendo determinar, entretanto, o grau de influência de cada um dos fatores. A Figura 7b mostra uma situação em que nem toda a redução de acidentes observada pode ser atribuída ao tratamento aplicado. A redução devida ao tratamento (diferença entre a esperança antes do tratamento e a esperança depois do tratamento) é menor do que a redução de acidentes observada.

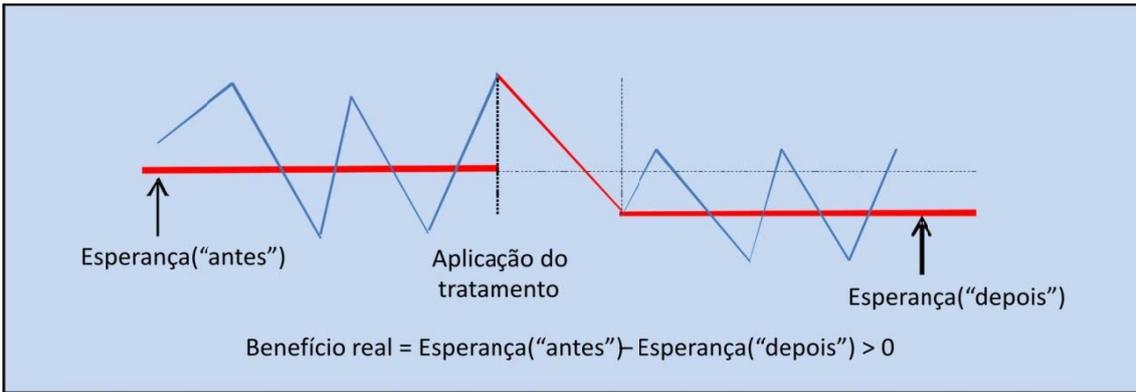


Figura 7b. Apenas parte da redução de acidentes observada é devida ao efeito da aplicação do tratamento.

Na pior das hipóteses, é possível que a medida ou o tratamento aplicado, em vez de melhorar a segurança, aumenta as chances de ocorrência de acidentes, de forma que a redução de acidentes observada seria ainda maior se a medida ou o tratamento não tivesse sido aplicado. A Figura 7c mostra que o tratamento aplicado, na verdade, piorou as condições de segurança, pois o tratamento elevou o valor da expectativa, apesar da redução de acidentes observada. Se nada tivesse sido feito, a redução de acidentes teria sido ainda maior.

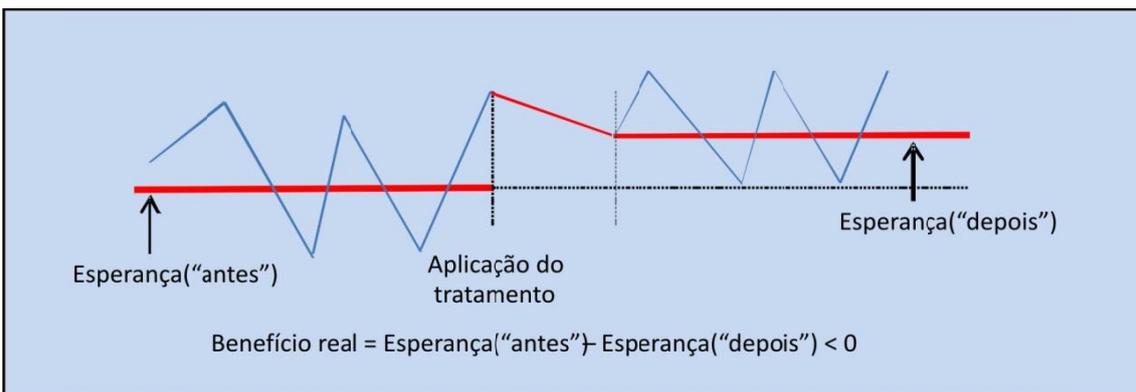


Figura 7c – Apesar da redução de acidentes observada, o tratamento piorou as condições de segurança porque a expectativa depois do tratamento é maior do que a expectativa antes do tratamento.

