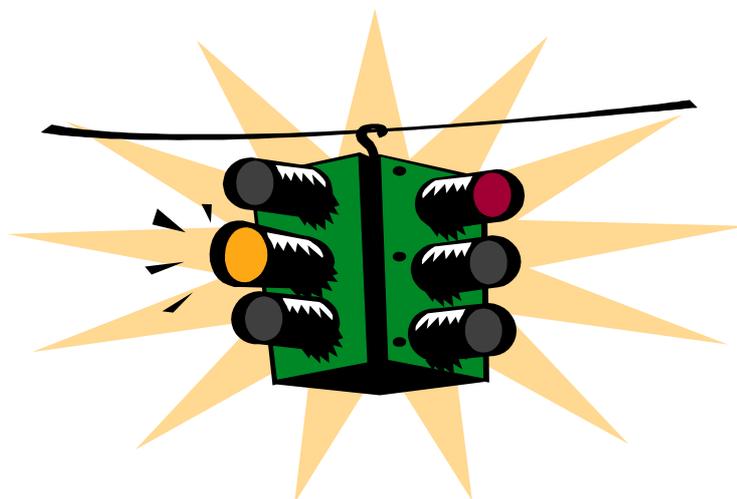


# Parâmetros básicos de programação semafórica



tempo de amarelo

tempo de vermelho de segurança

tempo de verde mínimo de estágio

tempo de pedestres

## **APRESENTAÇÃO**

---

Este texto teve origem em uma reunião ocorrida na Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, de São Paulo, entre as equipes técnicas formadas para o projeto das cinco Centrais de Tráfego em Área - CTAs, no início dos trabalhos de implantação dos novos controladores do “Projeto Semin – Semáforos Inteligentes”. O objetivo era estabelecer um padrão único de programação dos tempos de segurança dos semáforos, baseados na literatura técnica existente e na experiência do corpo técnico envolvido.

Na época (agosto de 1995), foi realizado um documento técnico de orientação, com os produtos dessa reunião. Esta é uma versão revisada e atualizada. Procurou-se enriquecer o texto, detalhando algumas passagens e incluindo a parte referente ao tempo de pedestres. A finalidade desta reprodução é unicamente didática, para uso como material de apoio na disciplina “Engenharia de Tráfego e Transporte Urbano”, da Faculdade de Engenharia da Universidade Mackenzie.

O texto está organizado da seguinte forma:

Parte I - Tempo de amarelo

Parte II – Tempo de vermelho de segurança

Parte III - Tempo de verde de mínimo de estágio

Parte IV - Tempo de pedestres

## PARTE I - TEMPO DE AMARELO

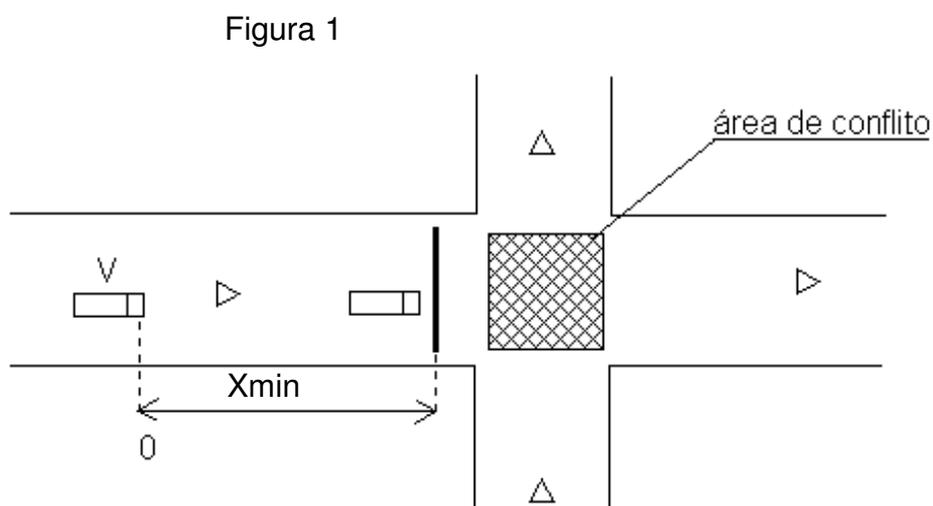
---

A utilização da luz amarela entre o verde e o vermelho no controle semafórico é necessária por não ser possível parar instantaneamente um veículo.

