

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SUL-RIO-GRANDENSE
Campus Passo Fundo

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

ENGENHARIA DE TRÁFEGO

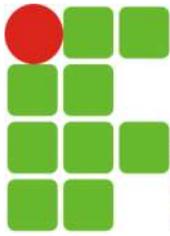
- ENGENHARIA DE TRÁFEGO

Aula

DIMENSIONAMENTO SEMAFÓRICO

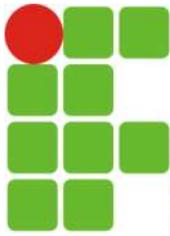
Prof. Alessandro Della Vecchia





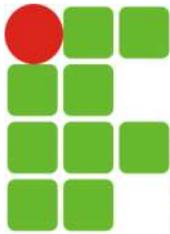
- Conceitos
- **Sinalização Semafórica:** Subsistema da sinalização viária que se compõe de indicações luminosas acionadas alternada ou intermitentemente através de sistema elétrico/eletrônico, cuja função é controlar os deslocamentos. (Anexo 2 do CTB).





- Conceitos
- **Semáforo:** É um dispositivo de controle de tráfego que através de indicações luminosas transmitidas para motoristas e pedestres, altera o direito de passagem de motoristas e/ou pedestres.



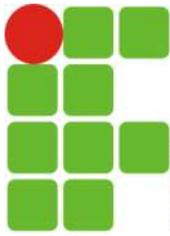


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

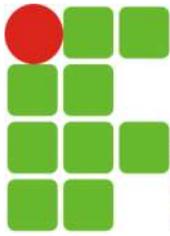
- Conceitos
- Tipos de sinalização:
 - **Existem dois grupos de sinalização semafórica:**
 - De advertência;
 - De regulamentação.





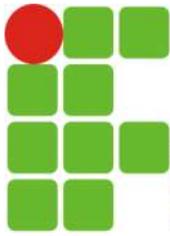
- Conceitos
- Sinalização semafórica de advertência:
 - Tem a função de advertir da existência de obstáculo ou situação perigosa devendo o condutor reduzir a velocidade e adotar as medidas de precaução compatíveis com a segurança para seguir adiante;
 - É composta de uma ou duas luzes amarelas, intermitentes.





- Conceitos
- Sinalização semafórica de regulamentação:
 - Controla o trânsito, alternando o direito de passagem;
 - Sequência de cores:
 - Veículos: Vermelho, Verde, Amarelo, Vermelho
 - Pedestres: Vermelho, Verde, Vermelho piscante, vermelho.
 - Fase – Sequência de cores aplicada a uma ou mais correntes de tráfego.





- Conceitos
- Sinalização semafórica de regulamentação:

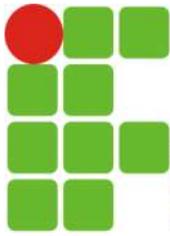
- Cores veículos:

- Vermelha: Indica obrigatoriedade de parar;

- Amarela: Indica “atenção”, devendo o condutor parar o veículo, salvo se isto resultar em situação de perigo;

- Verde: Indica permissão de prosseguir na marcha, podendo o condutor efetuar as operações indicadas pelo sinal luminoso, respeitando as normas gerais de circulação e conduta.





- Conceitos

- Sinalização semafórica de regulamentação:

- Cores Pedestre:

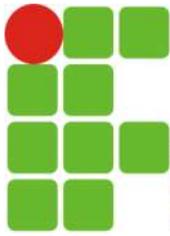
- Vermelha: Indica que os pedestres não podem atravessar;

- Vermelha intermitente: assinala que a fase durante a qual os pedestres podem atravessar está a ponto de terminar, isto indica que os pedestres não podem começar a cruzar a via e os que tenham iniciado a travessia na fase verde se desloquem o mais breve possível para o local seguro mais próximo;



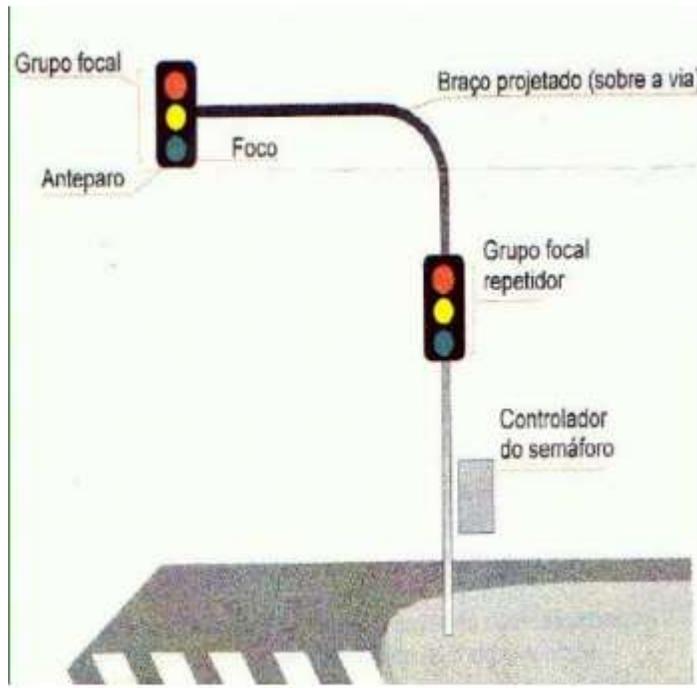
- Verde: Assinala que os pedestres podem atravessar.





CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

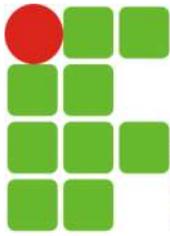
- Semáforos -



- Conceitos
- Sinalização semafórica de regulamentação:

- Foco semafórico representa a unidade que fornece indicação luminosa;
- Grupo focal é o conjunto formado por dois ou mais focos.

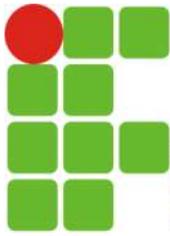




- Conceitos

- **Controlador:** equipamento que atua diretamente nos semáforos, responsável pela sequência de cores ao longo do tempo;
- **Ciclo:** Sequência completa de operação da sinalização, durante a qual, todos os estágios existentes na intersecção devem ser atendidos pelo menos uma vez;
- **Entreverdes:** Período de tempo compreendido entre o fim do verde de um estágio e o início do verde do estágio seguinte;
- **Diagrama de tempos (Barras):** Representação em escala da sequência de cores para as diversas fases de um ciclo.

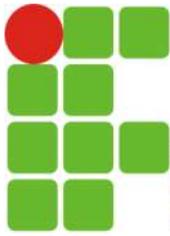




- Conceitos

- **Movimento veicular (não conflitante):** Fluxo de veículos que tem determinada origem e determinado destino e são compatíveis, ou seja, podem ocorrer simultaneamente;
- **Movimentos conflitantes (não compatíveis):** Fluxo de veículos que não podem transitar simultaneamente pela intersecção de forma segura;
- **Aproximação:** Seção de entrada em uma intersecção, delimitada pela linha de retenção. Pode ter mais de um movimento veicular.

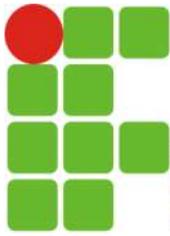




- Exemplo prático:

- Escolher um cruzamento e determinar as situações de:
 - Movimento veicular (não conflitante);
 - Aproximação.

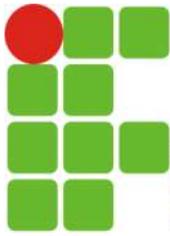




- Conceitos

- **Estágio:**
- É a situação dos semáforos de uma interseção durante um período que dá direito de passagem a uma ou mais correntes de tráfego e no qual não há mudanças de cores.
- É a configuração das indicações luminosas de uma intersecção que dá direito de passagem a determinados movimentos compatíveis;
- Nos projetos e programações, os movimentos compatíveis que recebem direito de passagem são representados no “Diagrama de estágios”





- Conceitos

- Diagrama de estágios é a representação esquemática da sequência de movimentos permitidos e proibidos para cada intervalo do ciclo.