A Figura 7d mostra uma situação em que não há o efeito da regressão para a média, sendo que o benefício observado foi obtido efetivamente pelo tratamento aplicado.

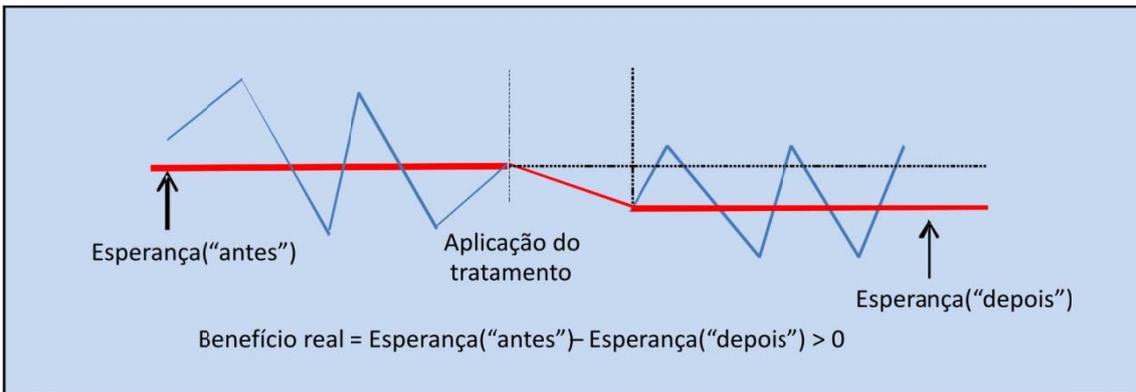


Figura 7d. Sem efeito da regressão para a média. A redução de acidentes observada pode ser atribuída integralmente ao tratamento aplicado.

O efeito da Regressão para a Média é menor quando se aumenta o período de observação.

Segundo [6], em um estudo em dois condados (*counties*), Abbessetal et al (1981) estimaram que a regressão para a média apresenta os seguintes efeitos em locais com alta frequência de acidentes em função do período de observação (Tabela 1):

**Tabela 1 - Efeito da Regressão para a Média em função do período de observação**

Efeito da regressão para a média	Período de observação
15 a 26%	Um ano
7 a 15%	Dois anos
5 a 11%	Três anos

A Figura 8 [6] mostra um gráfico com a variação do erro devido à regressão para a média em função do período de observação e do número de acidentes.

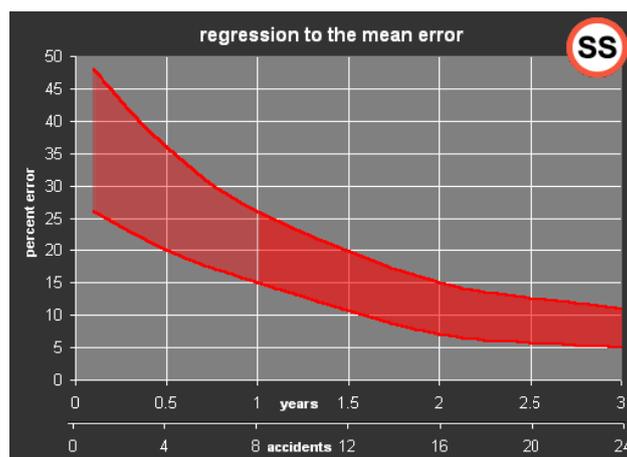


Figura 8 – Variação do erro devido à Regressão para a Média

**7 - EXEMPLOS DE REGRESSÃO PARA A MÉDIA USANDO DADOS REAIS DE ACIDENTES**

Em [5], podem-se encontrar dados reais de acidentes em 1142 interseções em São Francisco – EUA nos anos de 1974 e 1975. Todas as interseções tinham a sinalização de PARE (STOP) nas duas aproximações com o menor fluxo. Na Tabela 2, a Coluna 1 apresenta o número de interseções  $[n(K)]$  nas quais o número de acidentes  $[K]$  em 1974 foi de 0, 1, 2, ... conforme mostrado na Coluna 2. A Coluna 3 apresenta a média de acidentes por interseção  $[avg(k)]$  para as mesmas  $[n(K)]$  interseções durante o ano de 1975.

