

NT 209

Uma metodologia para substituir o índice de acidentes por índice de conflitos em critérios para Implantação de semáforos

Eng^o Pedro Álvaro Szasz

Adaptação: Eng^o Sun Hsien Ming

1. Introdução

Durante o desenvolvimento do trabalho para elaborar o *Manual de Critérios de Implantação de Semáforos*, cogitou-se a ideia de substituir ou complementar o critério de índice de acidentes pela técnica de análise de conflitos, onde um conflito é uma “ameaça” de acidente que acontece num cruzamento, passível de ser detectada por observação visual. O conflito ocorre quando um condutor ou pedestre realiza uma manobra evasiva para evitar uma colisão com outro veículo ou pedestre. O conceito de conflito e a técnica de sua análise foi primeiramente descrito por *US Department of Transportation Federal Highway Administration, Engineers Guide (1989)* em *Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations*. Posteriormente, uma técnica de análise de conflitos alternativa foi desenvolvida por *Department of Traffic Planning and Engineering at Lund University in Sweden (1991)* em *The Swedish Traffic Conflict Technique*.

A análise de conflitos tem a vantagem da rapidez, já que em um período muito curto de horas, ou dias, pode-se ter estatística suficiente, ao passo que para coletar os dados de acidentes são requeridos muitos anos, além de ser necessário que haja um sistema de informações, o qual até hoje não se dispõe.

O presente trabalho propõe uma metodologia para a determinação do número de conflitos por hora (X_L ou X_{Leqn}) para justificar a implantação de um semáforo por critério de segurança (Seção 2) e de uma estimativa do tempo necessário de pesquisa de conflitos em cada local (Seção 3).

Os conflitos a serem considerados devem ser do tipo corrigível por semáforo.

2. Método para determinação do número de conflitos para a implantação do semáforo

O presente trabalho visa propor uma metodologia que transforme um sentimento subjetivo de que um local é perigoso e necessita de um semáforo para diminuir a periculosidade, em algo mais qualificável, que é o índice de conflitos (em substituição ao índice de acidentes). Sugere-se efetuar uma regressão linear entre os conflitos constatados em um local e o grau de necessidade de implantação de um semáforo percebida por diferentes técnicos. Para tanto, propõe-se uma tabela como a mostrada abaixo (Tabela 1):

Tabela 1

Local	Índice de conflito por tipo				Horas de medida	Pesquisador	Notas de necessidade de semáforo dadas por diferentes técnicos			
	N_1	N_2	N_3	N_4	h	Técnico	n_1	n_2	n_3	n_4
A x B	5	2	1	4	3	a	20	40	35	60
C x D	6	2	4	3	2	b	45	50	60	20
E x F	7	4	3	3	3	c	80	60	70	50

Na Tabela 1 acima, N_1 , N_2 , N_3 e N_4 representam a quantidade de conflitos/h do tipo 1, 2, 3 e 4, constatada na pesquisa; h é o número de horas da pesquisa; n_1 , n_2 , n_3 e n_4 são as notas dadas pelos técnicos 1, 2, 3 e 4.

Recomenda-se incluir nas notas também a avaliação do pesquisador. As notas devem ser dadas tendo como referência o mesmo valor limite, a partir do qual se recomenda a implantação de semáforo (por exemplo, 50). Assim, quanto maior a nota, maior é a necessidade de semáforo.

Quanto maior o número de locais pesquisados, mais consistente será a análise estatística.

É recomendável que haja superposição de pesquisadores no mesmo local, para aferir se diferentes pesquisadores chegam a resultados similares, dentro das margens estatísticas esperadas, o que permitirá verificar a qualidade da pesquisa. A análise estatística da Tabela 1 permitirá:

- Que seja verificada a coerência das medições dos índices de conflito entre si;
- Que seja verificada a coerência entre os índices de conflito e a avaliação dos técnicos sobre a necessidade de semáforo;
- Determinar os pesos de cada tipo de conflito na necessidade de semaforização;
- Estimar o número de horas de pesquisa necessárias.

3. Quantidade de horas de pesquisa necessárias

3.1. Só um tipo de conflito

Para simplificar, supõe-se que haja um único tipo de conflito e que se seu índice superar certo valor limite X_L deve-se instalar o semáforo.