- Representação gráfica – Movimento veículas

verde (permissão para passar): 

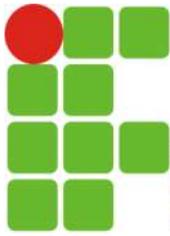
vermelho (parar e aguardar): 

- Representação gráfica – Pedestres:

verde (permissão para passar): 

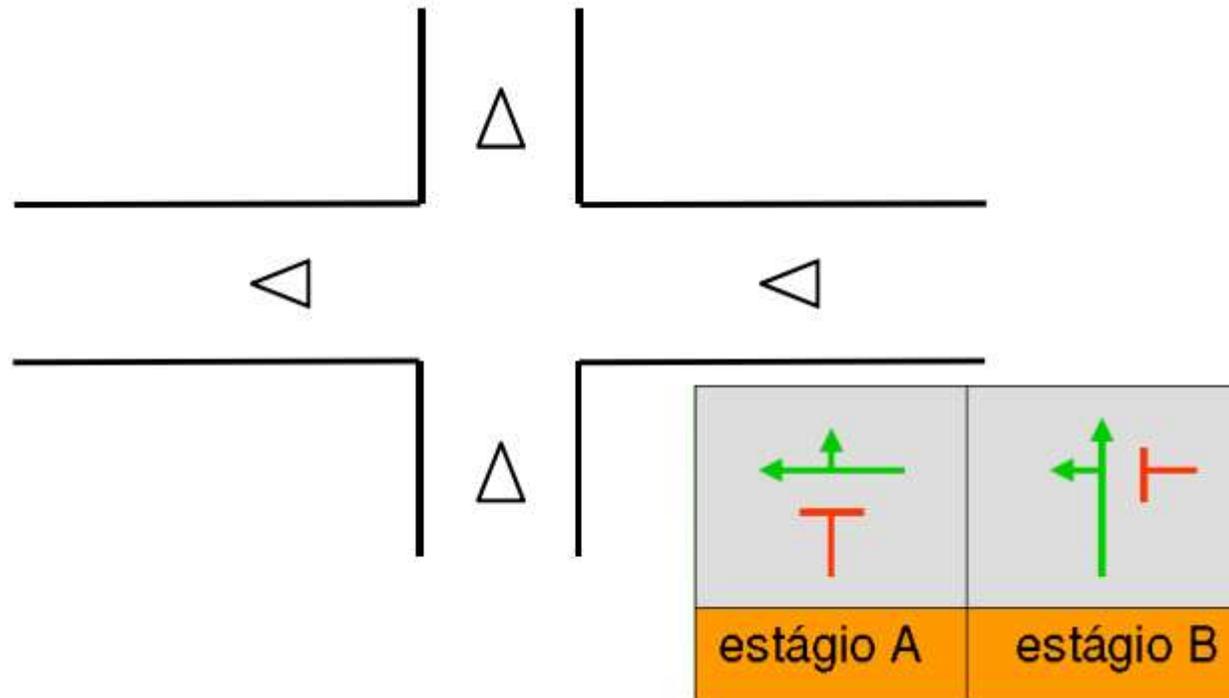
vermelho (parar e aguardar): 

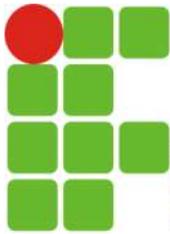




- Conceitos

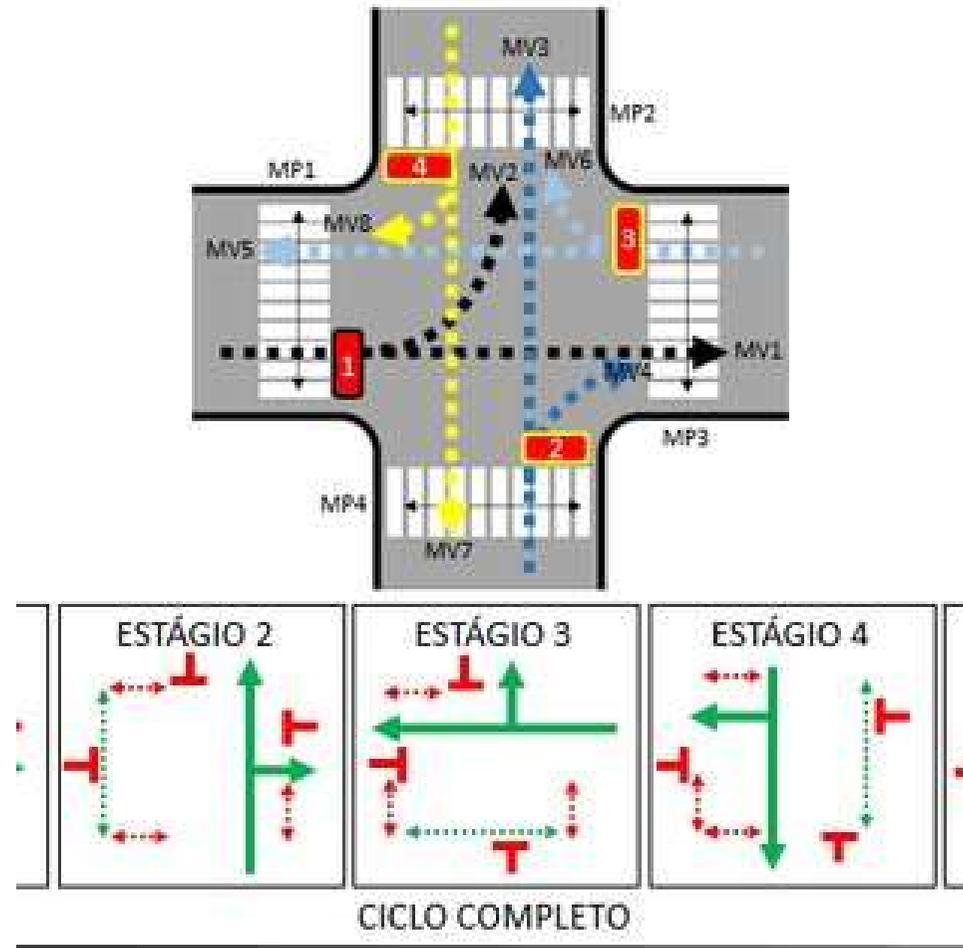
- Exemplo de Diagrama de Estágios

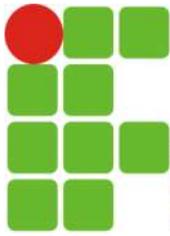




CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

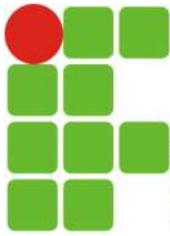




- Exemplo prático:

- Para o cruzamento escolhido anteriormente, monte o diagrama de estágios que representa os movimentos da intersecção.

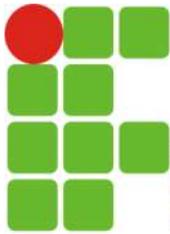




- Conceitos

- Grupo semaforico: conjunto mínimo de grupos focais necessários para a regulamentação do direito de passagem de um (ou mais) movimento (s) veicular(es) ou de pedestres.
- São do mesmo grupo semaforico os grupos focais que sempre tem o início e o final do verde ocorrendo simultaneamente.
- Os grupos focais que são do mesmo grupo semaforico devem receber a mesma denominação. Em geral, os grupos semaforicos são representados e denominados por “Gn” (G1, G2, G3 etc..)

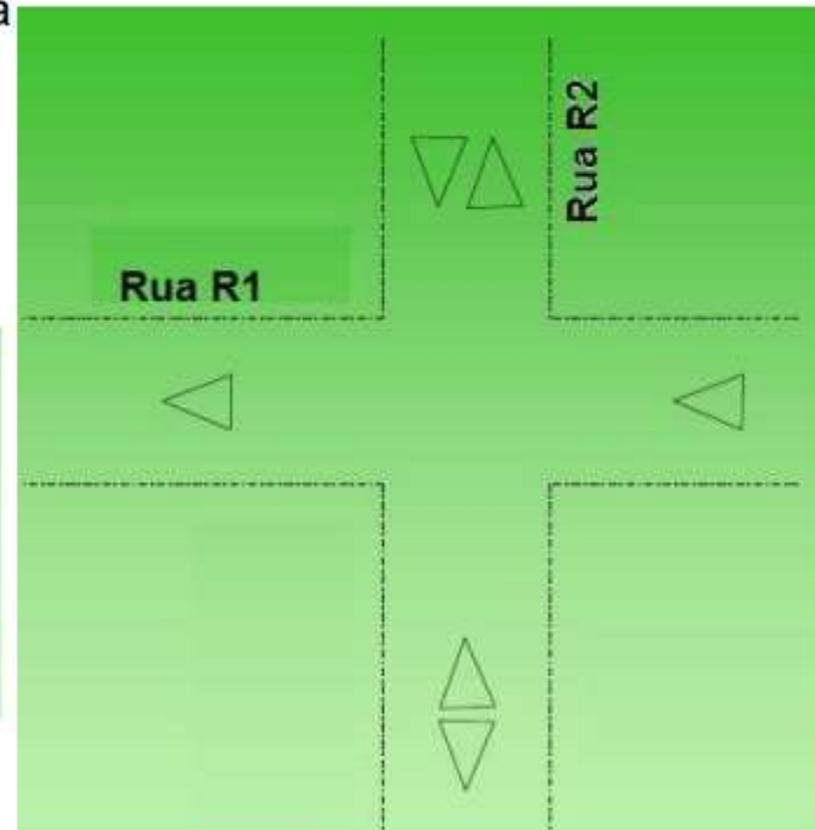
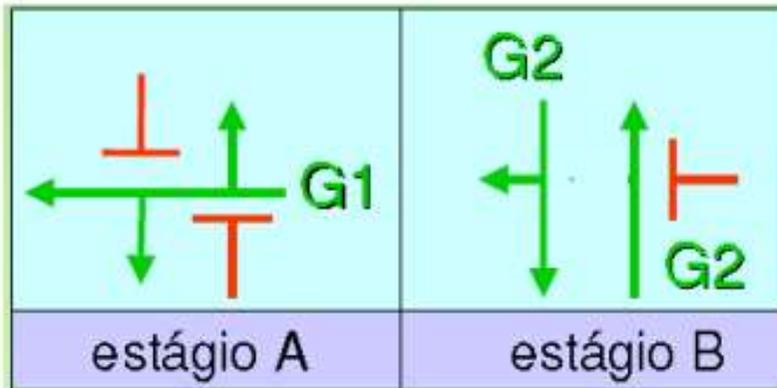


