

SP 10/93

NT 170/93

## Eficácia do sulcamento do pavimento na redução de acidentes

**Shui-Ying-Wong****Tradução:** Eng<sup>o</sup> Gilberto Monteiro Lehfeld

Foi realizada uma pesquisa para avaliar o resultado do pavimento sulcado na redução do volume de acidentes, e esta redução foi estatisticamente significativa. O local escolhido foi o *Boulevard O'Shaughnessy*, em São Francisco, Califórnia (Figura 1), uma rodovia de duas pistas com íngremes declives verticais e curvas horizontais, onde os motoristas precisam dirigir em um greide de inclinação de 9%, enquanto entram em uma curva fechada. Esta rodovia tem alto índice de acidentes, principalmente durante temporadas chuvosas.

Entre 20 de setembro e 12 de novembro de 1982, o pavimento foi sulcado, numa tentativa de reduzir o número de acidentes. Os sulcos tinham 6,35mm (1/4") de profundidade, com espaçamento de centro-a-centro de 19mm (3/4") ao longo da faixa de rolamento do tráfego. Foram realizados estudos "antes e depois" para avaliar a eficácia do pavimento sulcado na redução de acidentes.

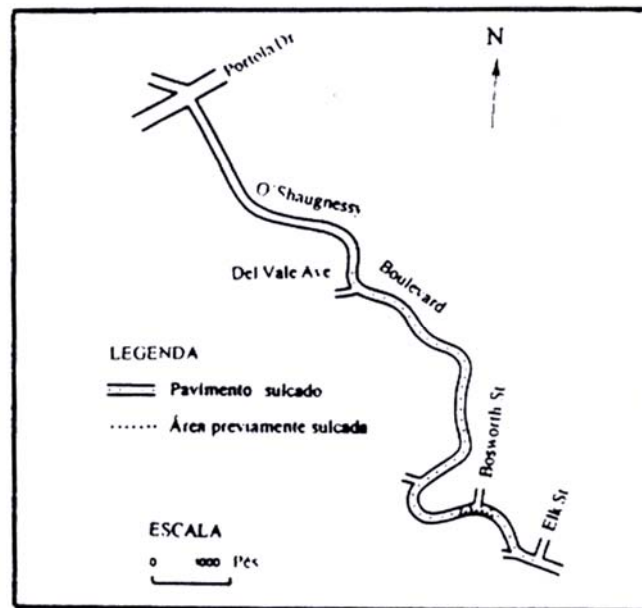


Fig. 1. Estudo da área.

Coletando dados relevantes

Os relatórios de acidentes do Departamento de Polícia de São Francisco foram as principais fontes de informações, pois incluem locais, datas, direções, condições do pavimento, condições de iluminação, tipos de colisão, se o motorista estava embriagado ou sob efeito de drogas, etc.. Para isolar os efeitos do pavimento sulcado, foram tomadas as seguintes medidas:

- Os períodos anteriores e posteriores foram estabelecidos por comparação. O período “antes” iniciou-se em 1º de janeiro de 1979 e terminou em 9 de setembro de 1982. O período “depois” teve início em 11 de novembro de 1982 e fim em 12 de dezembro de 1983. Um período posterior mais longo teria sido recomendável, mas o Depto. de Polícia mudou sua política de relatório de acidentes por volta de 1983, e o aumento do período posterior poderia acrescentar um viés nos dados.
- Os sulcos são mais eficazes quando o pavimento está molhado, pois pode reduzir o potencial da hidroplanagem. Deste modo, os acidentes ocorridos dentro das zonas com sulcos, quando o pavimento estava molhado, foram analisados para determinar a sua eficácia. Os acidentes ocorridos quando o pavimento estava seco foram analisados separadamente, como grupo de controle.
- Os relatórios de acidentes foram usados para determinar se o pavimento estava molhado no momento do acidente. Caso o relatório não apresentasse as condições do pavimento, os registros das condições climatológicas da Califórnia seriam checados para determinar se havia chovido em São Francisco antes ou durante o acidente.
- Pelo fato da chuva afetar os índices de acidentes em pavimentos molhados, foram comparados à porcentagem de dias chuvosos e o índice pluviométrico anual dos períodos anterior e posterior, para verificar se ambos estavam sujeitos ao mesmo índice de exposição ao tempo chuvoso.
- O comportamento de motoristas alcoolizados ou sob efeito de drogas é imprevisível, desta forma foram excluídos os acidentes envolvendo este tipo de motorista.
- Parte da rodovia já havia sido sulcada em abril de 1979. Os acidentes ocorridos dentro desta área foram excluídos dos resultados da pesquisa.

