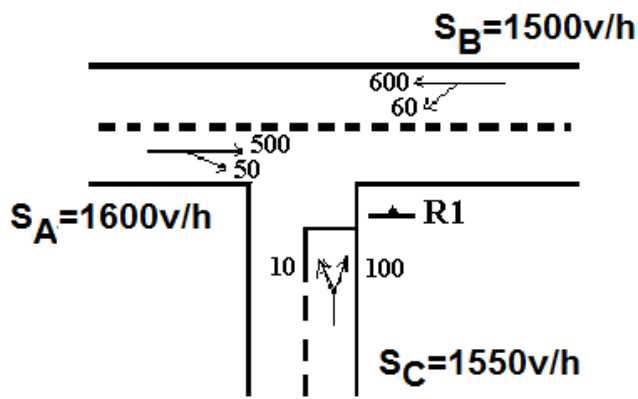


**EXERCÍCIO: SEMÁFOROS – CASOS ESPECIAIS ...**

- 1) Verificar Pedestres e  $g_{min} = 10seg$ .
- 2) Introduzir Estágio Exclusivo de Pedestres,
- 3) ou Conversões Protegidas em B  
( $Q_{Besq} = 250v/h$ )?



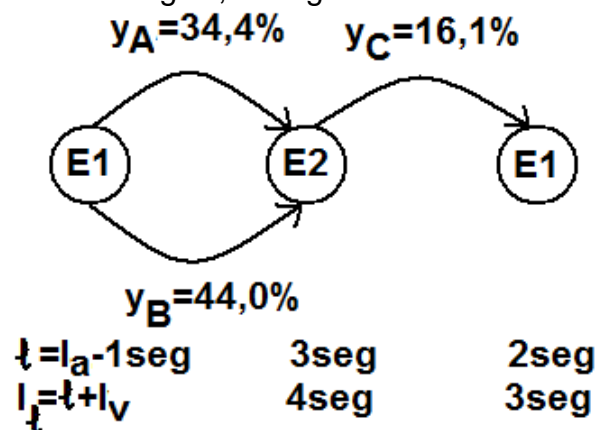
	E1	E2
$I_a =$	4seg	3seg
$I_v =$	1seg	1seg

## SOLUÇÃO DO EXERCÍCIO:

1) com os fluxos de saturação fornecidos, o dimensionamento básico foi:

$$y_A = \frac{550}{1600} = 0,3438, \quad y_B = \frac{660}{1500} = 0,4400, \quad y_C = \frac{250}{1550} = 0,1613$$

Com o plano simples de dois estágios, o diagrama de movimento é



$$Y = 44,0 + 16,1 = 60,1\%, \quad t_p = 4 + 3 = 7\text{seg}, \quad t_c = \frac{1,5 \cdot 7 + 5}{1 - 0,601} = 39\text{seg}$$

$$G_{ef} = 39 - 7 = 32\text{seg}, \quad g_{ef}^{E1} = \frac{0,440}{0,601} \cdot 32 = 23\text{seg} \Rightarrow g_{E1} = 32 + 3 - 4 = 22\text{seg}$$

$$g_{ef}^{E2} = \frac{0,161}{0,601} \cdot 32 = 9\text{seg} \Rightarrow g_{E2} = 9 + 3 - 4 = 8\text{seg}$$

Portanto, E2 não satisfaz a condição de verde mínimo ( $g_{\min} = 10\text{seg}$ ).

Para os pedestres, se  $L=7\text{m}$  (2 faixas)  $t_{ped} = \frac{7}{1,2} + 3 = 9\text{seg}$  e  $g_{\min,ped} = 9 - 3 = 6 < 10\text{seg}$ .

A condição de verde mínimo é crítica em E2:  $I_{l2} = 10 + 3 + 1 = 14\text{seg}$  e  $y_{E2} = 0$ .

(se a condição do pedestre é crítica em E2:  $I_{l2} = t_{ped} + I_v = g_{ped} + I_{pisc} + I_v$  e  $y_{E2} = 0$ ).

$$\text{Portanto, } Y' = 44,0 + 0 = 44,0\%, \quad t'_p = 7 - 3 = 4\text{seg}, \quad t'_c = \frac{1,5 \cdot 4 + 14 + 5}{1 - 0,44} = 45\text{seg e}$$

$$G_{ef} = 45 - 4 - 14 = 27\text{seg}, \quad g_{ef}^{E1} = 27\text{seg} \Rightarrow g_{E1} = 27 + 3 - 4 = 26\text{seg}$$

$$g_{E2} = 10\text{seg} \Rightarrow g_{ef}^{E2} = 10 + 4 - 3 = 11\text{seg}$$

2) Se é necessário um estágio exclusivo para pedestres (E3):

O estágio exclusivo pode ser colocado após a via principal ou secundária (a segurança e conveniência para os pedestres é afetada mas o dimensionamento não é afetado, a menos de eventuais ajustes nos entreverdes dos veículos em relação aos pedestres).

