



MUNICÍPIO DE FRANCISCO BELTRÃO
Estado do Paraná

PREGÃO ELETRÔNICO Nº 39/2023

IMPUGNAÇÕES



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

ILUSTRÍSSIMO(A) SENHOR(A) PREGOEIRO(A) DA PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE FRANCISCO BELTRÃO - ESTADO DO PARANÁ

SSAT SINALIZAÇÃO E ADESIVOS LTDA, pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ sob o nº 05.111.060/0001-03, estabelecido na Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bairro Bela Aliança, Município de Rio do Sul/SC, por seu representante legal infrafirmado, vem a Vossa Senhoria, respeitosa e tempestivamente, com fulcro no art. 24 do Decreto nº 10.024/19 e item 4.1 do edital, apresentar **IMPUGNAÇÃO AO EDITAL PREGÃO ELETRÔNICO Nº 39/2023 - PROCESSO LICITATÓRIO Nº 180/2023**, conforme as razões que passa a aduzir.

I - DA TEMPESTIVIDADE

Considerando que, o prazo para impugnação do presente edital é de 03 (três) dias úteis, nos termos do item 4.1 e, tendo em vista que a sessão do certame se realizará no dia 10 de março de 2023, a presente impugnação mostra-se tempestiva.

Vejamos o disposto no item 4.1 do edital:

4.1 Até 03 (três) dias úteis antes da data designada para a abertura da sessão pública, qualquer pessoa poderá impugnar este Edital.

A data do protocolo da mesma se dá em 06 de março de 2023, em consonância ao item editalício anteriormente mencionado.

SSAT **SINALIZAÇÃO VIÁRIA****II - DA SÍNTESE FÁTICA**

SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

A Prefeitura do Município de Francisco Beltrão/PR, instaurou processo licitatório para realizar licitação na modalidade Pregão Eletrônico n° 39/2023, cujo critério de julgamento é o menor preço global por grupo de itens, com o seguinte objeto:

Constitui objeto deste **REGISTRO DE PREÇOS** para futura e eventual aquisição de material para utilização na sinalização semafórica do Município.

Como se trata de contratação para o fornecimento de materiais essenciais a toda municipalidade, todos no âmbito de atuação da impugnante analisou-se de forma minuciosa o instrumento convocatório com vistas à ampliação a participação, e conseqüentemente a busca do melhor preço, constatando a existência de pontos que restringem a competitividade ao inibir a participação de empresas interessadas em contratar junto a esta Prefeitura.

Dessa forma, deve-se adequar o Edital em comento, nos termos das razões a seguir elencadas, de acordo com a legislação pátria visando à consecução da proposta mais vantajosa para a Administração, mas principalmente uma contratação segura, com melhor aproveitamento desta e a perfeita execução do objeto do certame, proporcionando também a ampla participação de interessados no processo licitatório.

A impugnante atua no ramo de sinalização semafórica há 20 (vinte) anos, sendo que as temáticas aqui discorridas têm por objetivo garantir a lisura e segurança da contratação desejada e ampliar a competição após as retificações devidas, ante as flagrantes ilegalidades doravante aventadas.



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

III - RAZÕES DA IMPUGNAÇÃO

III.I - DAS EXIGÊNCIAS EXCESSIVAS, DESNECESSÁRIAS E EM DESCOMPASSO COM AS NORMAS TÉCNICAS VIGENTES

Após a leitura e interpretação atenta do presente edital, observa-se que diversas exigências não encontram qualquer respaldo na legislação vigente, tão pouco há qualquer justificativa técnica robusta capaz de sustentá-las.

Aliás, conhecedora das normas e demais parâmetros técnicos relativos a sinalização semaforica, a impugnante verifica tais exigências como restritivas e, possivelmente, direcionadas a uma única empresa.

Nesta toada, as exigências que são infundadas e em descompasso com a legislação e as normas técnicas editadas previamente pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

III.I.I - DAS ILEGALIDADES EM REQUISITOS TÉCNICOS EXIGIDOS PARA FORNECIMENTO DOS MÓDULOS À LED

De antemão, o edital traz em seu texto a edição (2010) incorreta da norma 15889 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), visto que no ano de 2019 a mesma foi atualizada e deve ser observada.