**Tabela 2 – Acidentes em 1142 interseções de São Francisco – 1974/1975.**

1	2	3	4
Número de interseções $n(K)$	Número de acidentes por interseção em 1974 $K$	Número médio de acidentes por interseção em 1975 $avg(k)$	Variação
553	0	0,54	
296	1	0,97	- 3%
144	2	1,53	- 24%
65	3	1,97	- 34%
31	4	2,10	- 48%
21	5	3,24	- 35%
9	6	5,67	- 6%
13	7	4,69	- 33%
5	8	3,80	- 53%
2	9*	6,50	- 28%

\* Há mais 2 interseções que tiveram 13 acidentes cada uma e uma interseção que teve 16 acidentes.

Suponha que usemos  $K$  (número de acidentes ocorridos em 1974) para estimar  $k$  (número de acidentes ocorridos em 1975). Isso significaria que, se uma interseção registrou, em 1974, por exemplo,  $K = 3$  acidentes, então 3 seria uma estimativa de acidentes para essa interseção em 1975. Essa estimativa valeria para todas as 65 interseções que registraram 3 acidentes em 1974. Entretanto, o que de fato ocorreu com esse grupo de interseções é que em 1975 elas registraram uma média de 1,97 acidentes/interseção, havendo, portanto, uma redução de 34%.

Pode-se formular as seguintes questões:

- a) Se houvesse sido aplicada uma medida de segurança nessas 65 interseções, a redução de 34% poderia ter sido atribuída à aplicação dessa medida?
- b) Se não foi aplicada nenhuma medida de segurança nessas 65 interseções, essa redução de 34% pode ser atribuída às flutuações do acaso? Em vez de uma redução, não poderia ter havido um aumento, dado o caráter aleatório dos acidentes?

A resposta à primeira questão é óbvia, já que não foi feita nenhuma intervenção nas 65 interseções. Se alguma medida tivesse sido aplicada, a mesma teria sido totalmente inócua.

A resposta à segunda questão também é: NÃO<sup>2</sup>. Essa redução não pode ser atribuída ao acaso ou à aleatoriedade. De fato, em 1974 ocorreu um total de 1253 acidentes nas 1142 interseções, com média de 1,1 acidentes/interseção. Pela Tabela 2 (parte em amarelo), pode-se verificar que a redução é verificada sistematicamente para todos os valores de  $K$ , quando  $K > 1,1$ , isto é, para  $K > 1,1$ , então  $1,1 < avg(k) < K$ . As reduções no exemplo da Tabela 2 variaram desde 6% a 53%.

Portanto, devido ao critério de seleção dos locais, há uma forte probabilidade de haver uma redução no período seguinte se a média dos locais selecionados for maior do que a média da população. É possível obter reduções altamente significativas (como os 53% no exemplo da Tabela 2 para o grupo de  $K = 8$  acidentes), sem, no entanto, possuir qualquer significado real em termos de melhoria de segurança.

Em [7], há outro exemplo onde foram usados dados reais de acidentes de Philadelphia de 1969 e 1970, os quais foram dispostos da mesma forma como na Tabela 2.

**Tabela 3. Acidentes de Philadelphia.**

1	2	3	4
No. de interseções	No. de acidentes por interseção em 1969	No. médio de acidentes por interseção em 1970	Variação
74	0	1,43	
83	1	2,08	108%
64	2	1,91	-5%
43	3	2,28	-24%
30	4	3,17	-21%
15	5	2,28	-54%
7	6	2,71	-55%
1	7	2,00	-71%
2	8	6,00	-25%

A média é de 2 acidentes por ano por interseção. Pela Tabela 3, pode-se verificar que para todos os grupos em que o número médio de acidentes em 1969 foi superior a 2 acidentes por ano por interseção (parte amarela da Tabela 3), houve reduções em 1970 que variaram de 21 a 71%.