Sua finalidade é a de avisar ao condutor da iminência do vermelho, e portanto, que ele deverá decidir se há tempo para passar ou frear.

De acordo com o Anexo II do Código de Trânsito Brasileiro – CTB, a cor amarela do semáforo “indica ‘atenção’, devendo o condutor parar o veículo, salvo se isto resultar em situação de perigo para os veículos que vem atrás” (ver ref.1).

Vamos considerar a situação representada pela Figura 1, que mostra um veículo com velocidade constante  $V$ .



Sendo:

0 = origem; ou seja posição quando o veículo recebe o amarelo;  
X mín = distância mínima a ser percorrida até a linha de retenção.

Sabendo-se que o motorista leva de 0,8s a 1,2s (denominado tempo de percepção e reação – ver ref. 2) até reagir ao tempo de amarelo que se iniciou, ele tem duas opções:

- frear o veículo (chamaremos daqui para frente de **Caso A**);
- seguir jornada ( **Caso B**).

Devido ao tempo de percepção e reação, o veículo irá percorrer um determinado espaço ( $x_{pr}$ ),

onde  $x_{pr} = V \cdot t_{pr}$  (Equação I)

**I.1 Caso A** - Após o tempo de percepção e reação ( $t_{pr}$ ), o tempo restante de amarelo ( $t_{ra}$ ) deve ser um valor tal que o veículo pare na faixa de retenção no início do vermelho.

Usando a equação de Torricelli, temos:

$$V_f^2 - V_0^2 = 2 \cdot a \cdot s$$

onde  $a$  = aceleração ( $m / s^2$ );  
 $s$  = espaço percorrido (m);  
 $V_0$  = velocidade inicial (m/s);  
 $V_f$  = velocidade final (m/s).

Para o Caso A:

temos  $V_0 = 0$  e  $s = X_{ra}$  = espaço percorrido após a reação à sinalização da luz amarela.

Então:

$$0 - V^2 = 2 \cdot (-a) \cdot x_{ra}, \quad (-a, \text{ pois se trata de desaceleração}). \text{ Portanto,}$$

$$x_{ra} = \frac{V^2}{2a} \quad (\text{Equação II})$$

A distância mínima ( $X_{\min}$ ), mostrada da Figura 1, tem, então, dois componentes:

$$X_{\min} = X_{pr} + X_{ra} \quad (\text{Equação III})$$

Substituindo-se as equações I e II na III, temos:

$$X_{\min} = V \cdot t_{pr} + \frac{V^2}{2 \cdot a} \quad (\text{Equação IV})$$

**I.2.Caso B** - Caso o motorista resolva seguir viagem no início da luz amarela com a sua velocidade atual, esse tempo do amarelo deverá ser suficiente para que ele atinja a área de conflito do cruzamento.

Logo,

$$X_{\min} = V \cdot t_a \quad \text{onde } t_a = \text{tempo de amarelo} \quad (\text{Equação V})$$

### I.3. Conclusão dos Casos A e B

Deve-se partir do princípio que o tempo de amarelo deverá atender tanto ao Caso A como ao Caso B.

Igualando-se as equações IV e V, temos:

$$t_a = t_{pr} + \frac{V}{2 \cdot a} \quad (\text{Equação VI})$$

No Caso A ele conseguirá frear a tempo e junto à retenção (na pior hipótese).

No Caso B ele segue marcha constante e chega junto à área de conflito (na pior hipótese) e dependendo da largura da via, poderá ser necessário um tempo de segurança (limpeza) para que ele possa efetuar a travessia total do cruzamento.

## I.4 - Cálculo do Tempo de Amarelo

Na equação VI, temos:

$$t_a = t_{pr} + \frac{V}{2 \cdot a}$$

Os valores encontrados para a desaceleração máxima ( a ) aceita pelos motoristas, variam entre 2,0 m/s<sup>2</sup> e 4,2 m/s<sup>2</sup> (ref. 2).

Em função dos resultados obtidos em bibliografia consultada e em pesquisa efetuada pela CET, recomendamos a adoção do valor 2,8 m/s<sup>2</sup> (ref.2).