A medida do índice de conflitos está sujeita às seguintes variações:

- a) Variações cíclicas ao longo do tempo (dias, semanas, anos), repetindo o comportamento sazonal do tráfego. Para eliminar estas variações, dever-se-ia recolher amostras em vários períodos típicos e expandi-las da mesma forma como se faz com contagens volumétricas. Neste trabalho, assume-se por simplicidade que as pesquisas se referem a um único período.
- b) Variações devidas a mudanças significativas de volume de tráfego ou do comportamento dos usuários. Neste trabalho, considera-se que essas variações são desprezíveis durante o período de pesquisa.
- c) Variações devido à diferença de critérios entre os pesquisadores para caracterizar e classificar um conflito. Estas diferenças poderão ser analisadas a partir das regressões mencionadas na Seção 2 deste trabalho, e, se significativas, poderão ser incluídas na metodologia.
- d) Variações aleatórias naturais neste tipo de eventos, que segue, com boa aproximação, a distribuição de Poisson.

Supondo que os conflitos seguem a distribuição de Poisson, então:

$$P(n) = \frac{e^{-x} x^n}{n!} \quad (1)$$

onde:

n = número de conflitos registrados no período

x = média ou esperança matemática do número de conflitos

$P(n)$ = probabilidade de ocorrer n conflitos no período

Inicialmente, analisa-se apenas a variação aleatória.

Para grandes números, a distribuição de Poisson tende para a distribuição Normal, com desvio padrão igual à raiz quadrada da média. Por exemplo, se a média for de $x = 100$ conflitos e se for tomada uma série de medidas, o desvio padrão será $\sqrt{100} = 10$, significando que os conflitos ficam em 95% das vezes entre $100 - 1,96 \times 10 = 80,4$ e $100 + 1,96 \times 10 = 119,6$, isto é:

$$80 \leq n \leq 120$$

Na realidade, não se conhece o valor de x , apenas o de n , que é obtido por uma amostra, e para se obter a estimativa de x , com 95% de probabilidade, pode-se usar as seguintes expressões aproximadas:

$$x(\text{med}) = n \quad (2)$$

$$x(\text{max}) = n + \frac{5}{3} + 1,96 \sqrt{n + \frac{7}{6}} \quad (3)$$

$$x(\text{min}) = n + 1,96 (1 - \sqrt{n + 1}) \quad (4)$$

Exemplo:

$$n = 2$$

$$x(\text{max}) = 2 + \frac{5}{3} + 1,96 \sqrt{2 + \frac{7}{6}} = 7,1$$

$$x(\text{min}) = 2 + 1,96 (1 - \sqrt{2 + 1}) = 0,565$$

Isto é, se em um período forem medidos 2 conflitos, sabe-se que, com 95% de probabilidade, os conflitos, na média, estarão entre 0,565 e 7,1, o que representa uma faixa bem ampla, decorrente da pequena amostra ($n = 2$) e do caráter aleatório do processo.

As expressões acima permitem determinar de forma dinâmica quanto tempo é necessário pesquisar para ver se o local em estudo deve ou não ser semaforizado.

O processo é igual ao das notas escolares durante o ano letivo: se as notas são muito ruins, o aluno “vai para pau” direto, sem exame; se são muito boas, o aluno passa direto de ano, também sem exame; no meio termo, fazem-se os exames mais detalhados para ver se o aluno passa ou não.

Seja X_L o número limite de conflitos/hora para instalação do semáforo. O valor de X_L pode ser determinado pela metodologia proposta na Seção 2 deste trabalho. Pode-se definir:

$$t_b = \frac{1}{X_L} \tag{5}$$

onde t_b é o tempo base de um conflito, ou intervalo de tempo em que deverá, em média, ocorrer um conflito, para que se instale o semáforo.

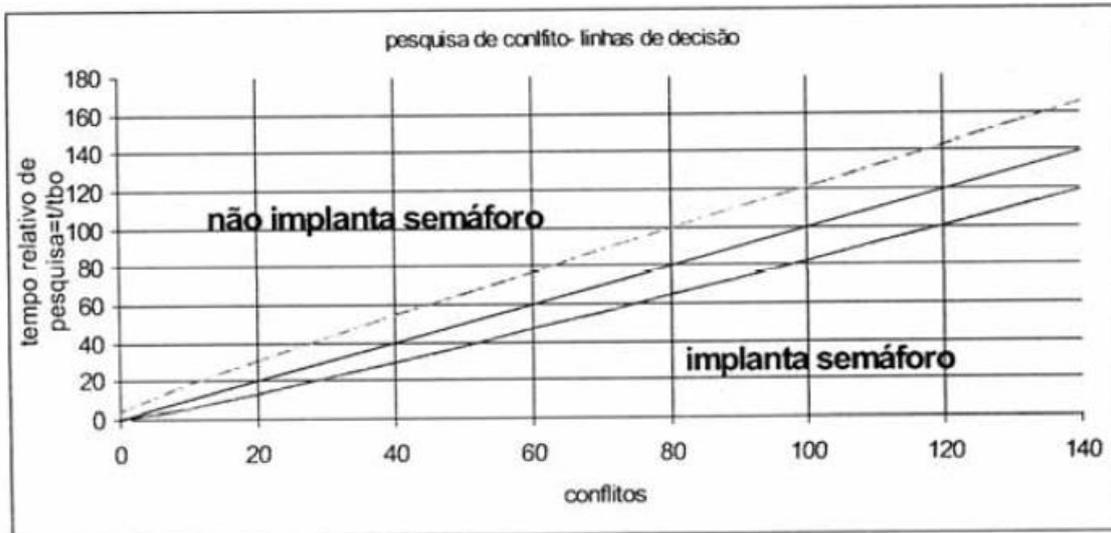
A Tabela 2 abaixo mostra os valores de $x(min)$ e $x(max)$, calculados pelas expressões (3) e (4) para conflitos variando de 0 a 120:

Tabela 2

conflitos	x(min)	x(max)									
0	0.00	3.78	30	21.05	42.61	60	46.65	77.00	90	73.26	110.38
1	0.19	5.55	31	21.87	43.78	61	47.53	78.12	91	74.16	111.48
2	0.57	7.15	32	22.70	44.95	62	48.40	79.24	92	75.06	112.59
3	1.04	8.67	33	23.53	46.12	63	49.28	80.37	93	75.96	113.69
4	1.58	10.12	34	24.36	47.29	64	50.16	81.49	94	76.86	114.79
5	2.16	11.53	35	25.20	48.45	65	51.04	82.61	95	77.76	115.89
6	2.77	12.91	36	26.04	49.62	66	51.92	83.73	96	78.66	116.99
7	3.42	14.27	37	26.88	50.78	67	52.80	84.85	97	79.56	118.09
8	4.08	15.60	38	27.72	51.93	68	53.68	85.97	98	80.46	119.18
9	4.76	16.92	39	28.56	53.09	69	54.56	87.08	99	81.36	120.28
10	5.46	18.22	40	29.41	54.24	70	55.44	88.20	100	82.26	121.38
11	6.17	19.50	41	30.26	55.39	71	56.33	89.32	101	83.16	122.48
12	6.89	20.78	42	31.11	56.54	72	57.21	90.43	102	84.07	123.57
13	7.63	22.04	43	31.96	57.69	73	58.10	91.55	103	84.97	124.67
14	8.37	23.30	44	32.81	58.84	74	58.99	92.66	104	85.88	125.77
15	9.12	24.55	45	33.67	59.98	75	59.87	93.77	105	86.78	126.86
16	9.88	25.79	46	34.52	61.13	76	60.76	94.88	106	87.69	127.96
17	10.64	27.02	47	35.38	62.27	77	61.65	96.00	107	88.59	129.05
18	11.42	28.25	48	36.24	63.41	78	62.54	97.11	108	89.50	130.15
19	12.19	29.47	49	37.10	64.55	79	63.43	98.22	109	90.40	131.24
20	12.98	30.68	50	37.96	65.69	80	64.32	99.32	110	91.31	132.33
21	13.77	31.89	51	38.83	66.82	81	65.21	100.43	111	92.22	133.42
22	14.56	33.10	52	39.69	67.96	82	66.10	101.54	112	93.12	134.52
23	15.36	34.30	53	40.56	69.09	83	67.00	102.65	113	94.03	135.61
24	16.16	35.50	54	41.42	70.22	84	67.89	103.75	114	94.94	136.70
25	16.97	36.69	55	42.29	71.36	85	68.78	104.86	115	95.85	137.79
26	17.78	37.88	56	43.16	72.49	86	69.68	105.97	116	96.76	138.88
27	18.59	39.07	57	44.03	73.62	87	70.57	107.07	117	97.67	139.97
28	19.41	40.25	58	44.90	74.74	88	71.47	108.17	118	98.58	141.06
29	20.22	41.43	59	45.78	75.87	89	72.37	109.28	119	99.49	142.15
30	21.05	42.61	60	46.65	77.00	90	73.26	110.38	120	100.40	143.24

A partir daí, pode-se traçar curvas de decisão, conforme mostrado na Figura 1 abaixo, onde o eixo vertical representa o tempo relativo de pesquisa t/t_b e o eixo horizontal representa o número de conflitos constatados durante a pesquisa. A linha superior representa $x(max)$ e a linha inferior $x(min)$.