<sup>2</sup>A rigor, a chance de ocorrer um aumento em vez de redução não é nula. Entretanto, se a amostra for suficientemente grande, essa chance pode ser muito pequena. No exemplo do lançamento de dado da Seção 4, a probabilidade de as 16 pessoas que obtiveram 6 repetirem o mesmo resultado numa segunda tentativa não é nula, mas é extremamente pequena ( $1/6^{16}$ ), sendo que, para efeitos práticos, pode ser desprezada. Se a amostra não for grande, por exemplo, em vez de 16 pessoas, apenas uma pessoa conseguiu 6 numa primeira tentativa, então a probabilidade dessa pessoa repetir o mesmo resultado numa segunda tentativa já não é desprezível ( $1/6$ ). Da mesma forma, no exemplo do teste tipo "verdadeiro/falso", a chance de as 10 pessoas que tiraram as notas mais altas no primeiro teste conseguir uma média ainda mais alta no segundo teste é muito pequena.

O exercício seguinte reproduz as Tabelas 2 e 3, relativas às interseções de São Francisco e Philadelphia, para as interseções da cidade de São Paulo.

Segundo estimativa feita com base no “Mapa Digital da Cidade – MDC”, adotada pela Prefeitura de São Paulo, há cerca de 135259 interseções na cidade de São Paulo. Os dados disponíveis [9] fornecem os dados de acidentes (acidentes com vítima e atropelamentos) para os anos de 2005 a 2010 para todas as interseções da cidade de São Paulo (Tabela 4).

**Tabela 4 – Total de acidentes em interseções na cidade de São Paulo.**

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total
Total de acidentes	5619	5177	5819	5292	5133	5716	32756
Média por interseção	0,0415	0,0383	0,043	0,0391	0,0379	0,0423	0,2422
Média anual por interseção							0,0404

Pela Tabela 4, a média da população (número médio de acidentes por interseção por ano da cidade de São Paulo) pode ser estimada em 0,0404 em função do conjunto de dados disponível.

A Tabela 5 mostra os grupos de interseções em que ocorreram 0 acidentes, 1 acidente, 2 acidentes, ..., mais de 10 acidentes, no ano de 2005 (período “antes”) e o número de acidentes ocorridos em 2006 (período “depois”) nas mesmas interseções.

**Tabela 5 - Acidentes em 135.259 interseções na cidade de São Paulo – 2005/2006.**

	2005			2006		Variação
	Número de interseções	Número de acidentes	Média por interseção $K$	Número de acidentes	Média por interseção $avg(\kappa)$	
0 acidentes	131837	0	0,000	2345	0,018	
1 acidente	2392	2392	1,000	971	0,406	- 59%
2 acidentes	566	1132	2,000	527	0,931	- 53%
3 acidentes	209	627	3,000	376	1,799	- 40%
4 acidentes	108	432	4,000	276	2,556	- 36%
5 acidentes	48	240	5,000	158	3,292	- 34%
6 acidentes	34	204	6,000	123	3,618	- 40%
7 acidentes	21	147	7,000	85	4,048	- 42%
8 acidentes	18	144	8,000	109	6,056	- 24%
9 acidentes	5	45	9,000	31	6,200	- 31%
10 acidentes	7	70	10,000	45	6,429	- 36%
> 10 acidentes	14	186	13,286	131	9,357	- 30%
Total de interseções	135259	5619		5177		- 8%

Pela Tabela 5, pode-se observar que o único grupo em que houve um aumento na média de acidentes de 2005 para 2006 foi o grupo “com 0 acidentes”, que passou de uma média de 0

acidentes/interseção em 2005 para uma média de 0,018 acidentes/interseção em 2006. Em todos os demais grupos, houve redução na média de acidentes (reduções que variaram de 24% a 59%).