Com  $L=7m$  (2 faixas)  $t_{ped} = \frac{7}{1,2} + 3 = 9seg$  e  $I_{ped} = t_{ped} + I_v = 9 + 1 = 10seg$ .

$$Y = 44,0 + 16,1 = 60,1\%, t_p = 4 + 3 = 7seg, t_c = \frac{1,5 \cdot 7 + 10 + 5}{1 - 0,601} = 64seg$$

$$G_{ef} = 64 - 7 - 10 = 47seg, g_{ef}^{E1} = \frac{0,440}{0,601} \cdot 47 = 34seg \Rightarrow g_{E1} = 34 + 3 - 4 = 33seg > g_{min} = 10seg$$

$$g_{ef}^{E2} = \frac{0,161}{0,601} \cdot 47 = 13seg \Rightarrow g_{E2} = 13 + 3 - 4 = 12seg > g_{min} = 10seg$$

A melhora da situação dos pedestres exige maiores ciclos (e atrasos veiculares).

Em geral, o estágio da via principal bloqueia os pedestres por um tempo maior e o estágio de pedestres após a via principal pode reduzir seu atraso.

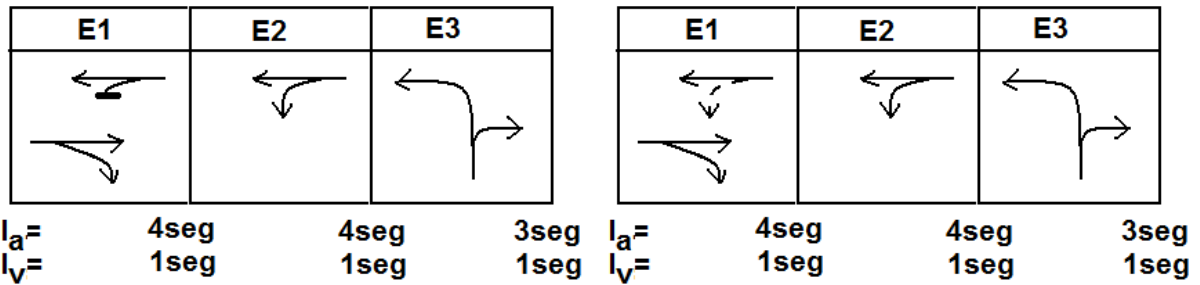
Por outro lado, em geral o estágio da via secundária tem fluxos de menor velocidade e o estágio de pedestres após a via secundária pode ter transição mais segura.

3) Se é necessário um estágio com conversões à esquerda protegidas em B:

Existem diversas opções para acomodar o estágio protegido para conversões de B:

- o estágio de conversões pode vir antes ou após o estágio dos fluxos diretos;
- o estágio dos fluxos diretos pode ou não manter as conversões permitidas.

Para o caso com estágio de conversões após o fluxo direto, as opções seriam:



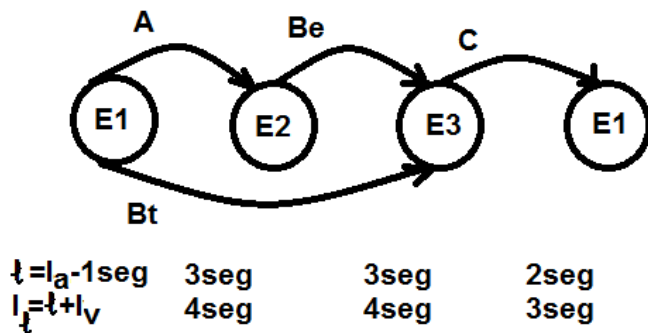
(admitindo novamente que os entreverdes não são afetados pela ordem dos estágios).

Aspecto mais complexo: estimar fluxos de saturação, alocação às faixas e estágios ...

No exemplo, existe uma única faixa e haverá eventual interação de bloqueio.