Os acidentes envolvendo motoristas embriagados e acidentes em áreas previamente sulcadas foram excluídos das pesquisas dos períodos anterior e posterior, para que, desta forma, os fatores dos pavimentos sulcados pudessem ser isolados. De qualquer modo, os acidentes que foram registrados como tendo ocorrido dentro da área previamente sulcada podem realmente não ter acontecido, e vice-versa. Além disso, a interpretação e a proporção do grau de embriaguez e de uso de drogas não foram relatados especificamente nos boletins dos acidentes. A inclusão desses fatores poderia eliminar alguns dos vieses, embora outros fatores, além dos sulcos, poderiam também ser introduzidos. “O total de acidentes em pavimento molhado” é conseqüentemente definido incluindo o envolvimento de motoristas embriagados, bem como aqueles que ocorreram na área anteriormente sulcada da rodovia; o “total de acidentes em pavimento seco” é definido de maneira correspondente.

Por não ter havido nenhuma mudança significativa no uso do solo ou de desenvolvimento, admitiu-se que o volume de tráfego foi o mesmo nos períodos anterior e posterior.

#### Determinando a importância da melhoria

Os acidentes são eventos relativamente raros. Para determinar se a diminuição de acidentes foi devida aos sulcos ou ao acaso, foram utilizados testes estatísticos. As curvas de Box e Oppenlander, baseadas nas distribuições do Qui-quadrado e Poisson, atestam a significância da redução de acidentes. O teste de Langley é baseado na distribuição de Poisson. Ambos os métodos foram aplicados neste trabalho. Os testes de Box e Oppenlander referem-se, aqui, como as curvas de teste de significância; e, o teste de Langley, como teste de Poisson. Os testes foram aplicados para comparar os seguintes dados ao pavimento sulcado: acidentes em pavimento seco, total de acidentes em pavimento molhado e total de acidentes em pavimento seco.

Devido ao período antes e depois terem tido diferentes tempos de duração, a quantidade total deve ser, primeiro, convertida para valores médios anuais, como a seguir:

$$N_a \text{ ou } N_b = n_a/Y_a \text{ } n_b/Y_b \text{ (1)}$$

onde:

N = quantidade média anual

n = quantidade total para o período

Y = número de anos no período

e,

a e b = períodos “depois” e “antes” respectivamente

N ou n podem representar os acidentes em pavimento molhado, acidentes em pavimento seco, total de acidentes em pavimento molhado e total de acidentes em pavimento seco.

Para aplicar as curvas do teste de significância, foram seguidas as seguintes etapas:

- 1) Calcule a porcentagem de redução

$$(N_b - N_a)/N_b \times 100 \text{ (2)}$$

onde

N<sub>a</sub> = quantidade média anual para período posterior

N<sub>b</sub> = quantidade média anual para período anterior

- 2) Entrar com a quantidade média anual para o período anterior (N<sub>b</sub>), no eixo horizontal da Figura 2. Este número é projetado verticalmente para intersecionar a Curva 1 (teste liberal) ou Curva 2 (teste conservador). O ponto de intersecção corresponde a uma porcentagem no eixo vertical da Figura 2.



Fig. 2 - Teste de significância de redução de acidentes.

- 3) Se a porcentagem da etapa 1 for maior que a da etapa 2, a redução seria significativa, com um nível de confiança de 95%. Isto é, podemos ter 95% de certeza de que a redução é devida mais aos sulcos do que ao acaso.

Para aplicar o teste Poisson, o número esperado de ocorrências no período posterior, E, é calculado como:

$$E = (Y_a) \cdot (N_b) \text{ (3)}$$

onde

Y<sub>a</sub> = número de anos no período posterior

N<sub>b</sub> = quantidade média anual para o período anterior

Isto é, se as condições anteriores e posteriores fossem as mesmas, devêramos esperar  $\underline{E}$  ocorrências no período posterior.