A versão do ano de 2010 da norma é mencionada nos itens 4.1.2. (página 28) e página 40, contudo no item 12.4.2 (página 13) é mencionada a versão correta da referida norma da ABNT NBR 15889:219. Deve-se retificar o instrumento convocatório de modo a exigir apenas a versão atualizada da norma da ABNT 15889:2019.

Ato seguinte, verifica-se que no Termo de Referência do presente edital são exigidas especificações técnicas que vão na contramão do que a norma técnica vigente da ABNT preconiza.

É cediço quanto ao poder discricionário da Administração Pública na edição de especificações técnicas, porém, elas devem guardar compatibilidade com as normas



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

técnicas vigentes, a fim de proporcionar aos potenciais participantes, a devida segurança jurídica.

Desta forma, passa-se a listar as ilegalidades:

Inicialmente, verifica-se que são exigidas a apresentação de laudos comprobatórios das especificações técnicas elencadas no instrumento convocatório, de modo a exigir questões que estão fora do alcance da norma da ABNT:

12.1. As empresas classificadas em primeiro lugar deverão, **caso solicitadas**, encaminhar a amostra dos itens do ANEXO I, **SOB PENA DE DESCLASSIFICAÇÃO**, para a Secretaria Municipal de Planejamento - DEBETAN, no horário das 8:00 às 16:00 horas (horário local), **até o 5º (quinto) dia útil seguinte à solicitação da pregoeira**, através de comunicação via CHAT do COMPRASNET.

12.4.2. Para os módulos LED, a licitante detentora do menor valor deverá apresentar um módulo LED de cada cor, ou seja, veicular vermelho, amarelo e verde e ciclista com máscaras no vermelho, no amarelo e no verde e deverá apresentar relatório de ensaios, emitida por laboratório acreditado pelo INMETRO, comprovando que o produto atende a NORMA ABNT NBR 15889:2019, possui lente de Fresnel, fator de proteção IP66, tensão entre 80 a 265 VAC de forma automática, sem necessidade de qualquer alteração e **consumo máximo de 5 Watts para o vermelho e verde, de 8 Watts para o amarelo e intensidade luminosa inicial 20% superior ao mínimo exigido pela NORMA nos ângulos definidos no termo de referência. (grifos nossos)**

Diante o item supramencionado, é possível extrair as seguintes irregularidades: No Anexo I – Termo de Referência (pág. 40) é especificado que os módulos a led devem possuir potências nominais pré-determinadas e, que por sinal, estão em descompasso com a norma técnica NBR 15889:2019 da ABNT:

Consumo

O consumo nominal de energia para os módulos LED de 200mm deverá ser no máximo 05 W (cinco Watts) para as cores vermelha e verde e de 08 W (oito Watts) para a cor amarela nas tensões de 127 e 220 VAC.



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

A norma 15889:2019 da ABNT, por sua vez, aduz que a potência nominal dos módulos veiculares e pedestres é a mesma, sendo que, a única diferença é quanto ao módulo de 200 e 300mm:

4.5 Características elétricas

Os módulos de LED devem possuir alimentação nas tensões de $(127 \pm 25,4)$ Vca e/ou $(220 \pm 44,0)$ Vca, e frequência de (60 ± 3) Hz ou alimentação em corrente contínua.

Admite-se que os módulos de LED possuam circuitos de alimentação automáticos de tensão, mantendo as tolerâncias de tensão e frequência de 60 Hz definidas anteriormente.

A potência nominal deve ser igual ou inferior a 15 W para os módulos semafóricos de 200 mm e 30 W para os módulos semafóricos de 300 mm.

A leitura que se faz é de que, independentemente do tipo de LED utilizado, a potência nominal dos módulos a led deverá ser inferior a 15W para os módulos de 200mm ou 30W para os módulos de 300mm, conforme a ABNT.