Adotando-se na equação acima os valores  $t_{pr} = 1,0$  segundo e  $a = 2,8$  m/s<sup>2</sup>, teremos para locais com velocidade regulamentada V (km/h), os seguintes valores de tempos de amarelo ( t<sub>a</sub> ) :

| V (km/h ) | ta (s) | ta (s) arredondado |
|-----------|--------|--------------------|
| ≤ 40      | 2,98   | 3                  |
| 50        | 3,48   | 4                  |
| 60        | 3,98   | 4                  |
| 70        | 4,47   | 5                  |
| 80        | 4,97   | 5                  |

Tabela 1

Observação: em geral, os equipamentos de controle semafóricos têm resolução de 1 segundo, o que não permite tempos de amarelo fracionados. A favor da segurança, os arredondamentos deverão ser feitos para cima.

Recomenda-se usar como valor da velocidade, a regulamentada para a via. Em locais sem placas de regulamentação de velocidade, sugere-se adotar os valores estabelecidos no Artigo 61 do CTB (ref.1), a saber:

- Vias arteriais – 60 Km/h
- Vias coletoras – 40 Km/h
- Vias locais – 30 Km/h

É importante lembrar o que foi considerado no Caso B, quando o motorista chegará na área de conflito do cruzamento no final do tempo de amarelo. Nesse caso, se ele frear, poderá causar um acidente. A tendência é ele seguir sua marcha. Teremos então que estudar um tempo de vermelho para a segurança do cruzamento.

## **PARTE II - TEMPO DE VERMELHO DE SEGURANÇA**

---

No dimensionamento do tempo de amarelo, vimos que na pior situação (veículo recebe o amarelo exatamente na origem), devemos estudar um tempo de segurança (vermelho de segurança).

Deveremos porém, considerar 3 situações:

Situação 1) O próximo estágio é veicular e não há faixa de pedestres após a retenção.

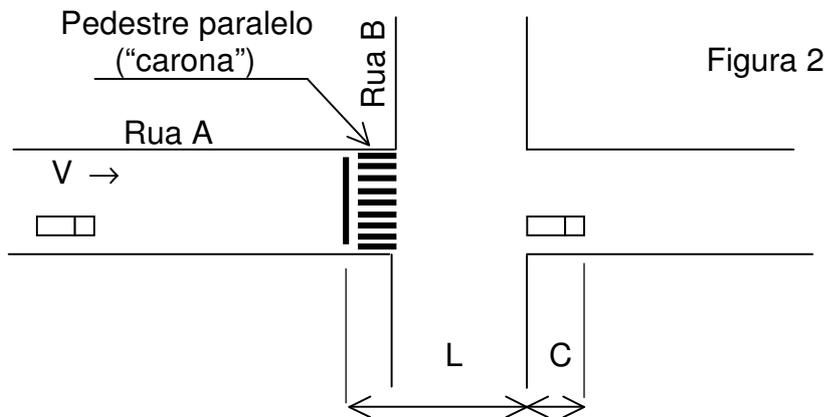
Nesse caso, deve-se considerar um tempo de reação dos motoristas que se encontram na transversal e adentrem ao cruzamento ( $t_r$ ).

Este tempo é 1,2 segundos (ref.2).

Situação 2) O próximo estágio tem pedestre paralelo (“carona”).

Nesse caso, existe faixa de pedestres. Estes têm a oportunidade de atravessar quando o fluxo da via é interrompido pelo semáforo. O tempo de travessia dos pedestres é na “carona” do verde da via perpendicular (Rua “B”, na Figura 2).

A parcela de tempo (  $t_f$  ) será igual a zero, pois os pedestres entram imediatamente na área de conflito do cruzamento



Para as situações 1 e 2, o cálculo do vermelho de segurança é:

$$t_{vs} = ( L + C ) / V - t_f \quad \text{onde } t_{vs} = \text{vermelho de segurança (Equação VII)}$$

A dimensão L (em metros) é a largura do cruzamento incluindo a faixa de pedestre anterior.

A dimensão C (em metros) é o comprimento do veículo e V é a velocidade do veículo.

Situação 3) O próximo estágio é de pedestres.

Neste caso, existem grupos focais de pedestres, com um estágio para a travessia, que pode ser paralela ou não.

Por questões de segurança, recomenda-se que sempre seja adotado um tempo mínimo de 1s entre o fechamento do estágio veicular (início do vermelho) e a abertura do estágio de pedestre ( início do verde), mesmo sendo "carona" (ver também a Parte IV – Tempo de pedestres).

### **PARTE III - TEMPO DE VERDE MÍNIMO DE ESTÁGIO**

---

É o mínimo tempo de verde que permite a saída de um veículo da retenção até a transposição do cruzamento com segurança ( durante uma transição de estágio ou mudança de plano, por exemplo ).