Logo, quando a média  $K = 0 < 0,0404$ , temos  $avg(k) = 0,018 > K = 0$ . Quando  $K > 0,0404$ , então  $avg(k) < K$ .

Pode-se argumentar que, como houve uma queda de 8% no total de acidentes de 2005 para 2006 (5619 para 5177), haveria uma tendência de queda de acidentes nos grupos de interseções. Para mostrar que a redução é sistemática, independentemente se houve aumento ou redução no total de acidentes de um ano para outro, a Tabela 5 foi reproduzida para os períodos 2005-2006, 2006-2007, ..., 2009-2010. Os resultados obtidos estão sintetizados na Tabela 6.

**Tabela 6 – Resultados para os períodos 2005-2006, 2006-2007, ..., 2009-2010**

	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010
0 acidentes					
1 acidente	- 59%	- 50%	- 58%	- 57%	- 55%
2 acidentes	- 53%	- 41%	- 53%	- 53%	- 42%
3 acidentes	- 40%	- 44%	- 42%	- 50%	- 45%
4 acidentes	-36%	- 21%	- 40%	- 39%	- 37%
5 acidentes	- 34%	- 27%	- 37%	- 45%	- 25%
6 acidentes	- 40%	- 45%	- 41%	- 43%	- 33%
7 acidentes	- 42%	- 28%	- 23%	- 37%	- 1%
8 acidentes	-24%	- 17%	- 38%	-23%	- 25%
9 acidentes	- 31%	- 19%	- 33%	- 18%	- 11%
10 acidentes	- 36%	- 60%	- 24%	- 40%	- 27%
> 10 acidentes	- 30%	- 2%	- 42%	- 9%	- 15%
Total de acidentes	- 8%	12%	- 9%	- 3%	11%

Como pode-se observar pela Tabela 6, houve redução no total de acidentes nos períodos 2005-2006 (- 8%), 2007-2008 (- 9%) e 2008-2009 (- 3%). Porém, houve aumento no total de acidentes nos períodos 2006-2007 (12%) e 2009-2010 (11%). Entretanto, independentemente de ter havido redução ou aumento no total de acidentes, houve redução sistemática em todos os períodos e em todos os grupos em que  $K > 0,0404$ , variando essas reduções desde 1% a 60%.

Em todos os exercícios, foi considerado um período de um ano “antes” e um ano “depois”. A pergunta que se segue é: será que essas reduções também se verificam quando se aumenta o período de observação dos períodos “antes” e “depois”?

Para responder a essa questão, foi realizado um exercício considerando o período 2005-2007 (3 anos) como o período “antes” e 2008-2010 (3 anos) como o período “depois”. A Tabela 7 mostra os resultados obtidos.

**Tabela 7 – Período de 3 anos “antes” (2005-2007) e 3 anos “depois” (2008-2010).**

Acidentes/ano	2005 - 2007		2008 - 2010	Variação
	Interseções	Número médio de acidentes por ano por interseção	Número médio de acidentes por ano por interseção	
	133639	0,0169	0,0227	34%
$1 \leq K < 2$	1042	1,2057	0,8317	- 31%
$2 \leq K < 3$	314	2,2771	1,5828	- 30%
$3 \leq K < 4$	112	3,2768	2,2708	- 31%
$4 \leq K < 5$	59	4,3220	3,0000	- 31%
$5 \leq K < 6$	33	5,3736	4,4645	- 17%
$6 \leq K < 7$	27	6,2470	6,1111	- 2%
$7 \leq K < 8$	4	7,2500	6,0825	- 16%
$8 \leq K < 9$	8	8,3750	5,5413	- 34%
$9 \leq K < 10$	8	9,1250	6,4588	- 29%
$K \geq 10$	13	12,9746	9,2823	- 28%
Média de acidentes por ano	135259	5538,33	5380,33	- 3%

Com períodos de observação de 3 anos “antes” e 3 anos “depois”, as reduções se mantiveram para os grupos em que  $K > 0,0404$  e variaram desde 2% a 34%.