Além disso, a norma também não estabelece qualquer requisito inerente a quantidade de led para a composição do módulo, mas sim, indica a intensidade luminosa que este deve atingir:

4.6 Características fotométricas

4.6.1 Intensidade luminosa

A intensidade luminosa dos módulos de LED deve estar de acordo com as Tabelas 1 a 3.

Tabela 1 – Intensidade luminosa mínima – para veículos (continua)

Ângulo vertical °	Ângulo horizontal (direita e esquerda) °	Intensidade luminosa candela					
		200 mm			300 mm		
		Vermelho	Amarelo	Verde	Vermelho	Amarelo	Verde
+ 12,5	2,5	17	41	22	37	91	48
	7,5	13	33	17	29	73	38
+ 7,5	2,5	31	78	41	69	173	90
	7,5	25	62	32	55	137	71
	12,5	18	45	24	40	100	52
+ 2,5	2,5	68	168	88	150	373	195
	7,5	56	139	73	124	309	162
	12,5	38	94	49	84	209	109
	17,5	21	53	28	47	118	62
	22,5	12	29	15	26	64	33

Ao contrário do que prevê a referida norma técnica, o edital exige no Termo de Referência a comprovação de que o LED SMD, é o que se apresenta na página 36 do Anexo I – A (Especificações Técnicas) e tabela constante no Anexo I (Termo de Referência):

Tabela dos itens:

33	86333	Módulo LED amarelo 200 mm, SMD, com lente de Fresnel	UN	30,00	654,21	19.626,30
34	86334	Módulo LED verde 200 mm, SMD, com lente de Fresnel	UN	30,00	638,04	19.141,20



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

35	86335	Módulo LED vermelho 200mm, SMD, com lente de Fresnel	UN	50,00	650,41	32.520,50
36	86336	Pestana (cobre foco) porta foco padrão, fabricada em policarbonato injetado.	UN	20,00	92,66	1.853,20
37	86337	Pestana (cobre foco) porta foco pedestre, fabricada em policarbonato injetado.	UN	10,00	66,79	667,90
38	86338	Porta foco tipo "T" 3x200mm cada módulo, fabricado em policarbonato, com cobre foco (pestana), contendo módulo Semafórico a LED nas cores VERDE, AMARELA e VERMELHO, denominado módulos LED's SMD, com lente Fresnel com abraçadeira para braço 76/101mm	UN	4,00	3.810,57	15.242,28
39	86339	Porta foco tipo "R" (auxiliar) 3x200mm cada módulo, fabricado em policarbonato, com cobre foco (pestana), contendo módulo Semafórico a LED nas cores VERDE, AMARELA e VERMELHO, denominado módulos LED's SMD, com lente Fresnel.	UN	40,00	3.938,46	157.538,40
40	86340	Porta foco tipo "T" 4x200mm cada módulo, fabricado em policarbonato, com cobre foco (pestana), contendo módulo Semafórico a LED nas cores VERDE, AMARELA e VERMELHO + VERMELHO, denominado módulos LED's SMD, com lente Fresnel com abraçadeira para braço 76/101mm	UN	40,00	6.338,26	253.530,40
41	86341	Porta foco tipo ciclista em policarbonato - 3x200mm - contendo módulo Semafórico a LED nas cores VERDE, AMARELA e VERMELHO, denominado módulos LED's SMD, com lente Fresnel, para fixação em torre/coluna semafórica.	UN	4,00	4.009,10	16.036,40

Anexo I-A (Especificações Técnicas):

• REQUISITOS FÍSICOS E MECÂNICOS

A luminescência do módulo deverá ser uniforme, de modo que os LEDs individuais não deverão ser visíveis de nenhum ângulo externo ao módulo, sendo assim, exige-se que das lentes utilizadas, mínimo de duas, na transferência de luz dos LEDs ao ambiente, pelo menos uma seja lente de Fresnel, caracterizada pela utilização de círculos concêntricos para irradiação de feixes luminosos.

As lentes utilizadas deverão ser incolores e os LEDs utilizados deverão emitir luz na cor de correta cromaticidade de cada tipo de módulo (Vermelha Amarela e Verde).