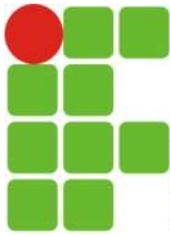


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

- o grupo G1 é para a aproximação da R1 (3 movimentos veiculares) e o G2 para R2 (esta, com 3 movimentos)

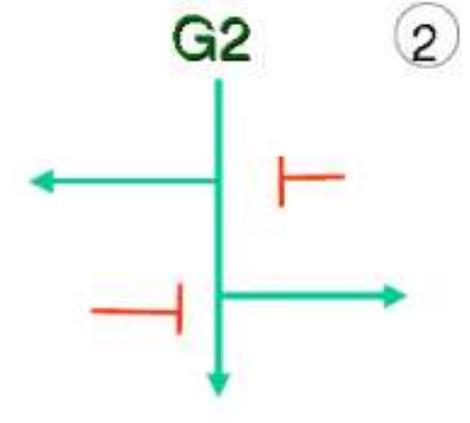
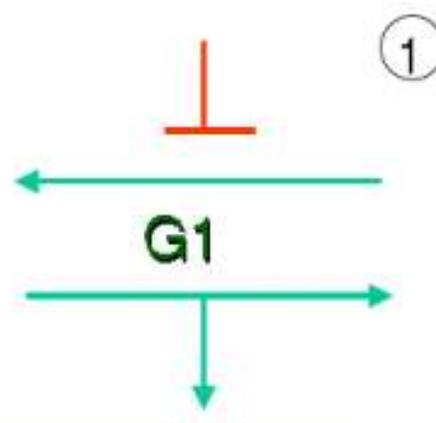
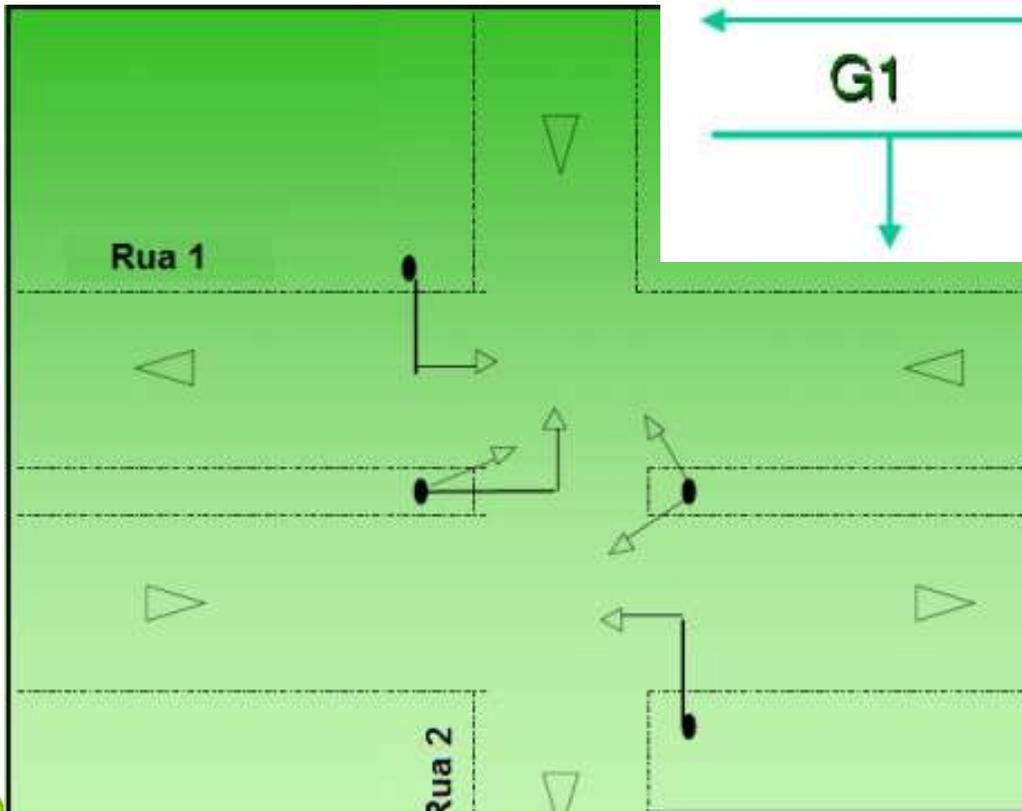


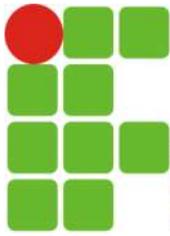


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

ENGENHARIA DE TRÁFEGO

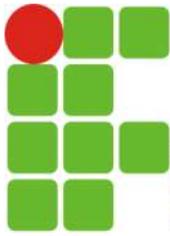




- Conceitos

- Entreverdes: período entre o final do verde de um estágio e o início do verde do estágio subsequente.
- É formado pelas seguintes parcelas:
 - Tempo de amarelo (T_a) – Sempre ocorre
 - Tempo de vermelho de segurança (T_{vs}) – Depende das dimensões do cruzamento.
- - Entreverdes = $T_a + T_{vs}$

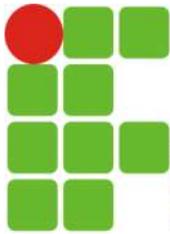




- Conceitos

- Tempo de amarelo (T_a)
- É relativo à velocidade dos veículos;
- Para o dimensionamento do amarelo, deve-se usar a velocidade regulamentada para a via pela sinalização vertical ou a estabelecida pelo CTB, conforme hierarquia da via:
 - Trânsito rápido (não tem semáforo) = 80km/h
 - Arterial = 60km/h;
 - Coletora = 40 km/h;
 - Local = 30km/h.

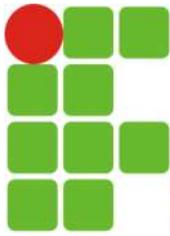




- Tempos de amarelo (T_a) segundo as velocidades
(Considerando vias sem rampa)

Velocidade máxima Regulamentada (Km/h)	Tempo de amarelo Arredondado (s)
≤ 40	3
50	4
60	4
70	5
80	5

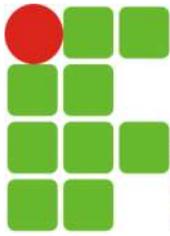




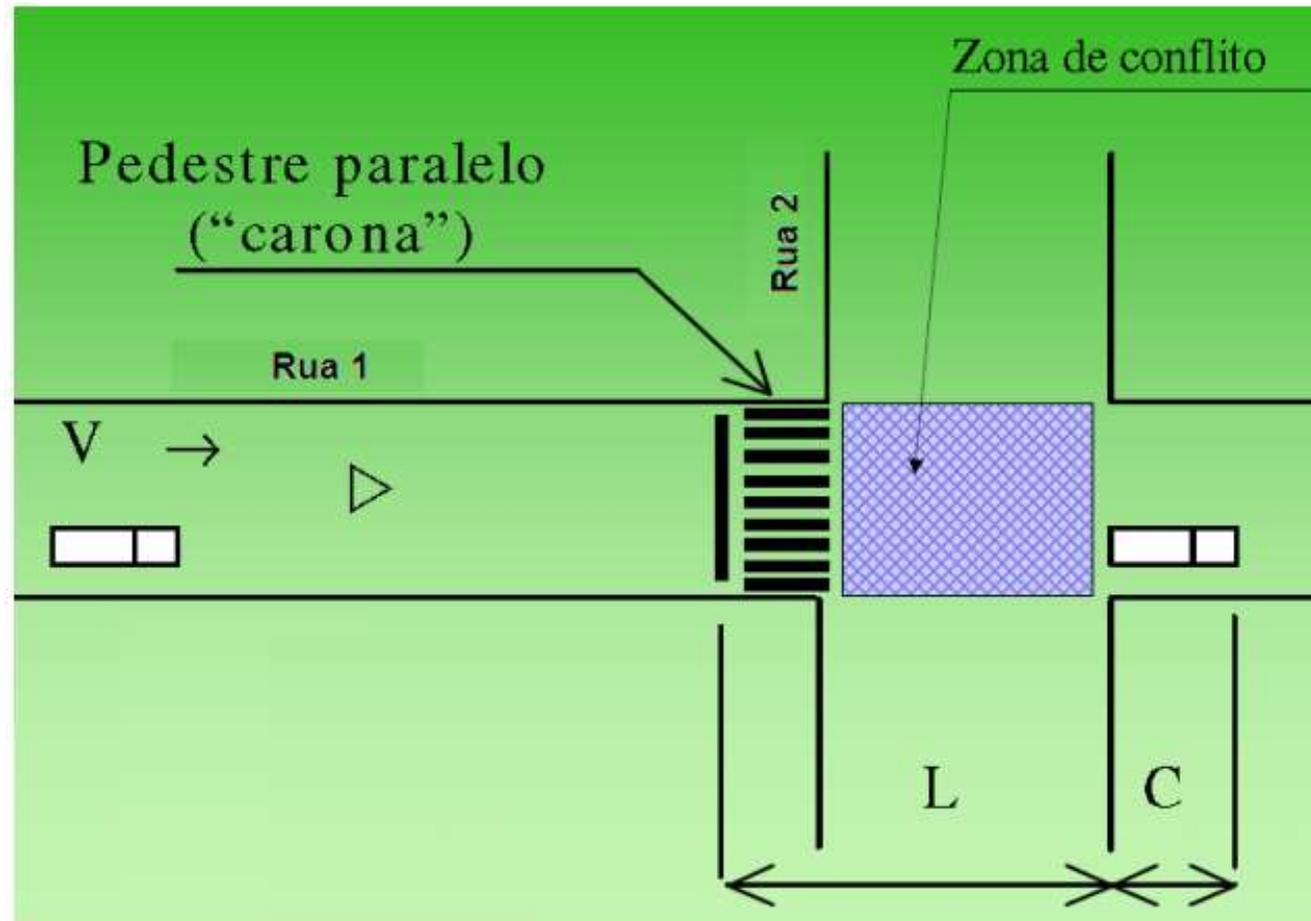
- Conceitos

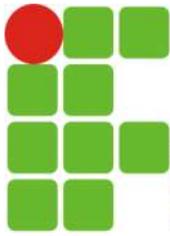
- Tempo de vermelho de segurança (T_{vs})
- Tempo necessário para o veículo que cruzou a retenção saia da zona de conflito, tendo iniciado a travessia do cruzamento no final do amarelo.
- Em geral, é usado em cruzamentos de grandes dimensões.





CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO - Semáforos -





- Conceitos

- $T_{vs} = [(L + C) / V] - t_f$

- Onde:

- T_{vs} = Tempo de vermelho de segurança (s);

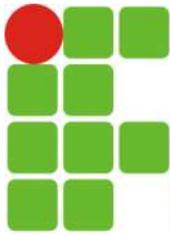
- L = Largura do cruzamento, incluindo a faixa de pedestre anterior (m);

- C = Comprimento do veículo (m);

- V = Velocidade do veículo;

- T_f = Tempo de partida dos veículos (s).



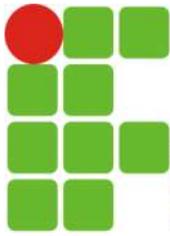


- Aplicação

- Para uma via arterial, com tráfego predominante de veículos leves, calcule os tempos de vermelho de segurança, para as várias larguras L apresentadas:
- - Dados: $C=6\text{m}$; $V=60\text{km/h}$ e $t_f=1,2\text{s}$

Largura (L)	tempo de vermelho de segurança (s)	
	Calculado	utilizado
10	0	0
30	0,97	1
50	2,17	3

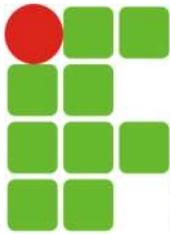




- Conceito

- **Programação semafórica:** estabelecimento da sequência (ou das sequências) de estágios e dos entreverdes para operação de um semáforo.
- **Ciclo:** tempo para uma sequência completa da operação de uma intersecção semaforizada;
- **Plano semafórico:** temporização da programação semafórica.

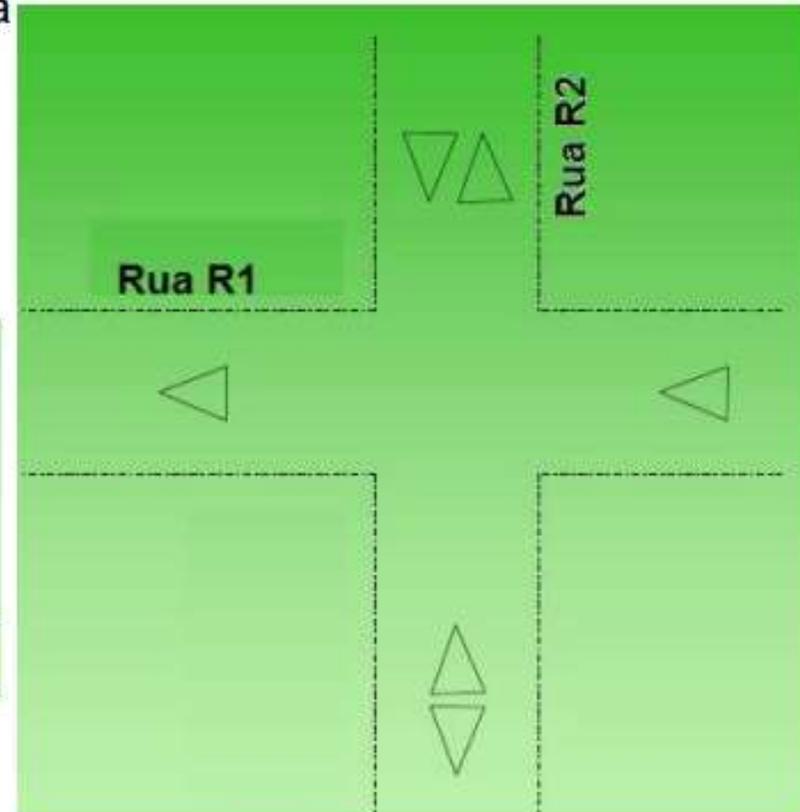
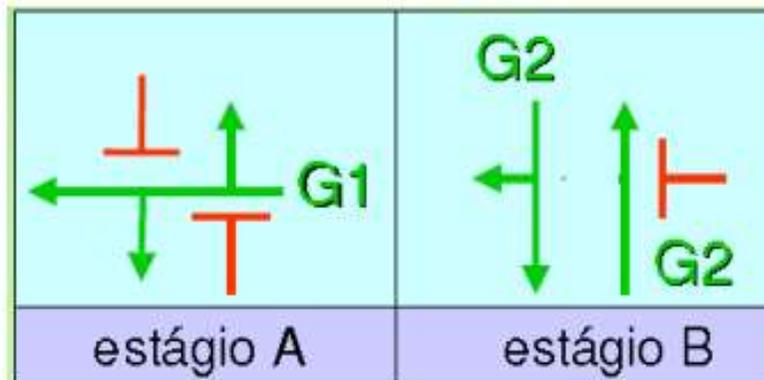


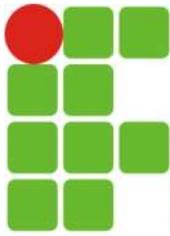


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

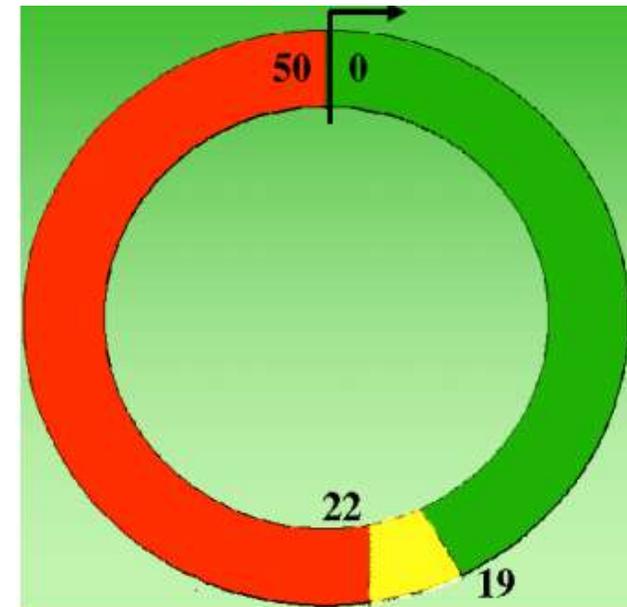
- o grupo G1 é para a aproximação da R1 (3 movimentos veiculares) e o G2 para R2 (esta, com 3 movimentos)

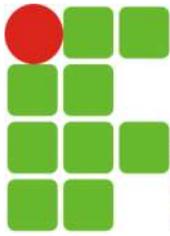




- Aplicação

- Representação de um ciclo para uma aproximação (Rua 1), com 19s de verde, 3s de amarelo e 28s de vermelho.
- Qual o tempo do ciclo?
- 50s