Para comprovar que as reduções são sistemáticas e que não são por acaso, fica o convite aos leitores de outras cidades para repetir o exercício usando dados reais de acidentes de interseções de suas cidades.

## 8 - IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS PERIGOSOS

Em [8], foram propostos métodos para identificar locais onde possa haver potencial significativo de redução de acidentes com vítima envolvendo pedestres e ciclistas. Segundo os autores desse artigo:

“Até recentemente, a abordagem para identificar locais de alto risco de acidentes obedecia ao seguinte procedimento:

(1) – escolha de locais específicos: tipicamente, a ocorrência de acidente com pedestres/bicicletas é um evento raro, o que pode levar a “falsos positivos” (identificar um local de alto risco quando de fato não é) e “falsos negativos” (falha na identificação de um local de alto risco);

(2) – critério de escolha: escolha por histórico de acidentes – Regressão para a Média.”

O estudo abrangeu o corredor *San Pablo Ave.* em *San Francisco East Bay*.

- Trecho de 16,5 milhas (26,6 km)
- 180 interseções
- 203 acidentes “antes” (5 anos: 1998 – 2002)
- 210 acidentes “depois” (5 anos: 2003 – 2007)
- Média de 0,2294 acidentes por interseção por ano

No estudo, os acidentes (envolvendo pedestre e/ou bicicleta) ocorridos fora de interseções foram contabilizados para a interseção mais próxima.

Os dados de acidentes apresentados no artigo foram tabulados conforme a Tabela 8.

**Tabela 8. Dados de acidentes envolvendo pedestres/bicicletas.**

Acidentes	1998 - 2002			2003 - 2007		Variação
	No. de interseções	Média de acidentes por ano	Média por interseção por ano	Média de acidentes por ano	Média por interseção por ano	
< 0,2294	129	7,2	0,0558	17,0	0,1318	136%
>=0,2294	51	33,4	0,6549	25,0	0,4902	-25%
Total	180	40,6		42,0		

Pode-se observar pela Tabela 8 (parte em amarelo) que as 51 interseções que apresentaram uma média de acidentes maior ou igual a 0,2294, experimentaram uma redução de 25% no período seguinte.

Na Figura 9, os acidentes no período 1998-2002 estão representados no eixo horizontal e os acidentes no período 2003-2007 estão no eixo vertical. O tamanho dos círculos representa a quantidade de interseções.

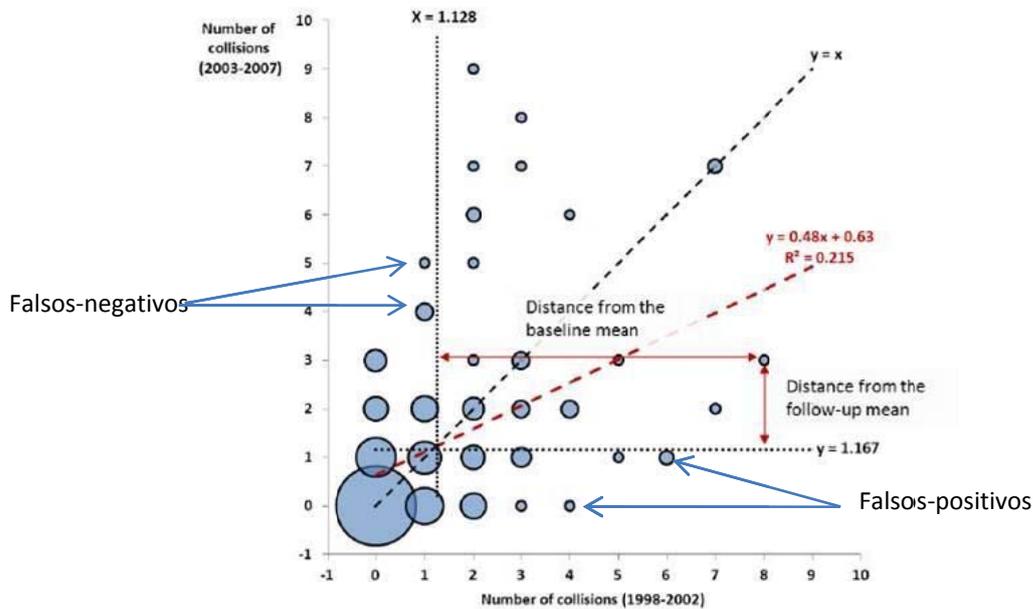


Figura 9. Dados de acidentes no período 1998-2002 e 2003-2007.