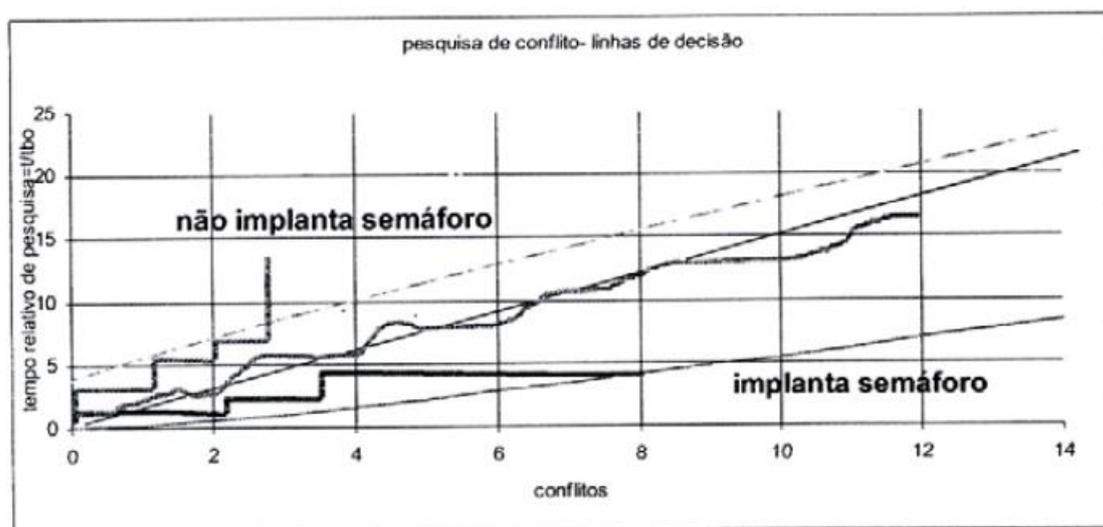
Figura 1



Fixado um tempo de pesquisa, se o número de conflitos for muito grande, estar-se-á abaixo da linha inferior, na região como “implanta semáforo”. Por outro lado, se o número de conflitos for muito pequeno estar-se-á acima da linha superior, na região indicada como “não implanta semáforo”.

Se se estiver próximo das linhas limites, ou entre as duas linhas (superior e inferior), pode-se não obter a decisão, isto é, não se pode precisar se o limite foi ou não atingido. Na Figura 2 abaixo, um zoom da Figura anterior, mostram-se 3 casos.

Figura 2



Na prática, limita-se a pesquisa a um tempo mínimo e a um tempo máximo. O mínimo, porque há um tempo morto considerável na preparação da pesquisa e deslocamento até o local, não valendo a pena parar antes.

O máximo, porque chega um ponto em que o custo da pesquisa adicional excede a eventual vantagem de se obter dados mais precisos, especialmente porque a correlação entre conflitos e acidentes, ou entre acidentes e a efetividade do semáforo em reduzir os acidentes, não é forte o suficiente para justificar tal grau de precisão. Em outras palavras, não adianta ter muita precisão no número de conflitos se o resto da cadeia lógica não tiver o mesmo grau de precisão.

Sugere-se um tempo mínimo de pesquisa inicial da ordem de $t = T_0 = 40 t_b$ ($t/t_b = 40$), para que, num ponto limite, tenha-se o número da ordem de 40 conflitos na pesquisa, como limite médio.

Se neste período ($40 t_b$) houver mais de 54 conflitos (região acima da linha superior), decide-se colocar o semáforo. Se houver menos de 29 (região abaixo da linha inferior), decide-se não implantar o semáforo. Se os conflitos ficarem entre 29 e 54, deve-se fazer mais um período equivalente a $60 t_b$ de pesquisa (completando um período total de $100 t_b$).

Para esse novo período de pesquisa, repete-se o mesmo processo. Se, mesmo assim, não se conseguir chegar a uma decisão, pode-se adicionar mais um período de pesquisa, repetindo-se o processo até que se chegue a uma decisão.

Exemplo:

$$X_L = 60 \text{ conflitos/h}$$

$$\text{Tempo inicial de pesquisa} = T_0 = 40/60 = 0,66 \text{ h} = 40 \text{ minutos.}$$

Se o número de conflitos constatados nos 40 minutos de pesquisa for $n < 29$, não se deve colocar o semáforo. Se $29 < n < 54$, deve-se fazer pesquisa adicional por mais um período de $60/X_L = 60/60 = 1$ hora. Neste caso, o tempo total de pesquisa será de 1,66 h. Se, neste período de 1,66 h, o número de conflitos observados for menor que 82, não se deve colocar o semáforo. Se for maior que 121, deve-se colocar o semáforo. Se estiver entre 82 e 121, então deve-se aumentar o tempo de pesquisa e repetir o processo.