Os Módulos LEDs deverão substituir todo o conjunto (lentes + refletor + lâmpada + bocais + borracha de fixação/vedação) sendo considerados como um único produto, incorporando os seguintes elementos:

~~LED em SMD (Surface Mount Device) soldados em superfície na placa do circuito impresso;
 Fonte chaveada de alimentação;~~

Observa-se que o presente instrumento convocatório se encontra com exigências que são divergentes entre si, pois em um momento é exigido o atendimento a norma NBR 15889:2019, contudo as especificações técnicas que se apresentam são contraditórias ao que a referida norma técnica estabelece, o que frustra o princípio da legalidade que deve ser obedecido pelos agentes públicos.

Por isso, entende-se que as exigências técnicas deverão se compatibilizar com os ditames da referida norma, visto que a sua edição é tida como parâmetro e padronização dos módulos a led comercializados no Brasil.



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

Outra característica técnica que também está na contramão do que estabelece a norma da ABNT, trata-se das exigências das lentes, sendo exigido no edital lentes Fresnel, contudo, a NBR 15889:2019 prevê que os módulos a led possuam lente lisa.

É o que se extrai da referida norma:

4.2 Lentes

As lentes devem possuir proteção contra radiação ultravioleta, quando aplicável.

A superfície externa das lentes deve ser lisa e polida, para evitar o acúmulo de poeira.

As lentes devem ser passíveis de substituição, sem afetar os componentes de LED.

As lentes devem ser incolores.

O edital, por sua vez, exige que os módulos a led possuam lente Fresnel e ao mesmo tempo, exige que o licitante atenda a NBR 15889:2019 da ABNT:

12.4.2. Para os módulos LED, a licitante detentora do menor valor deverá apresentar um módulo LED de cada cor, ou seja, veicular vermelho, amarelo e verde e ciclista com máscaras no vermelho, no amarelo e no verde e deverá apresentar relatório de ensaios, emitida por laboratório acreditado pelo INMETRO, comprovando que o produto atende a NORMA ABNT NBR 15889:2019, possui ~~lente Fresnel~~, fator de proteção IP66, tensão entre 80 a 265 VAC de forma automática, sem necessidade de qualquer alteração e consumo máximo de 5 Watts para o vermelho e verde, de 8 Watts para o amarelo e intensidade luminosa inicial 20% superior ao mínimo exigido pela NORMA nos ângulos definidos no termo de referência.

Ora, se a intenção do Município de Francisco Beltrão é garantir que os produtos licitados atendam a norma NBR 15889:2019 da ABNT, é imprescindível que as exigências técnicas também se coadunem a referida norma técnica, sem constar exigências excessivas e que não possuem qualquer fundamento técnico e/ou legal relevante.

As exigências aleatórias, excessivas e que possam restringir a participação de interessados no presente certame, deverão ser extirpadas do edital, a fim de resguardar a legalidade do processo de contratação pública e fomentar a busca da proposta mais vantajosa



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

Da forma como o instrumento convocatório se apresenta, há flagrante restrição e frustração do caráter competitivo do certame, visto que são exigidas especificações passíveis de atendimento a determinado grupo de empresas.

Reitera-se que a norma ABNT 15889:2019 não faz qualquer exigência de quantidade e tipo de led e que a potência nominal deve ser atendida de acordo com os critérios lá elencados. Não há qualquer fundamento ou justificativa técnica que possa embasar tais exigências desnecessárias e que podem ter o condão tão somente de direcionar a contratação.

Por conseguinte, no que se refere a intensidade luminosa exigida para os módulos a led também há violação ao disposto na NBR 15889:2019 da ABNT, quando são exigidas especificações técnicas que não se coadunam com as exigências técnicas previstas na norma técnica em vigor.

Não se vislumbra qualquer fundamento técnico e legal para que seja exigida intensidade luminosa em 20% superior ao que determina a norma da ABNT. Entende-se que as especificações devem guardar compatibilidade com as especificações técnicas já emitidas pelos respectivos órgãos.