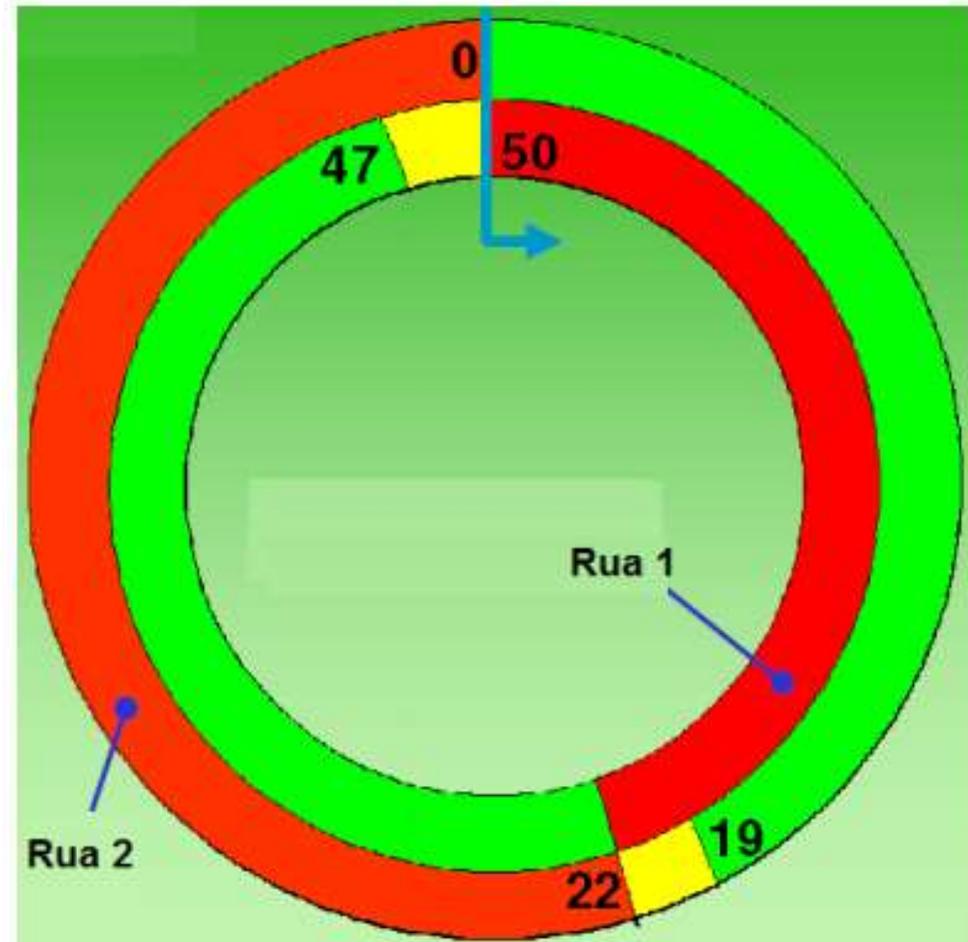


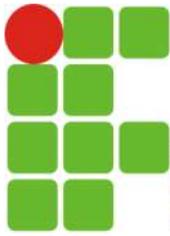
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

- Aplicação

- Ciclo semafórico do cruzamento da Rua 1 e Rua 2

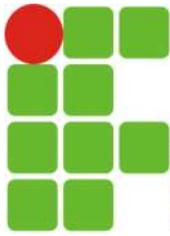




- Exercício

- Elaborar o diagrama de barras para o cruzamento com as seguintes características:
- Tempo de verde de G1 = 58s
- Tempo de verde G2 = 26s
- Tempo de verde de G3 = 64s
- Tempo de amarelo = 4s
- Três estágios (os grupos semafóricos G1, G2 e G3 não ocorrem simultaneamente).
- Qual o tempo de ciclo?



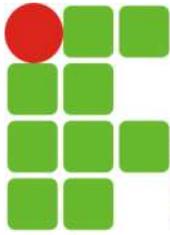


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

Tempo de ciclo = 160 seg ($58 + 4 + 26 + 4 + 64 + 4 = 160$)





INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SUL-RIO-GRANDENSE
Campus Passo Fundo

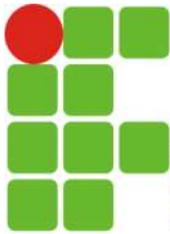
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

ENGENHARIA DE TRÁFEGO

Programação semafórica e capacidade de fluxo





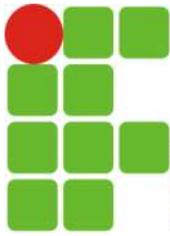
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

- Cálculo:

- Fluxo veículas (F) em veículos / hora
- Fluxo de Saturação (FS) em veículos / hora
- Entreverdes, em segundos



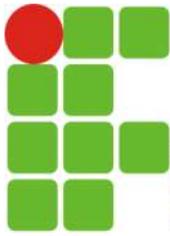


- Fluxo (F):
 - Contagem de veículos;
 - Utiliza-se o valor da hora-pico da demanda

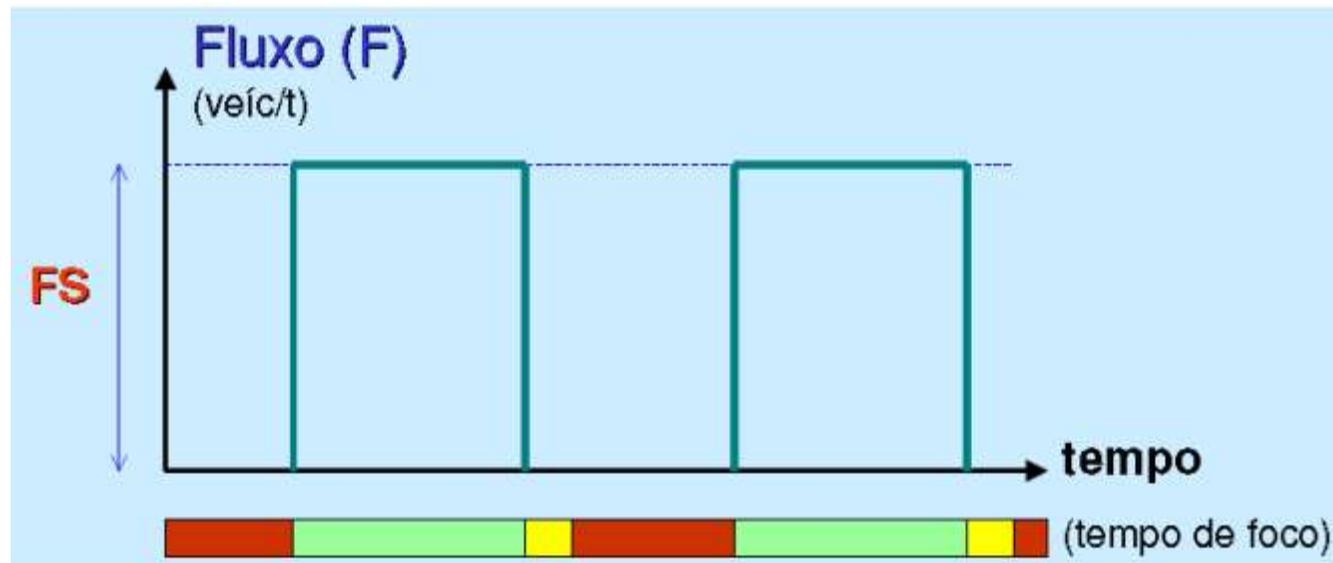
- Fluxo de Saturação (FS):
 - Máximo fluxo que um grupo semaforico pode apresentar.
 - É a grandeza que representa a máxima capacidade da via em escoar o fluxo de veículos que deseja passar.

- Entreverdes (E):
 - Período entre o final do verde de um estágio e o início do verde do estágio subsequente;



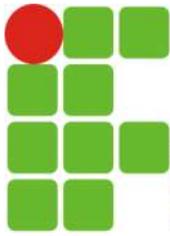


- Diagrama de operação ideal:

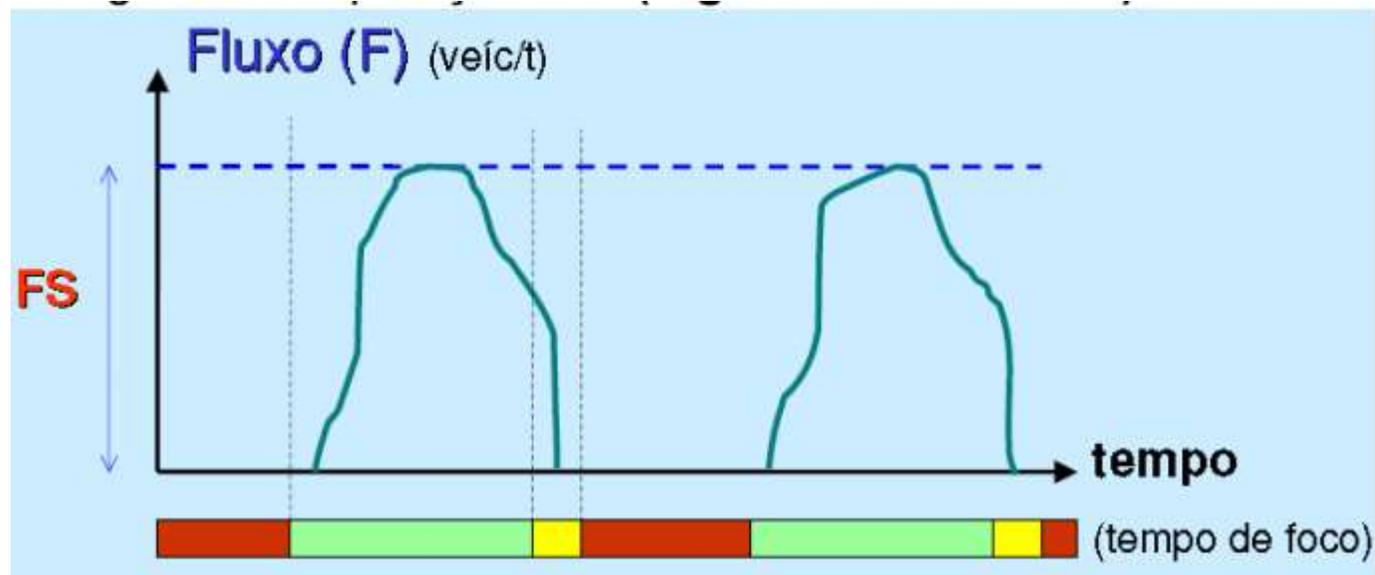


- Não há perda de tempo na saída e nenhum veículo passa no amarelo.
 - O verde é integralmente usado;
 - Situação que não se verifica na prática.