Depois, compare  $\underline{E}$  com  $\underline{na}$ , o total de ocorrências no período posterior. Então determine a possibilidade de “ $\underline{na}$  ser maior que  $\underline{E}$ ”, ou “ $\underline{na}$  ser menor ou igual a  $\underline{E}$ ”, qualquer que seja o exemplo empregado. Isto é feito da seguinte maneira:

1. Na Tabela 1, localize o número de ocorrências no período posterior na coluna “Nº de amostra”.
2. As quantidades na mesma linha onde  $\underline{na}$  está localizado, são as quantidades críticas que  $\underline{E}$  deve atingir para indicar os níveis de probabilidade mostrada acima de cada coluna. Escolha a seção correspondente a “ $\underline{X} < \underline{E}$ ” ou “ $\underline{X} > \underline{E}$ ” da tabela se  $\underline{na} >$  ou  $\underline{na} <$  que  $\underline{E}$ .
3. Interprete se  $\underline{E}$  (calculado na equação 3) está sob as colunas de 10%, 5% ou 1%. Se  $\underline{E}$  for  $>$  que a quantidade sob a coluna de 5% da seção “ $\underline{X} < \underline{E}$ ”, isto significa que a probabilidade de “ $\underline{na} \leq \underline{E}$ ” é maior que 95%. Isto é, estamos 95% seguros que o total de ocorrências no período posterior  $\underline{na}$  é menor do que a quantidade esperada  $\underline{E}$ . Em outras palavras, a redução é significativa em um grau de 95%.

Tabela 1. Tabela E para o teste de Poisson.

Nº NA AMOSTRA (X)	PROBABILIDADE QUANDO $X < E$			PROBABILIDADE QUANDO $X > E$		
	10%	5%	1%	10%	5%	1%
0	2.8	3.6	5.1	—	—	—
1	4.75	5.55	7.15	0.105	0.051	0.010
2	6.25	7.1	9.15	0.53	0.355	0.149
3	7.75	8.6	10.65	1.10	0.82	0.435
4	8.8	10.1	12.6	1.74	1.37	0.82
5	10.3	11.55	14.1	2.35	1.97	1.28
6	11.75	13.05	15.5	2.75	2.61	1.78
7	12.8	14.1	17.0	3.55	3.15	2.35
8	14.3	15.7	18.5	4.3	3.5	2.91
9	15.6	17.5	20.0	4.7	4.45	3.5
10	17.0	18.5	21.5	5.75	5.1	4.1
11	18.0	19.5	23.0	6.2	5.5	4.7
12	19.5	21.0	24.0	7.25	6.6	5.05
13	20.5	22.5	25.5	7.7	7.0	5.8
14	22.0	23.5	27.0	8.7	8.05	6.65
15	23.0	25.0	28.0	9.5	8.5	7.05
16	24.5	26.0	29.5	10.25	9.55	7.7
17	25.5	27.5	31.0	11.25	10.0	8.65
18	26.5	28.5	32.0	11.7	11.1	9.05
19	28.0	29.5	33.5	12.75	11.5	10.0
20	29.0	31.0	35.0	13.45	12.55	10.6
21	30.5	32.5	36.0	14.25	13.0	11.15
22	31.5	33.5	37.5	15.1	14.05	12.1
23	32.5	34.5	38.5	15.9	14.9	12.55
24	34.0	35.5	40.0	16.5	15.5	13.6
25	35.0	37.0	41.0	17.5	16.2	14.0
26	36.0	38.5	42.5	18.0	17.0	15.0
27	37.0	39.5	43.5	19.0	18.0	15.5
28	38.5	40.5	45.0	20.0	19.0	16.0
29	39.5	41.5	46.0	21.0	19.5	17.0
30	40.5	43.0	47.5	21.5	20.0	18.0
31	42.0	44.0	48.5	22.5	21.0	18.5
32	43.0	45.5	50.0	23.5	22.0	19.5
33	44.0	46.5	51.0	24.0	23.0	20.0
34	45.5	47.5	52.0	25.0	23.5	21.0
35	46.5	48.5	53.5	26.0	24.5	22.0
36	47.5	50.0	54.5	27.0	25.0	22.5
37	48.5	51.0	56.0	27.5	26.0	23.5
38	50.0	52.5	57.0	28.5	27.0	24.0
39	51.0	53.5	58.0	29.5	28.0	25.0
40	52.0	54.0	59.5	30.0	29.0	26.0

## Análise dos resultados

A Tabela 2 mostra que houve 72% de redução de acidentes em pavimento molhado e uma redução de 67% no total de acidentes nesse tipo de pavimento. Essas reduções foram significativas, baseadas nas curvas dos testes de significância e no teste de Poisson. Isto é, estamos 95% seguros que as reduções foram realmente verdadeiras e não obras do acaso. Por outro lado, embora houvesse uma redução de 7% de acidentes em pavimento seco e uma redução de 14% no total de acidentes em pavimentos na mesma situação, estas reduções não foram significativas baseadas nas curvas do teste de significância ou no teste de Poisson. Pelo fato de que o único fator que mudou entre os períodos anterior e posterior foi o pavimento, pode-se dizer que o pavimento sulcado reduz expressivamente o número de acidentes em pavimento molhado.