Os números 40 e 100 foram “chutados” arbitrariamente. Dependendo do valor de X_L e da escassez de mão-de-obra disponível, poderão ser definidos outros valores.

Entretanto, um semáforo custa da ordem de 15 mil dólares para ser implantado e o valor presente dos atrasos que provoca é da ordem de 200 mil dólares. Não gastar pelo menos 5 mil dólares nas pesquisas necessárias para subsidiar a decisão de colocar ou não o semáforo é irresponsabilidade técnica.

3.2. Diversos tipos de conflito

Sejam conflitos de tipos 1, 2, ..., i . Admitindo que se tenha chegado a um número de conflitos equivalentes:

$$N_{eq} = N_1 \times p_1 + N_2 \times p_2 + \dots + N_i \times p_i \quad (6)$$

onde

N_1, N_2, \dots, N_i são quantidades de conflitos constatados em pesquisa de campo e p_1, p_2, \dots, p_i são seus pesos, cujos valores podem ser obtidos pelas regressões mencionadas na Seção 2.

Podem-se aplicar fórmulas análogas às anteriores (3) e (4), incluindo o coeficiente K de normalização.

$$x(max) = N_{eq} + \frac{\frac{5}{3} + 1,96 \sqrt{N_{eqn} + \frac{7}{6}}}{K} \quad (7)$$

$$x(min) = N_{eq} + \frac{1,96 (1 - \sqrt{N_{eqn} + 1})}{K} \quad (8)$$

O número de conflitos normalizado é dado por:

$$N_{eqn} = N_{eq} \times K \quad (9)$$

O coeficiente de normalização K é dado por:

$$K = \frac{\sum N_i p_i}{\sum N_i (p_i)^2} \quad (10)$$

Obtido $x(min)$ e $x(max)$ pode-se verificar se já se pode, com as pesquisas efetuadas, decidir se coloca ou não o semáforo.

Exemplo com 3 tipos de conflito:

$$N_{eq} = 3 + 8 + 15 = 26$$

$$K = 26 / (3 + 16 + 45) = 26 / 64 = 0,40625$$

$$N_{eqn} = 26 \times 0,40625 = 10,56$$

$$x(max) = 26 + 20,61 = 46,61$$

$$x(min) = 26 - 11,58 = 14,42$$

Para exemplificar a aplicação da metodologia, supõe-se que tenha sido feita uma pesquisa por um período de 1,5 h, constatando-se o número de conflitos dados no exemplo acima.

Então:

$$x(max) = 46,61 / 1,5 = 31,07 \text{ conflitos/hora}$$

$$x(min) = 14,42 / 1,5 = 9,61 \text{ conflitos/hora}$$

Seja X_{Leqn} o número limite de conflitos equivalentes normalizados por hora para a instalação de semáforo. Se X_{Leqn} for abaixo de 9 conflitos/hora, recomenda-se implantar o semáforo. Se for acima de 31 conflitos/hora, o semáforo não é recomendado para efeitos de segurança. Se for entre estes limites, é necessário fazer mais pesquisas até ter 100 conflitos normalizados equivalentes, ou seja, $100 / N_{eqn} = 100 / 10,56 = 9,46$ vezes mais pesquisas que as já feitas. Isto é, deve ser feita pesquisa adicional de $9,46 \times 1,5 = 14,19$ horas.

$N_{eqn} = 10,56$ é a média equivalente normalizada de conflitos. É sempre inferior à soma simples de conflitos, tendendo diferença a ser maior à medida que os pesos sejam diferentes. Quando os pesos são iguais, os valores coincidem e as expressões (7) e (8) se reduzem às expressões (2) e (3).

O número 100 foi tomado arbitrariamente para não se ter um erro superior a 20% com 95% de probabilidade na estimativa de conflitos equivalentes. Números menores podem ser usados na ausência de recursos. É coerente usar o mesmo número em todas as pesquisas.

Os outros erros e desvios da pesquisa, embora tornem o método menos preciso, podem ser considerados razoavelmente independentes do tamanho da amostra, e apesar de acarretar uma diminuição geral da precisão e da eficiência do método, não alteram a validade da metodologia proposta.

Autoria: Consultor Eng^o Pedro Álvaro Szasz

Adaptação: Eng^o Sun Hsien Ming

CTA 5 – Gerência de Sistemas de Controle de Tráfego – GSC