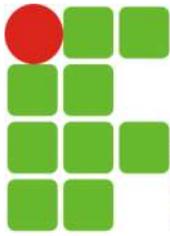


- Diagrama de operação real (regime não saturado):

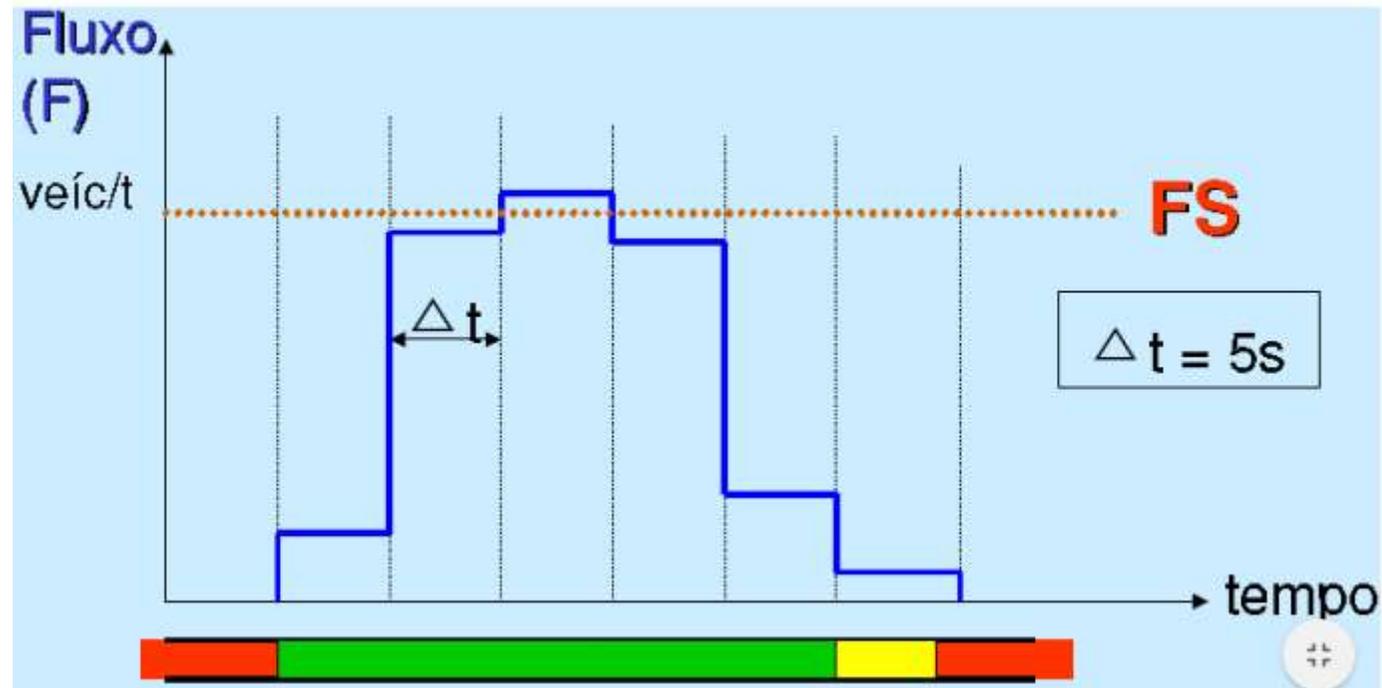


- Há uma perda de tempo no início do verde e um aproveitamento do amarelo.



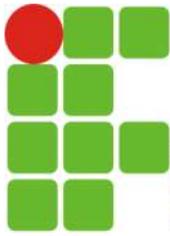


- Método usado para se obter o Fluxo de Saturação (FS):



- Aspecto de um histograma



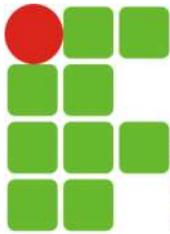


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

- Para se obter o Fluxo de Saturação (FS), existe uma técnica baseada em dados coletados em campo. São necessárias duas pessoas, munidas de cronômetro e prancheta.
 - 1) Com uma dupla posicionada ao lado da linha de retenção, iniciar a contagem de veículos a partir do início do verde do movimento que se está estudando;
 - 2) Marcar os valores acumulados a cada 5s em uma planilha, até que cesse a passagem de veículos;
 - 3) repetir o processo até obter, pelo menos 10 medidas válidas, ou seja, ciclos onde o comportamento do fluxo seja normal, sem anomalias como carros quebrados, travamentos à frente etc.



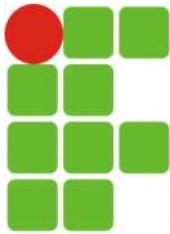


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

- 4) No escritório, montar o histograma – número médio de veículos por intervalo de tempo.
- 5) O Fluxo de Saturação (FS) é obtida pela média aritmética dos valores dos patamares significativos.





- Método usado para se obter o Fluxo de Saturação (FS)

LOCAL: _____
APROXIMAÇÃO: _____
NÚMERO DE FAIXAS: _____
HORÁRIO: _____
DATA: ____/____/____

Tempos semafóricos (s)	
Tempo de Verde:	_____
Tempo de Amarelo:	_____
Tempo de Vermelho:	_____
Tempo de Ciclo:	_____

Instruções:

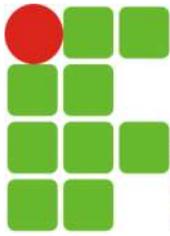
1. Anotar a cada 5 segundos o número de veículos que passa pela retenção.
2. Começar a contagem no instante em que se inicia o verde.
3. Prosseguir com a contagem até cessar a passagem de veículos.
4. Efetuar, pelo menos, dez contagens (em situação normal de fluxo).

A = média acumulada / B = média não acumulada

CROQUI DA INTERSECÇÃO (indicar a aproximação pesquisada)

t (s)	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	A	B
0-5												
5-10												
10-15												
15-20												





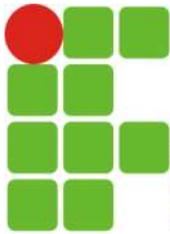
- Uma seção de via tem suas características: o Fluxo (F) que deseja passar (demanda) e o máximo fluxo que pode passar, representado pelo Fluxo de Saturação (FS) – oferta;



- O Fluxo que deseja passar na via é uma parcela do Fluxo de Saturação, a essa parcela damos o nome de Taxa de Ocupação, representada por Y

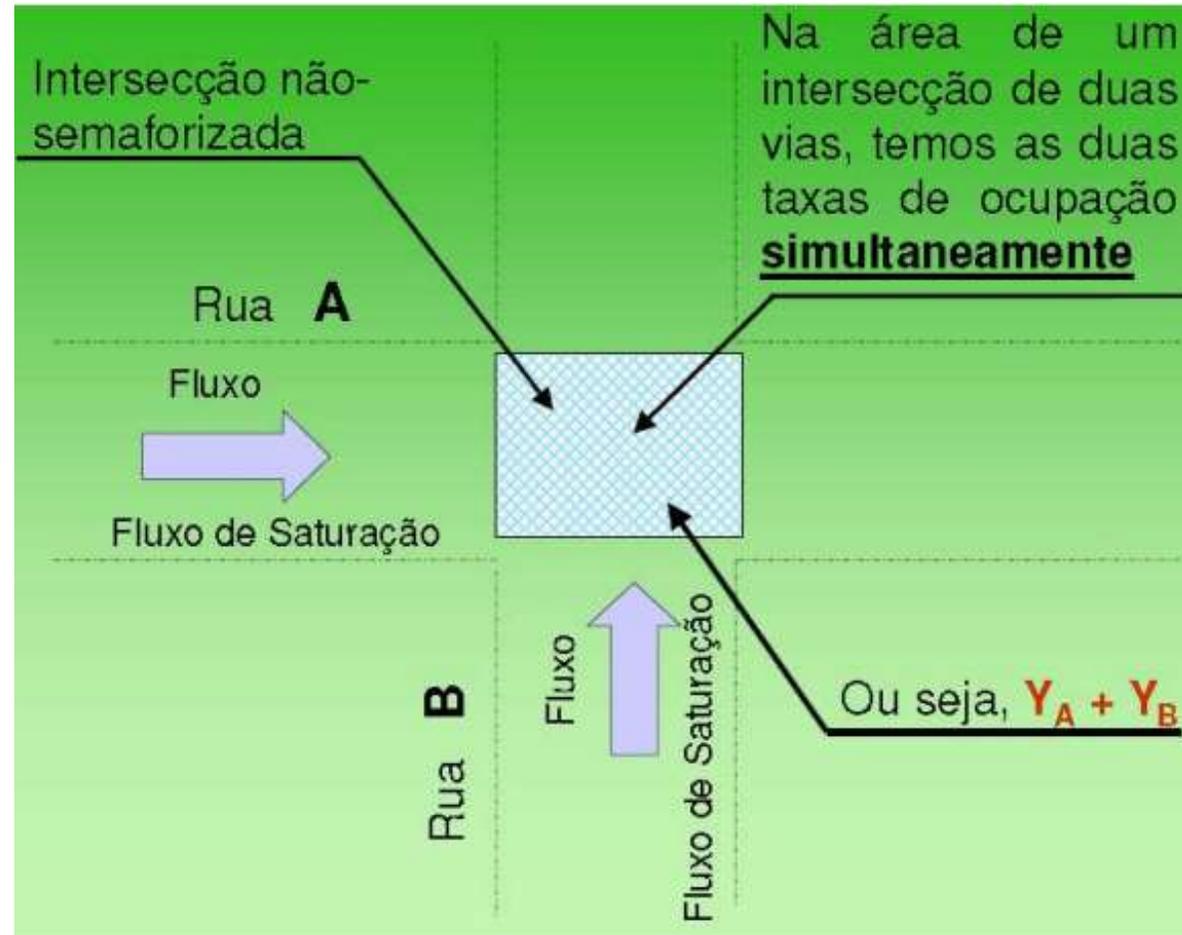
$$Y_i = \frac{F_i}{F_{S_i}} \quad Y_i \leq 1$$