Este tempo também deverá atender ao movimento dos pedestres que andam de carona com esse estágio.

Deve-se salientar que este não é o tempo de verde de segurança. Esse parâmetro vem sendo objeto de discussão na CET, para aperfeiçoar a metodologia de cálculo. Um valor empírico atualmente recomendado é de 20 s para as avenidas e ruas principais e 12 s para as transversais.

Os valores do verde de segurança, em geral, são superiores ao de verde mínimo de estágio. Eventualmente, pode ocorrer o contrário. Sempre deve ser adotado o maior dos dois.

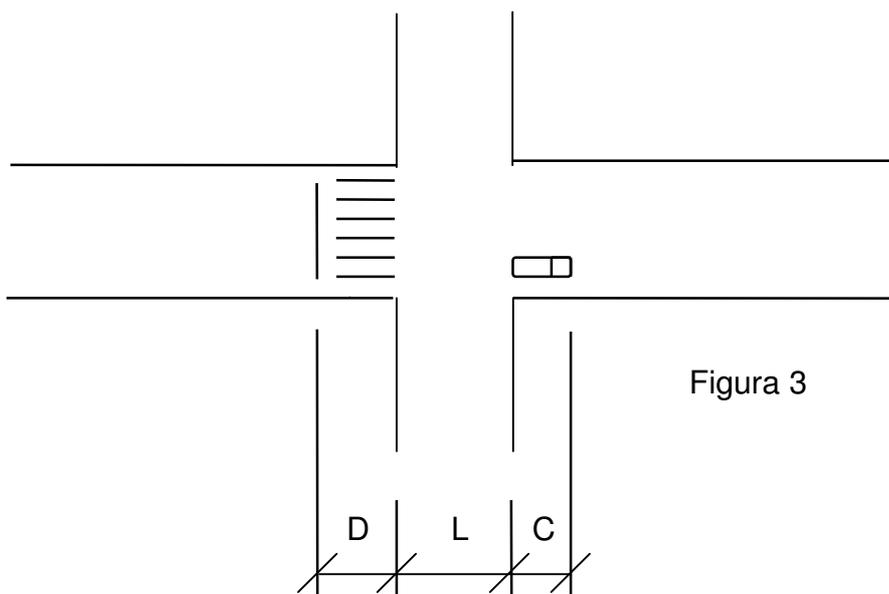


Figura 3

O tempo de travessia ( $t_t$ ) da distância ( $D + L + C$ ) pode ser calculado por:

$$s = s_0 + V_0 \cdot t + a \cdot t^2 / 2$$

onde:

$$t = t_t;$$

$$S = D + L + C;$$

$$S_0 = 0;$$

$$V_0 = 0;$$

$a$  = aceleração do veículo. Para automóveis usamos  $1,0 \text{ m/s}^2$  e para ônibus/caminhão,  $0,6 \text{ m/s}^2$  (ref. 3);

$C$  = comprimento do veículo. Sugere-se adotar  $5,0 \text{ m}$  para automóveis e  $13,0 \text{ m}$  para ônibus/caminhões;

$D$  = distância da retenção ao cruzamento (em geral,  $D = 6,0 \text{ m}$ );

portanto:

$$t_t = \sqrt{\frac{2 \cdot S}{a}} \quad (\text{Equação VIII})$$

Além desse tempo, temos de considerar um tempo de percepção e reação do motorista ( $t_{pr}$ ), de  $1,5\text{s}$  (ref. 3). Note que esse  $t_{pr}$  é diferente do usado na Parte I, porque são situações diferentes. No caso do amarelo, o veículo está em movimento.

Portanto, o tempo total necessário será de:

$$t = t_t + t_{pr} \quad (\text{Equação IX})$$

Tabela 2 – tempos (s) de verde mínimo de estágio para diversas larguras de via

| Distância (m)    | L = 9 | L = 15 | L = 30 | L = 50 |
|------------------|-------|--------|--------|--------|
| Automóvel        | 7     | 8      | 9      | 11     |
| Ônibus/caminhões | 10    | 11     | 13     | 15     |
| Pedestres (*)    | 8     | 13     | 25     | 42     |

(\*) Para os pedestres, deve-se considerar a largura efetiva ( $L'$ ), que pode ser menor que a da via ( $L$ ), uma vez que só consideramos a largura útil (desconta-se o estacionamento).