Comparando os acidentes em pavimento molhado com o total de acidentes em pavimentos nas mesmas condições, pode-se notar que houve uma grande redução de acidentes em pavimentos molhados. Porém, a diferença (72% versus 67%) foi suficientemente significativa para merecer u esforço extra no refinamento dos dados.

Interpretando as curvas no teste de significância (Figura 2), se o número de acidentes  $N_p$  período anterior é 20 ou menos, a melhoria tem que ser de 35% ou mais, para ser estatisticamente significativa. Mesmo se o número de acidentes for 150, a melhoria tem que ser 15% ou mais para ser estatisticamente significativa.

Pode-se argumentar que o alto número de acidentes em pavimento molhado no período anterior deve ser atribuído à maior quantidade de chuva. Isto não é verdade, como se pode ver na Tabela 3, que mostra que ambas as porcentagens de dias chuvosos e o índice pluviométrico anual foram mais altos para as condições posteriores.

Uma experiência foi feita para ver as características de acidentes em pavimento molhado. A Tabela 4 mostra os tipos e fatores de colisão. Pelo fato de ocorrerem poucos acidentes no período posterior, foi difícil estabelecer um padrão para os tipos de colisões. A causa predominante dos acidentes em ambos os períodos foi o excesso de velocidade.

Deste modo, apesar de o pavimento sulcado reduzir significativamente o número de acidentes em pavimento molhado, a velocidade continua sendo o principal fator de acidentes.

Tabela 2. Acidentes antes e depois.

	Antes	Depois	Dif.	É significativo no nível de 95% ? Teste das curvas de significância		
				Liberal	Conservador	Poisson
<b>Piso molhado</b>				Sim	Sim	Sim
Valor total no período	48	4	72%			
Média anual	12,9	3,6				
<b>Acidentes com piso seco</b>				Não	Não	Não
Valor total no período	50	14	7%			
Média anual	13,4	12,5				
<b>Acidentes totais com piso molhado*</b>				Sim	Sim	Sim
Valor total no período	61	6	67%			
Média anual	16,4	5,4				
<b>Acidentes totais com piso seco*</b>				Não	Não	Não
Valor total no período	58	15	14%			
Média anual	15,6	5,4				

(\* ) Inclui acidentes envolvendo motoristas embriagados e acidentes que ocorreram na área previamente sulcadas.

Tabela 3. Precipitação em São Francisco.

	Antes do sulcamento	Depois do sulcamento
Número de dias chuvosos	256	90
Porcentagem do total	18,6%	26,2%
Precipitação (mm)	1954	894
Precipitação anual (mm)	5248	975

Tabela 4. Características dos acidentes em piso molhado.

	Antes do sulcamento		Depois do sulcamento	
	Número	Porcentagem	Número	Porcentagem
<b>Tipo de colisão</b>				
Frontal	9	18	1	16
Abalroamento	10	20	0	0
Traseira	3	6	1	16
Lateral	11	22	0	0
Objeto fixo	12	24	0	50
Tombamento	1	2	3	0
Atropelamento	0	0	0	0
Outros	4	8	4	16
<b>Fator de colisão</b>				
Velocidade	40	80	5	83
Cruzamento	5	10	0	0
Muito próximo do veículo a frente	1	2	0	0
Outro, que não o motorista	1	2	0	0
Desconhecido	3	6	1	17

## Conclusões

O pavimento sulcado é eficaz na redução de acidentes em pavimento molhado. Seu efeito em acidentes em pavimento seco é insignificante.

As curvas do teste de significância e o teste de Poisson são métodos muito usados para determinar estatisticamente a significância das melhorias.

A alta velocidade continua sendo o maior fator causador de acidentes em pavimento molhado, indiferentemente do pavimento ser ou não sulcado.

-----  
Eng<sup>o</sup> Gilberto Monteiro Lehfeld (PR)

## Agradecimentos

O autor deseja agradecer a Scott Shoaf e Nelson Wong, do Departamento de Obras Públicas da Cidade de São Francisco, por seus comentários e sugestões.