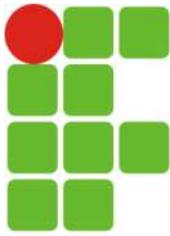




CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -



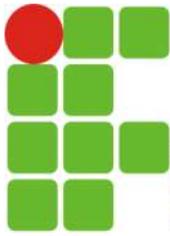


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

- Considerando-se uma interseção semaforizada, em um período de uma hora, teríamos que:
 - O tempo de verde para a Rua A, deveria ser suficiente para atender sua taxa de ocupação;
 - Se ela tem 30% de taxa de ocupação (Y_a), no semáforo do cruzamento, pelo menos 30% do tempo disponível dessa hora deve ser dado à Rua A;
 - O mesmo tratamento deve ser dado à Rua B;
- No entanto, nem todo o tempo de um semáforo é disponível para a passagem de veículos, pois existem os entreverdes;
- Ocorrem vários entreverdes dentro da hora, conforme a duração do tempo de ciclo;

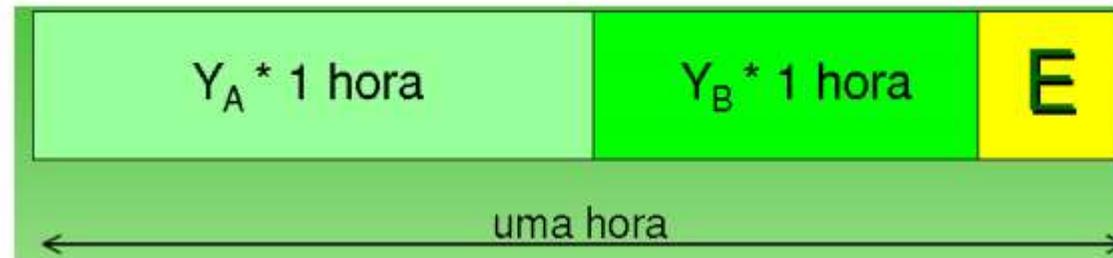




CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

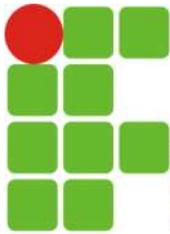
- Como durante os entreverdes os veículos não recebem o direito de passagem, ele é considerado como Tempo perdido (T_p).



$$E = \frac{T_p \cdot 1 \text{ hora}}{T_{\text{ciclo}}}$$

- Corresponde ao tempo não aproveitado em uma hora (o total do tempo perdido, é função do número de ciclos em uma hora)



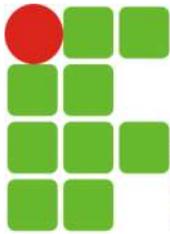


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

Tempo de ciclo	Quantidades de ciclo em uma hora	Duração do entreverdes (exemplo)	Tempo de entreverdes em uma hora
36 s	$3600/36 = \mathbf{100}$	6 s	600 s (16% da hora)
50 s	72	6 s	432 s (12% da hora)
120 s	30	6 s	180 s (5% da hora)





CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

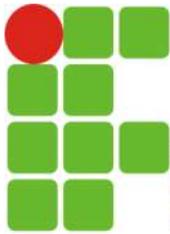
- Semáforos -

$$(Y_a \cdot 1 \text{ hora}) + (Y_b \cdot 1 \text{ hora}) + \left(\frac{T_p \cdot 1 \text{ hora}}{T_{\text{ciclo}}} \right) = 1 \text{ hora}$$

$$T_{\text{ciclo}} = TC_{\text{min}} = \frac{T_p}{(1 - (Y_a + Y_b))}$$

- Esse modelo é teórico e após testes práticos, foi verificado que ele não é aplicável
- O motivo é que esse modelo inicial não considera tempos de folga, que compensariam as naturais aleatoriedades do trânsito
- É conhecido como cálculo do Tempo de ciclo mínimo, que, na prática, não é operacional





CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

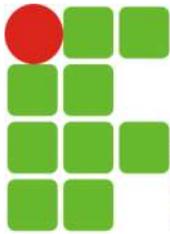
- As folgas, conforme pesquisadas por Webster, quando incorporadas ao modelo, tornam a expressão da forma que segue, aplicável na prática e conhecida como Tempo de Ciclo Ótimo (TCót)

$$TC_{\text{ótimo}} = \frac{[(1,5 \cdot T_p) + 5]}{(1 - (Y_a + Y_b))}$$

$$TC_{\text{ótimo}} = \frac{[(1,5 \cdot T_p) + 5]}{(1 - \sum Y)}$$

Modelo de Webster





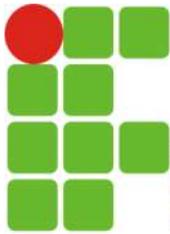
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

- Tempo de verde - o tempo que o semáforo fica verde para um grupo específico

$$T_{\text{verde}} = \frac{(TC_{\text{ótimo}} - T_p) \cdot Y_i}{\sum Y}$$



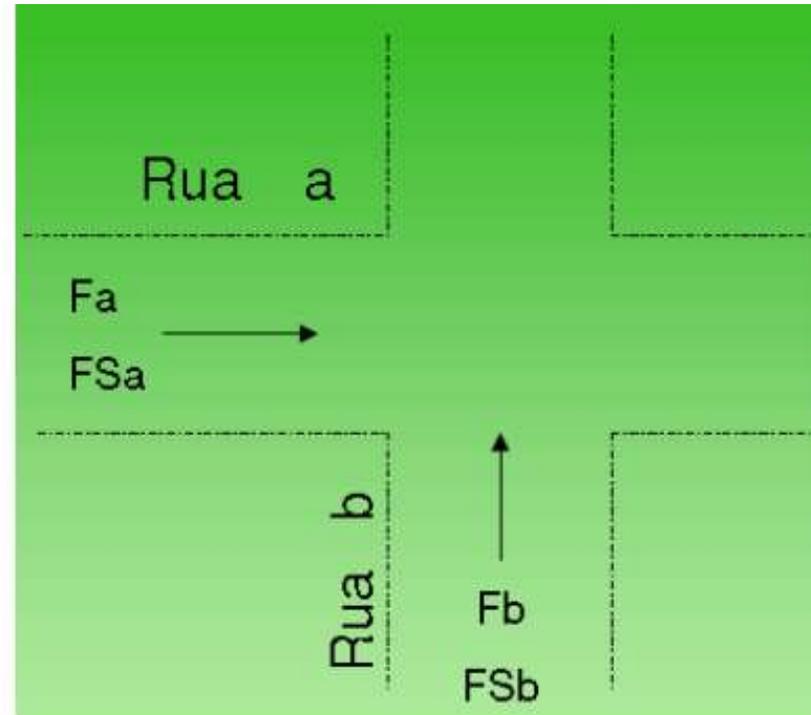
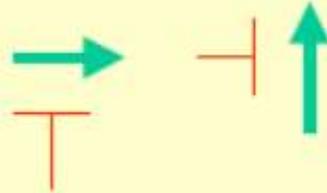


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

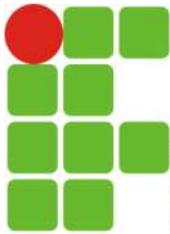
- **Exercício**
- Sabendo-se que:
 $F_a = 1.000$; $FS_a = 3.600$
 $F_b = 2.000$; $FS_b = 5.400$
Tempo perdido = 6 s
unidades de F, FS = veíc/h

Estágios:



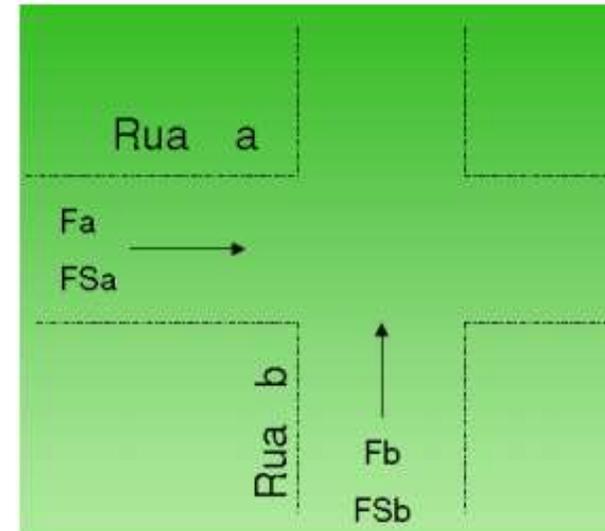
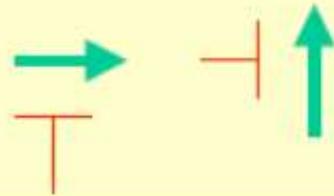
Calcule os tempos de ciclo mínimo e de ciclo ótimo