É o que preconiza o instrumento convocatório:

12.4.2. Para os módulos LED, a licitante detentora do menor valor deverá apresentar um módulo LED de cada cor, ou seja, veicular vermelho, amarelo e verde e ciclista com máscaras no vermelho, no amarelo e no verde e deverá apresentar relatório de ensaios, emitida por laboratório acreditado pelo INMETRO, comprovando que o produto atende a NORMA ABNT NBR 15889:2019, possui lente de Fresnel, fator de proteção IP66, tensão entre 80 a 265 VAC de forma automática, sem necessidade de qualquer alteração e consumo máximo de 5 Watts para o vermelho e verde, de 8 Watts para o amarelo e [REDACTED] exigido pela NORMA nos ângulos definidos no termo de referência.

Tem-se que tais exigências são extremamente excessivas e restringem o caráter competitivo do processo licitatório, quando são exigidas especificações técnicas que são além do que a NBR 15889:2019 estabelece, além disso, não possuem qualquer fundamento técnico e jurídico robusto capazes de sustenta-las.

Não se quer acreditar, contudo, em momento anterior a cidade de Paranaguá/PR também apresentava os mesmos requisitos técnicos ora aventados, os quais tinham o objetivo de direcionar a contratação... na oportunidade, a empresa



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

vencedora daquele certame foi Dataprom Equipamentos e Serviços de Informática Industrial, conforme contrato firmado:

PREGÃO ELETRÔNICO N.º 081/2021

CONTRATO N.º 034/2022, DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E CORRETIVA, COM FORNECIMENTO DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO (GENUÍNA/PRIMEIRA LINHA) E ASSISTÊNCIA TÉCNICA DE TODO O PARQUE SEMAFÓRICO DO MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ, QUE FAZEM: O MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ E A EMPRESA DATAPROM EQUIPAMENTOS E SERVIÇOS DE INFORMÁTICA INDUSTRIAL LTDA, COMO ADIANTE SE DECLARA.

AOS 24 (VINTE E QUATRO) DIAS DO MÊS DE FEVEREIRO DE 2022 (DOIS MIL E VINTE E DOIS), nesta cidade de Paranaguá, Estado do Paraná, no Palácio São José, presentes, de um lado, o **MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ**, pessoa jurídica de direito público interno, com sede na Rua Júlia da Costa, n.º 322, Centro Histórico, Paranaguá/PR, inscrita no CNPJ/MF 76.017.458/0001-15, doravante denominado **CONTRATANTE**, por intermédio da **SECRETARIA MUNICIPAL DE SEGURANÇA**, representado pelo **SR. JOÃO CARLOS DA SILVA** (nos termos do Decreto Municipal n.º 673/2018) brasileiro, portador da Cédula de Identidade RG n.º 3.879.277-6, inscrito no CPF sob n.º 551.428.509-04, residente e domiciliado à Rua Antônio Miotto S/N - Bairro: Alexandra - CEP: 89290-000 - Paranaguá/PR, e, de outro lado, **DATAPROM EQUIPAMENTOS E SERVIÇOS DE INFORMÁTICA INDUSTRIAL LTDA.**, pessoa jurídica de direito privado estabelecida à Rua Tenente Francisco Ferreira de Souza, 470, Bairro Hauer, Curitiba-PR, CEP 81.690-010, inscrita no CNPJ/MF sob n.º 80.590.045/0001-00, doravante denominada **CONTRATADA**, neste ato representada por seus sócio administrador **ALBERTO MAUAD ABUJAMRA** portador da Cédula de Identidade RG: n.º 836.276-SESP/PR, inscrito no CPF/MF sob n.º 354.025.659-15, e que, de acordo com o autorizado no Processo Administrativo protocolado sob n.º 7561/2022, dando cumprimento ao Pregão Eletrônico n.º 081/2021, e demais exigências da Lei Federal n.º 8666/93 e legislação posterior, e, ainda, Lei Complementar n.º 101/2000, celebram o presente Contrato Aquisição e de Prestação de Serviços, mediante as cláusulas e condições seguintes:

CLÁUSULA PRIMEIRA - DO OBJETO CONTRATADO:

1.1 O objeto do presente contrato é **PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E CORRETIVA, COM FORNECIMENTO DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO (GENUÍNA/PRIMEIRA LINHA) E ASSISTÊNCIA TÉCNICA DE TODO O PARQUE SEMAFÓRICO DO MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ**, conforme especificações contidas no presente Edital e seus anexos, em especial no Termo de Referência (Anexo I), para atender a necessidade da Secretaria Municipal, nos termos do procedimento licitatório modalidade Pregão Eletrônico n.º 081/2021.