Importante: deverá sempre ser adotado o maior valor de tempo de estágio entre o veicular e o do pedestre, observando-se sempre que, no caso de haver canteiro central com largura suficiente para os pedestres, pode-se considerar o tempo de travessia somente até o canteiro. Nesse caso, ocorrerá travessia em duas etapas.

## PARTE IV – TEMPO DE PEDESTRES

---

### IV.1. Apresentação

A intenção desta parte é a de traçar linhas gerais de ações, uma vez que o detalhamento para programação e dimensionamento dos tempos de pedestres deve ser objeto de um Manual de Semáforos. Atualmente a CET está elaborando um novo manual, onde esse assunto será abordado com mais profundidade.

### IV.2. Parâmetros

#### IV.2.1. Tempos de verde para o pedestre (TV)

O tempo mínimo de verde para o pedestre (TV) deverá ser determinado da seguinte forma:

$$TV = \frac{L}{1,2} \quad (\text{Equação X})$$

onde : L = largura útil da via;  
1,2 = velocidade média do pedestre (m/s).

Esse tempo poderá variar para cima, caso haja algum horário onde o fluxo de pedestres aumente a ponto de reduzir sua velocidade, ou devido a alguma particularidade do local avaliado.

Cuidados a serem tomados:

- Verificar se o TV não está variando proporcionalmente ao ciclo. Isso, em geral, não é correto, pois o TV não varia ao longo do dia (exceto no caso do parágrafo anterior);
- para os casos onde o pedestre receba indicação de verde concomitantemente a um movimento veicular paralelo (conhecido como pedestre "carona"), deve-se atentar para que o verde mínimo programado para o estágio veicular seja suficiente para atender a travessia (TV).

#### IV.2.2. Tempo de vermelho piscante (TVmP)

O TVmP deverá ser metade do TV, dentro da faixa de 4 a 10s, ou seja:

**TVmP =  $\frac{1}{2}$  TV**, sendo os valores extremos de TVmP: **4 ≤ TVmP ≤ 10s**.

Vale lembrar que alguns equipamentos não permitem a variação do tempo de piscante em relação ao amarelo paralelo veicular. Nesse caso, deve-se garantir que o TVmP seja de, pelo menos, 4s.

#### IV.2.3. Tempo de vermelho geral

Entre a indicação de vermelho para os veículos e o início do verde para o pedestre de uma mesma aproximação, deverá haver, no mínimo, um segundo de vermelho geral, por questões de segurança.

Vale lembrar que isso também se aplica para os casos onde exista vermelho de limpeza veicular.

#### IV.2.4. Seqüência de estágios

Em locais onde exista estágio específico para pedestres, sua seqüência não deverá ser alterada ao longo de toda a programação.

É altamente recomendável que o estágio de pedestre seja sempre colocado após o da via principal do cruzamento. Essa recomendação tem origem em dois fatos: em geral a via principal tem maior tempo de verde e durante esse período se acumula o maior volume de pedestres. Também se verifica que os motoristas que estão na via principal tem uma tendência maior de avançar após a parada do movimento da transversal do que o inverso. Nesse caso, o estágio de pedestres sendo o subsequente ao da via secundária gera um fator de insegurança.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO - CTB
- 2) VILANOVA, Luis Molist . **Dimensionamento do tempo de amarelo**. Nota Técnica 108. Companhia de Engenharia de Tráfego. S.Paulo, 1985. 16 p.
- 3) McSHANE, William R., ROESS, Roger P. **Traffic Engineering**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1990. 660p.
- 4) EJZENBERG, Sérgio. **Reprogramação de semáforos: Método baseado em observação em campo**. Nota Técnica 174. Companhia de Engenharia de Tráfego. S.Paulo, 1994. 6 p.
- 5) VALDES, Antonio. **Ingenieria de Trafico**. 3<sup>a</sup> ed. Librería Editorial Bellesco. Madrid, 1988.

*Elaborado na  
Gerência de Sistemas de Controle - GSC da CET  
em agosto de 1.995 por:*

Ager Pereira Gomes  
André Navas Jr.  
Luciana F. Bisterso

*Revisado na CTA-1 em fevereiro de 1.999 por:*

Vânia M. P. Pampolha  
Vincenzo Picchiello

*Supervisão:*

Ager Pereira Gomes  
Antonio Carlos V. Abrantes

*Coordenação:*

João Cucci Neto  
(atualizou o texto em maio de 2.000)  
Luis Molist Vilanova