Suposição inicial:  $S_{Breto} = 1200v/h$  e  $S_{Besq} = 1000v/h$  com a primeira opção:

$$y_A = \frac{550}{1600} = 0,3438 \quad y_{Bt} = \frac{600}{1200} = 0,5000, y_{Bc} = \frac{60}{1000} = 0,0600, y_C = \frac{250}{1550} = 0,1613$$



Sequência	Y	tp	tc
A-Be-C	0,5651	11seg	49seg
Bt-C	0,6613	7seg	46seg

$$tc = 50\text{seg} \Rightarrow G_{ef} = 50 - 11 = 39\text{seg}$$

$$g_{E1} = \frac{0,3438}{0,5651} \cdot 39 = 24\text{seg} \text{ e } g_{E1} = 23\text{seg}$$

$$g_{E2} = \frac{0,0600}{0,5651} \cdot 39 = 4\text{seg} \text{ e } g_{E2} = 3\text{seg}$$

$$g_{E3} = \frac{0,1613}{0,5651} \cdot 39 = 11\text{seg} \text{ e } g_{E3} = 10\text{seg}$$

Verificação dos fluxos de saturação de Bt e Be, admitindo  $S_t = 1800vt/h$  e  $S_e = 1500ve/h$ :

- em E1:  $m_{t1} = \frac{1800}{3600} \cdot 24 \cong 12v$  (máximo);  $p_{t1} = p_t = \frac{600}{660} = 0,909$  são diretos;

$$\text{então } \bar{n}_{t1} = \frac{p}{1-p} \cdot (1-p^m) = \frac{0,909}{1-0,909} \cdot (1-0,909^{12}) = 6,8v \text{ e } S'_{Bt1} = \frac{\bar{n}_{t1}}{g_{E1}} = \frac{6,8}{24} \cdot 3600 = 1020v/h;$$

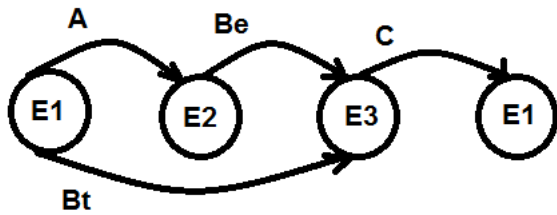
- em E2:  $\bar{n}_{t2} = \frac{600}{3600} \cdot 50 - 6,8 = 1,5v$  e  $\bar{n}_{e2} = \frac{60}{3600} \cdot 50 = 0,8v$ ;  $p_{t2} = \frac{1,5}{1,5+0,8} = 0,65$  diretos

$$\text{então } S_2 = \frac{1}{0,65/1800 + 0,35/1500} = 1682v/h, \text{ com } S'_{Be2} = 0,35 \cdot 1682 = 589v/h \text{ (esquerda),}$$

$$S'_{Bt2} = 0,65 \cdot 1682 = 1093v/h \text{ (direto) e } \bar{S}'_{Bt} = \frac{24}{24+4} \cdot 1020 + \frac{4}{24+4} \cdot 1093 = 1030v/h \text{ (direto).}$$

Reiteração com:  $S_{Breto} = 1100v/h$  e  $S_{Besq} = 750v/h$  com a primeira opção:

$$y_A = \frac{550}{1600} = 0,3438 \quad y_{Bt} = \frac{600}{1100} = 0,5455, y_{Bt} = \frac{60}{750} = 0,0800, y_C = \frac{250}{1550} = 0,1613$$



$$\begin{array}{l} t = l_a - 1 \text{seg} \quad 3 \text{seg} \quad 3 \text{seg} \quad 2 \text{seg} \\ l_t = t + l_v \quad 4 \text{seg} \quad 4 \text{seg} \quad 3 \text{seg} \end{array}$$

Sequência	Y	tp	tc
A-Be-C	0,5851	11seg	52seg
Bt-C	0,7068	7seg	53seg

$$tc = 55 \text{seg} \rightarrow G_{ef} = 55 - 11 = 44 \text{seg}$$

$$g_{ef}^{E1\&2} = \frac{0,5455}{0,7068} \cdot 44 = 34 \text{seg} \text{ e } g_{E1\&2} = 33 \text{seg}$$

$$g_{ef}^{E3} = 44 - 34 = 10 \text{seg} \text{ e } g_{E3} = 9 \text{seg}$$

$$g_{ef}^{E1+2} = 34 - 4 = 30 \text{seg} \text{ e } y_{E1+2} = 0,4238$$

$$g_{ef}^{E1} = \frac{0,3438}{0,4238} \cdot 30 = 24 \text{seg} \text{ e } g_{E1} = 23 \text{seg}$$

$$g_{ef}^{E2} = 30 - 24 = 6 \text{seg} \text{ e } g_{E2} = 5 \text{seg}$$

Verificação dos fluxos de saturação de Bt e Be, admitindo  $S_t = 1800vt/h$  e  $S_e = 1500ve/h$ :