O número de acidentes não é uma boa indicação para identificar locais perigosos.

A Figura 9 apresenta dois exemplos de “falsos-positivos” (locais que seriam considerados perigosos quando na realidade não são). O primeiro grupo de falsos-positivos apresentou 6 acidentes no período 1998-2002, mas no período seguinte (2003-2007) esse grupo apresentou apenas 1 acidente. No segundo exemplo, ocorreram 4 acidentes no período 1998-2002, mas nos 5 anos seguintes apresentaram 0 acidentes.

A Figura 9 ainda apresenta 2 exemplos de “falsos-negativos” (locais considerados não perigosos quando na realidade são). No primeiro exemplo, há um grupo de interseções que apresentaram 1 acidente no período 1998-2002 e nos 5 anos seguintes apresentaram 5 acidentes. No segundo exemplo, um grupo de interseções apresentaram 1 acidente no período 1998-2002 e nos 5 anos seguintes apresentaram 4 acidentes.

Dois outros trabalhos que mostram que há necessidade de metodologias mais elaboradas do que o simples número de acidentes para identificar os locais com maior potencial de acidentes são [10] e [11].

## 9. CONCLUSÕES

Devido ao fato de a escolha dos locais para tratamento com medidas de segurança não ser aleatória e sim conduzida para considerar só os locais que tiveram mais acidentes, os resultados de qualquer estudo observacional do tipo “antes-depois” baseado exclusivamente em histórico de acidentes são contaminados pelo efeito da Regressão para a Média. Se a Regressão para a Média não for devidamente tratada, os resultados serão viciados (ou enviesados) e não poderão ser atribuídos, pelo menos em sua totalidade, ao efeito da medida

de segurança aplicada. Um resultado, embora estatística e altamente significativo (como aqueles mostrados neste trabalho, da ordem de 53% da Tabela 2, 71% da Tabela 3, 60% da Tabela 6 e 31% da Tabela 7), mas que esteja contaminado pela Regressão para a Média, pode não representar ou refletir nenhum significado real.

Teoricamente, o efeito da Regressão para a Média pode ser minimizado aumentando-se o tempo de observação. No entanto, há que se considerar duas ressalvas:

- a) mesmo que o efeito da Regressão para a Média seja reduzido pelo aumento do período de observação, não poderá ser determinada com exatidão qual a parcela remanescente do efeito da Regressão para a Média e, mais importante,
- b) aumentando o período de observação, aumentam-se as chances de ocorrerem mudanças de fatores de confusão tais como o fluxo (de veículos e de pedestres), uso do solo, nível pluviométrico, ocorrência de obras, mudanças de pontos de ônibus, etc., de forma que o resultado obtido não pode ser atribuído exclusivamente à medida de segurança aplicada, pois está mascarado por outros fatores que não o efeito da aplicação da medida de segurança cuja eficiência quer-se medir ou avaliar.

Existem técnicas, como o método empírico de Bayes (*Empirical Bayes method*), que controlam o efeito do fenômeno da Regressão para a Média em estudos observacionais do tipo “antes-depois”. Entretanto, essas metodologias exigem uma série de dados adicionais, nem sempre disponíveis.