O edital de licitação que originou o contrato supramencionado, também exigia que os módulos a led fossem constituídos em SMD:



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

Os Módulos LEDs deverão substituir todo o conjunto (lentes + refletor + lâmpada + bocais + borracha de fixação/vedação) sendo considerados como um único produto, incorporando os seguintes elementos:

- LED em SMD (Surface Mount Device) ou similar compatível, soldados em superfície na placa do circuito impresso;
- Fonte chaveada de alimentação;
- Componentes ópticos;
- Acessórios construtivos (dissipadores, terminais de conexão, caixa de acondicionamento, etc.).

(Pág. 45 do edital retificado PE nº 81/2021, Prefeitura de Paranaguá/PR)

A descrição extraída acima, indica que a contratação pública desejada pelo Município de Francisco Beltrão, pode restringir flagrantemente o caráter competitivo que o processo licitatório merece.

O Tribunal de Contas da União já possui entendimento de que a Administração deve fundamentar as suas exigências e estas não havendo, deverão ser extirpadas do edital:

DENÚNCIA. POSSÍVEIS IRREGULARIDADES EM PREGÃO PROMOVIDO PELO MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. CONHECIMENTO. PROCEDÊNCIA. ANULAÇÃO DO CERTAME. DETERMINAÇÕES.

[...]

A Administração deve fundamentar tecnicamente quaisquer exigências de especificações ou condições com potencial de restringir o universo de competidores, assim como evitar o detalhamento excessivo do objeto, de modo a não direcionar a licitação.¹

Inegavelmente, as normas da ABNT foram editadas com o intuito de uniformizar as características técnicas dos produtos semafóricos, nem cabe ao gestor municipal sem conhecimento comprovado ou por “achismo” a alteração prematura e aleatória de normas já fixadas pelos órgãos competentes. A ABNT (Associação

¹ Acórdão nº 2.407/2006 - Plenário - Relator: Min. Benjamin Zylmer - Data da sessão: 06/12/2006.



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

Brasileira de Normas Técnicas) tem sua razão de ser, não é um mero capricho do legislador, se não, qual a sua finalidade na atual conjuntura?

Além disso, cogitando que o Município possa justificar tal anomalia, desde já, menciona-se ela possui o objetivo de tencionar, novamente, o suposto direcionamento da contratação.

Adverte-se que a discricionariedade administrativa relativa a Administração Pública é também orientada pela legislação pertinente, assim, critérios de oportunidade e conveniência do ato não devem proporcionar a escolha direta ou indiretamente da contratação pública.

Sobre a temática, são os ensinamentos de Íris Vânia Santos Rosa:

Discricionariedade é a liberdade de ação administrativa, dentro dos limites permitidos em lei, ou seja, a lei deixa certa margem de liberdade de decisão diante do caso concreto, de tal modo que a autoridade poderá optar por uma dentre várias soluções possíveis, todas, porém, válidas perante o direito.

[...]

Tem-se que o poder discricionário da Administração Pública não é ilimitado, encontrando seu pressuposto de validade na lei e, ainda, na prática de atos de boa gestão.² (grifou-se)

Portanto, **os critérios utilizados na especificação técnica dos produtos e do instrumento convocatório deverão ser balizados sob a óptica da legalidade.**

A Lei nº 10.520/2002 veda expressamente especificações técnicas excessivas, irrelevantes ou desnecessárias, as quais irão limitar a competição:

Art. 3º A fase preparatória do pregão observará o seguinte:

II - a definição do objeto deverá ser precisa, suficiente e clara, **vedadas especificações que, por excessivas, irrelevantes ou desnecessárias, limitem a competição;**