- em E1:  $m_{t1} = \frac{1800}{3600} \cdot 24 \cong 12v$  (máximo);  $p_{t1} = p_t = \frac{600}{660} = 0,909$  são diretos;

$$\text{então } \bar{n}_{t1} = \frac{p}{1-p} \cdot (1-p^m) = \frac{0,909}{1-0,909} \cdot (1-0,909^{12}) = 6,8v \text{ e } S'_{Bt1} = \frac{\bar{n}_{t1}}{g_{ef}^{E1}} = \frac{6,8}{24} \cdot 3600 = 1020v/h;$$

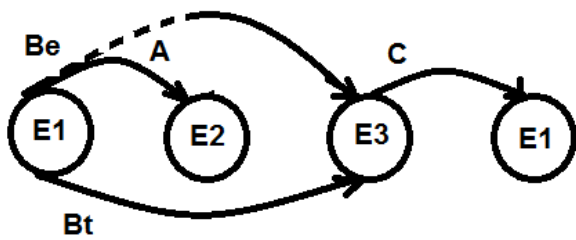
- em E2:  $\bar{n}_{t2} = \frac{600}{3600} \cdot 55 - 6,8 = 2,4v$  e  $\bar{n}_{e2} = \frac{60}{3600} \cdot 55 = 0,9v$ ;  $p_{t2} = \frac{2,4}{2,4+0,9} = 0,7273$  diretos

$$\text{então } S_2 = \frac{1}{0,73/1800 + 0,37/1500} = 1533v/h, \text{ com } S'_{Be2} = 0,37 \cdot 1533 = 567v/h \text{ (esquerda),}$$

$$S'_{Bt2} = 0,73 \cdot 1533 = 1119v/h \text{ (direto) e } \bar{S}'_{Bt} = \frac{24}{24+6} \cdot 1020 + \frac{6}{24+6} \cdot 1119 = 1040v/h \text{ (direto).}$$

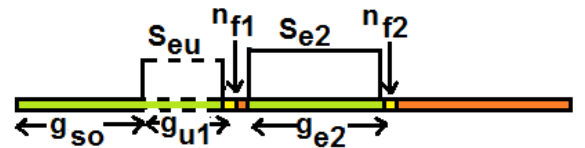
E assim sucessivamente até a convergência ...

Para o plano alternativo com conversões permitidas também em E1:



$t = t_a - 1 \text{seg}$	3seg	3seg	2seg
$t_f = t + t_v$	4seg	4seg	3seg

representação de S para Be:



$$- \text{ em E1\&E2: } S = \frac{S_{eu} \cdot g_{u1} + n_{f1} + S_{e2} \cdot g_2 + n_{f2}}{g_{e1} + t_{1/2} + g_{e2}}$$

$$- \text{ em E2: } S = \frac{S_{eu} \cdot g_{u1} + n_{f1} + S_{e2} \cdot g_2 + n_{f2}}{g_{e2}}$$

(alocar fluxo aos estágios em sequência: menor entre a demanda e a capacidade).

Adotando a mesma suposição inicial do caso anterior (e seu dimensionamento):

-  $\alpha = 6 \text{seg}, \beta = 3 \text{seg}$  para as conversões à esquerda permitidas

no fluxo oposto (A):  $g_{so} = \frac{q_o}{S_o - q_o} \cdot r_o = \frac{550}{1600 - 550} \cdot (50 - 24) = 13,6 \text{seg}$

no fluxo analisado (B):  $g_u = 24 - 13,6 = 10,4 \text{seg}$  com  $S_{eu} = \frac{e^{-\frac{550}{3600} \cdot 6}}{1 - e^{-\frac{550}{3600} \cdot 3}} \cdot 550 = 598 \text{v/h}$

- em E1: admitindo  $S_T = 1800 \text{v/h}$  para os fluxos diretos;

em  $g_{so}$ :  $m_{t1s} = \frac{1800}{3600} \cdot 13,6 \cong 7 \text{v}$  (máximo);  $p_{t1s} = p_t = \frac{600}{660} = 0,909$  são diretos;

então  $\bar{n}_{t1} = \frac{p}{1-p} \cdot (1 - p^m) = \frac{0,909}{1-0,909} \cdot (1 - 0,909^7) = 4,8 \text{v}$  e  $S'_{Bt1s} = \frac{\bar{n}_{t1s}}{g_{so}^{E1}} = \frac{4,8}{13,6} \cdot 3600 = 127 \text{lv/h}$ ;

em  $g_u = g_{ef} - g_{so}$ :  $\bar{n}_{t1u} = \frac{600}{3600} \cdot 40 - 4,8 = 1,9 \text{v}$ ,  $\bar{n}_{e1u} = \frac{60}{3600} \cdot 40 = 0,7 \text{v}$ ;  $p_{t1u} = \frac{1,9}{1,9 + 0,7} = 0,7208$

então  $S_1 = \frac{1}{0,72/1800 + 0,28/598} = 1153 \text{v/h}$  sendo  $S'_{Bt1u} = 0,72 \cdot 1153 = 830 \text{v/h}$  (direto),