Uma outra alternativa é conduzir um estudo do tipo “antes-depois” baseado em parâmetros operacionais relacionados com segurança e que possam ser observados e contados, em vez de utilizar apenas o histórico de acidentes. Por exemplo, quer-se medir a eficiência, em termos de segurança, de uma reprogramação do tempo de entreverdes em interseções semaforizadas. Em vez de comparar o número de acidentes antes e depois da aplicação da medida, pode-se comparar o número de transgressões ao sinal vermelho, número de conflitos traseiros e angulares, etc. Neste caso, pode-se coletar, em períodos relativamente curtos, amostras suficientemente grandes para evitar as oscilações aleatórias, evitando-se, assim, o efeito da Regressão para a Média. Além de o estudo não ser contaminado com o efeito da Regressão para a Média, essas técnicas alternativas possuem a importante vantagem de não necessitar de períodos de observação extensos. Enquanto que estudos baseados em acidentes precisam de períodos de observação “antes” e “depois” de um ou mais anos, as técnicas alternativas baseadas em eventos observáveis necessitam de períodos de observação da ordem de semanas ou meses. Isso reduz drasticamente a possibilidade de influência dos fatores de confusão, não controláveis e não mensuráveis, nos resultados obtidos. Um importante benefício, decorrente de curtos períodos de observação, é a obtenção rápida do resultado do estudo, permitindo eventuais correções (antes que os acidentes ocorram) e não apenas após a ocorrência dos acidentes, como é o caso de estudos “antes-depois” baseados apenas em número de acidentes, com períodos de observação de um ou mais anos. Além

disso, os dados referentes a parâmetros operacionais são mais completos e confiáveis (a extensão e a qualidade dos dados dependem só do próprio pesquisador que está conduzindo o estudo e dos recursos tecnológicos disponíveis para a coleta dos dados), enquanto que os dados de acidentes são precários em termos da confiabilidade da informação e geralmente não identificam o tipo de acidente.

## REFERÊNCIAS

- [1] Acidente com mortes no trânsito supera número de homicídios no Estado de São Paulo. <http://noticias.r7.com/sao-paulo/noticias/acidente-com-mortes-no-transito-superam-numero-de-homicidios-no-estado-de-sao-paulo-20110825.html> (acessado em 15/02/2012).
- [2] Rosenbaum, Paul R. – *Observational Studies* – Springer Series in Statistics – Second Edition.
- [3] Elvik, Rune – *The Importance of Confounding in Observational Before-and-After Studies of Road Safety Measures* – Accident Analysis and Prevention 34 (2002) 631–635, 2001..
- [4] Wikipedia – *Regression Toward the Mean* [http://en.wikipedia.org/wiki/Regression\\_toward\\_the\\_mean](http://en.wikipedia.org/wiki/Regression_toward_the_mean) (acessado em 02/11/2011).
- [5] Hauer, Ezra – *Observational Before-After Studies in Road Safety – Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety*, 1997.
- [6] *Safe Speed – Regression to the Mean* – <http://www.safespeed.org.uk/rttm.html> (acessado em 09/04/11).
- [7] Persaud, Bhagwant – *Relating the Effect of Safety Measures to Expected Number of Accidents* – Transport Safety Studies Group, University of Toronto, Department of Civil Engineering, Toronto – Aug 1985.
- [8] Ragland, David; Grembek, Offer; Orrick, Phyllis – *Strategies for Reducing Pedestrian and Bicyclist Injury at the Corridor Level: Final Technical Report* – UC Berkeley Safe Transportation Research and Education Center for the California Department of Transportation (July 2011).
- [9] Sistema de Acidentes de Trânsito – SAT – CET-SP.
- [10] Brijsy, Tom; Karlisz, Dimitris; Bosschey, Filip Van den; Wetsy, Geert – *A Bayesian Model for Ranking Hazardous Sites*.
- [11] Hauer, Ezra; Persaud, Bhagwant – *Problem of Identifying Hazardous Locations Using Accident Data*. Transportation Research Record 975, 36-43, 1984.

*Os conceitos aqui emitidos  
não refletem, necessariamente,  
o ponto de vista da CET, sendo  
de responsabilidade do autor.*

*Revisão/Edição – NCT/SES/DP  
GESTÃO DO CONHECIMENTO  
Diagramação: GMC/Dma*