• Solução exercício

Estágios:



$$TC \text{ mín} = T_p / (1 - (Y_a + Y_b))$$

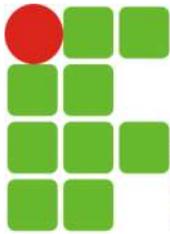
$$TC \text{ mín} = 6 / (1 - ((F_a / F_{Sa}) + (F_b / F_{Sb})))$$

$$TC \text{ mín} = 6 / (1 - ((1.000 / 3.600) + (2.000 / 5.400)))$$

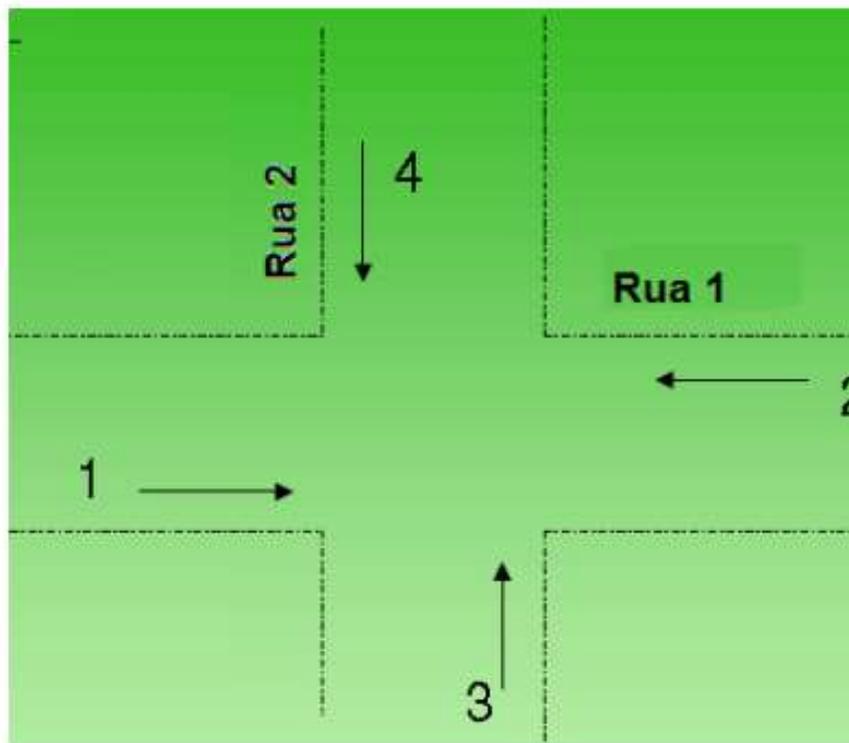
$$TC \text{ mín} = 6 / (1 - (0,28 + 0,37)) = 17 \text{ s}$$

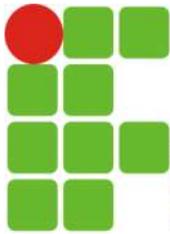
$$TC \text{ ót} = ((1,5 \cdot 6) + 5) / (1 - (0,28 + 0,37)) = 40 \text{ s}$$





• Exercício





CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

• Exercício

• Sabendo:

$$F1 = 600 \text{ veíc/h}$$

$$FS1 = 1.800 \text{ veíc/h}$$

$$F2 = 720 \text{ veíc/h}$$

$$FS2 = 1.800 \text{ veíc/h}$$

$$F3 = 2.000 \text{ veíc/h}$$

$$FS3 = 5.000 \text{ veíc/h}$$

$$F4 = 500 \text{ veíc/h}$$

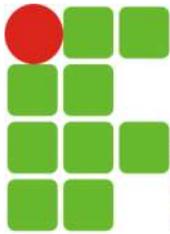
$$FS4 = 1.000 \text{ veíc/h}$$

tempo de amarelo = **3 s** para cada estágio

• Pergunta-se:

Determine o $T_{c\acute{o}t}$ e os tempos de verde





CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

• Solução do exercício

Estágio 1: $Y1 = 0,33$; $Y2 = 0,4$

Estágio 2: $Y3 = 0,4$; $Y4 = 0,5$

Adota-se a maior taxa de ocupação de cada estágio.

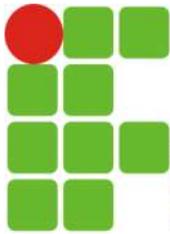
Estágio 1: $Y2$

Estágio 2: $Y4$

2 estágios, 2 tempos de amarelo, $T_p = (3 + 3) = 6$ seg

$TCot = ((1,5 \cdot 6) + 5) / (1 - (0,4 + 0,5)) = 140s$ (Webster)





• **Solução do exercício**

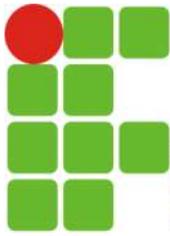
Determinação dos tempos de verde:

$$T_{verde} = \frac{(TC_{ótimo} - T_p) \cdot Y_i}{\sum Y}$$

$$TvA = (140 - 6) \cdot 0,4 / 0,9 = 60s$$

$$TvB = (140 - 6) \cdot 0,5 / 0,9 = 74s \text{ ou}$$

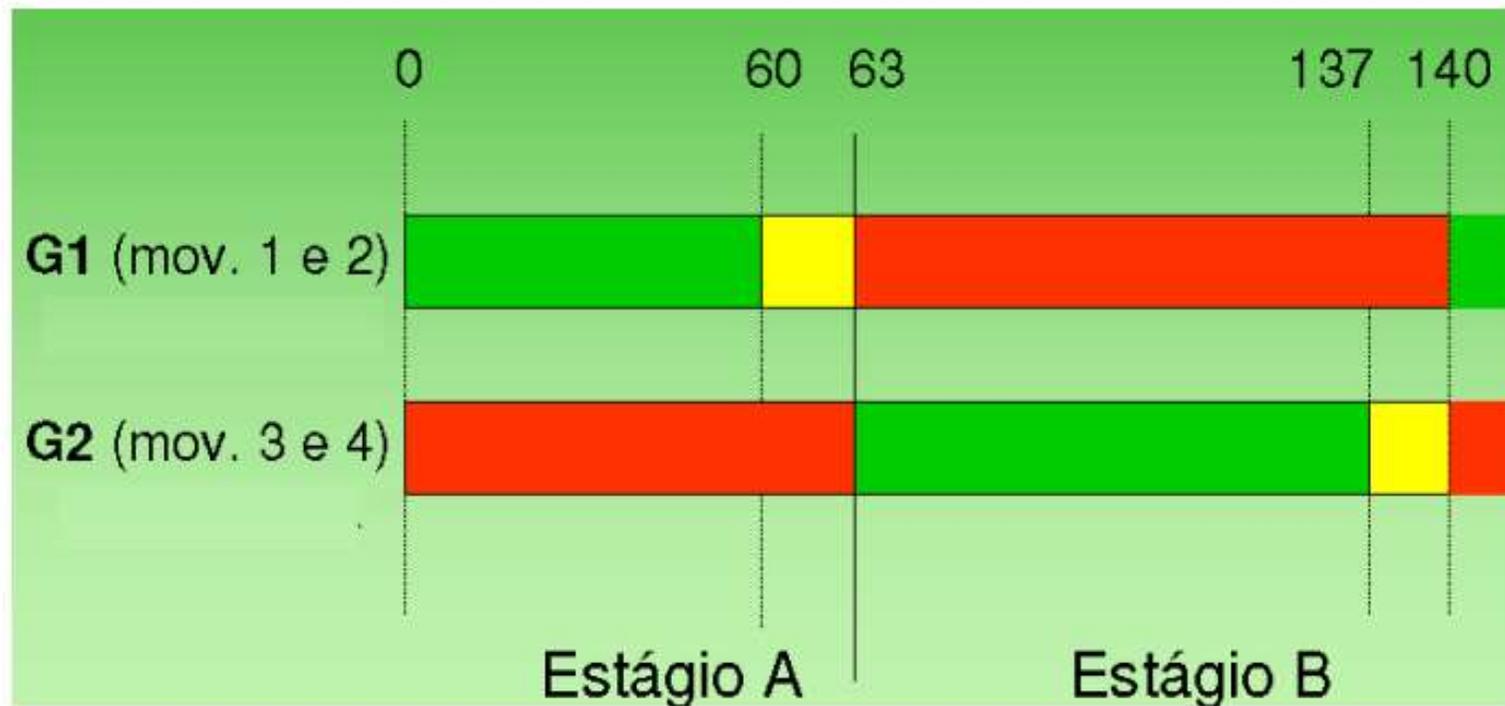


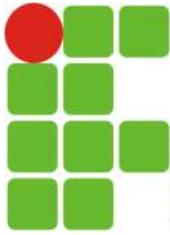


CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO

- Semáforos -

• Exercício





INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SUL-RIO-GRANDENSE
Campus Passo Fundo

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL ENGENHARIA DE TRÁFEGO - Semáforos -

ENGENHARIA DE TRÁFEGO



FIM.