$S'_{Be1u} = 0,28 \cdot 1153 = 323 \text{v/h}$  (esquerda),  $\bar{S}'_{Bt1} = \frac{13,6}{24} \cdot 127 + \frac{10,4}{24} \cdot 830 = 1080 \text{v/h}$  (direto) e

$n_{Be1} = \frac{323}{3600} \cdot 10,4 + 0,5 = 1,4 \text{v}$  (conversão à esquerda em E1 com  $n_f = 0,5 \text{v}$  em E1/E2);

- em E2: se  $\bar{n}_{Q1} = \frac{600}{3600} \cdot 40 = 6,7 \text{v} < \bar{n}_{máx1} = \bar{S}'_{Bt1} \cdot g_{ef1} = \frac{1080}{3600} \cdot 24 = 7,2 \text{v} \therefore \bar{n}_{t2} = \frac{600}{3600} \cdot 8 = 1,3 \text{v}$  e

$\bar{n}_{e2} = \frac{60}{3600} \cdot 40 = 0,7 \text{v} < \bar{n}_{emáx1} = n_{Be1} = 1,9 \text{v} \therefore \bar{n}_{e2} = \frac{60}{3600} \cdot 8 = 0,1 \text{v}$  e  $p_{t2} = p_t = 0,909$  diretos

então  $S_2 = \frac{1}{0,91/1800 + 0,09/1500} = 1768 \text{v/h}$ , sendo  $S'_{Bt2} = 0,91 \cdot 1768 = 1607 \text{v/h}$  (direto),

$S'_{Be2} = 0,09 \cdot 1607 = 161 \text{v/h}$  (esquerda),  $\bar{S}'_{Bt} = \frac{24}{24+4} \cdot 1080 + \frac{4}{24+4} \cdot 1607 = 1155 \text{v/h}$  (direto) e

$\bar{S}'_{Bt} = 161 + \frac{0,5+0,5}{4} \cdot 3600 = 1061 \text{v/h}$  (esquerda, referido a E2 como no dimensionamento

do caso anterior, com  $\bar{n}_{e1} = \frac{60}{3600} \cdot 28 = 0,5 \text{v}$  de E1 e  $n_f = 0,5 \text{v}$  em E2/E3).

O dimensionamento teria de ser reiterado até obter-se a convergência.  
(com  $S_{Be}$  referido a E2, o dimensionamento é feito como no caso anterior).

A suposição de  $n_f = 0,5v$  considera um aproveitamento parcial do entreverdes.  
(É uma suposição difícil de avaliar, exceto através da observação de campo).

Verificação da capacidade para as conversões à esquerda permitidas:  
(em ambos os casos, será feita para o dimensionamento inicial)

- com a primeira opção, corresponde apenas ao estágio protegido, tendo-se

$$C_{CE} = \frac{g_{uef}}{t_c} \cdot S_{e2} + \frac{n_{f2}}{t_c} = \frac{4}{50} \cdot 667 + 0,5 \cdot \frac{3600}{50} = 53,4 + 36,0 = 89,4 > 60v/h \text{ (próximo ao limite).}$$

- com a segunda opção, corresponde a ambos os estágios (no caso, permitido em E1 e protegido em E2), tendo-se

$$C_{CE} = \frac{g_{u1}}{t_c} \cdot S_{u1} + \frac{n_{f1}}{t_c} + \frac{g_{e2}}{t_c} \cdot S_{e2} + \frac{n_{f2}}{t_c} \quad \text{ou}$$

$$C_{CE} = \frac{10,6}{50} \cdot 323 + 0,5 \cdot \frac{3600}{50} + \frac{4}{50} \cdot 161 + 0,5 \cdot \frac{3600}{50} = 68,5 + 36,0 + 12,9 + 36,0 = 153,4 > 60v/h.$$

Num caso mais geral, os fluxos deveriam também ser alocados às faixas de tráfego. Para as faixas com uso compartilhado, a condição de equilíbrio normalmente adotada corresponde a alocar os fluxos de forma a obter taxa de ocupação ( $y$ ) igual.