A Lei nº 8.666/1993 também preconiza que:

² ROSA, Íris Vânia Santos. Disponível em: <https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/282/edicao-1/poder-discricionario#:~:text=Discricionariedade%20%C3%A9%20a%20liberdade%20de,por%C3%A9m%20v%C3%A1lidas%20perante%20o%20direito. Acesso em 06 mar. 2023.>

Art. 3º A licitação destina-se a garantir a observância do princípio constitucional da isonomia, a seleção da proposta mais vantajosa para a administração e a promoção do desenvolvimento nacional sustentável e será processada e julgada em estrita conformidade com os princípios básicos da legalidade, da impessoalidade, da moralidade, da igualdade, da publicidade, da probidade administrativa, da vinculação ao instrumento convocatório, do julgamento objetivo e dos que lhes são correlatos.

§ 1º **É vedado aos agentes públicos:**

I - admitir, prever, incluir ou tolerar, nos atos de convocação, cláusulas ou condições que comprometam, restrinjam ou frustrem o seu caráter competitivo, inclusive nos casos de sociedades cooperativas, e estabeleçam preferências ou distinções em razão da naturalidade, da sede ou domicílio dos licitantes ou de qualquer outra circunstância impertinente ou irrelevante para o específico objeto do contrato, ressalvado o disposto nos §§ 5º a 12 deste artigo e no art. 3o da Lei no 8.248, de 23 de outubro de 1991;

Art. 7º. § 5º **É vedada a realização de licitação cujo objeto inclua bens e serviços sem similaridade ou de marcas, características e especificações exclusivas**, salvo nos casos em que for tecnicamente justificável, ou ainda quando o fornecimento de tais materiais e serviços for feito sob o regime de administração contratada, previsto e discriminado no ato convocatório.

A respeito da temática é o que a doutrina já destacou:

As exigências impertinentes e excessivas são as mais graves e constituem ilegalidade por viabilizarem restrições indevidas e antieconômicas, as quais devem ser evitadas e não podem ser toleradas pelos agentes públicos responsáveis, pela assessoria jurídica e pelos órgãos de controle.

Por fim, a exigência excessiva é a que, além de restringir a disputa, torna demasiadamente onerosa a contratação. Ela padece de dois vícios imperdoáveis: restringe ilegalmente a competição e força a Administração a pagar mais quando precisava de muito menos. A exigência excessiva é a mais grave de todas e, em muitos casos, é utilizada com o deliberado propósito de beneficiar determinado produto ou fornecedor. (MENDES, Renato Geraldo. O Processo de Contratação Pública - Fases, Etapas e Atos. 1ª. ed. Curitiba: Zênite, 2012, pág. 148/151) **(grifou-se)**

Diante o exposto, resta demonstrado que as exigências técnicas são excessivas, desnecessárias e impertinentes, não demonstrando qualquer fundamento técnico capaz de sustentar a exigência. A exclusão das ilegalidades aqui exaradas, não maculará o cumprimento integral do objeto licitado.



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

Por fim, as irregularidades aqui exaradas deverão ser excluídas e retificadas do presente edital, a fim de garantir a legalidade da contratação.

As exigências excessivas e que comprometem a correta formulação da proposta de preços, deverá ser excluídos do instrumento convocatório de modo a possibilitar a ampla participação de interessados, sendo que as exigências desprovidas de qualquer fundamento técnico e/ou legal para embasá-las, deverá ser prontamente excluído do edital.

Assim, por infringir o princípio da legalidade, impessoalidade e do julgamento objetivo, previsto no art. 3º, *caput*, da Lei nº 8.666/1993, é que tal previsão deve ser extirpada do edital de modo a ampliar o universo de competidores com tratamento **ISONÔMICO**.

III.1.II - DA ILEGALIDADE NA EXIGÊNCIA DE PRODUTOS SEM RESPALDO LEGAL ("BARRA DE LED SMD")

Inobstante as ilegalidades expostas no item anterior, observa-se que no lote 3, é licitado dois tipos de produtos que não possuem embasamento técnico e legal para serem comercializados no território brasileiro, servindo tão somente para restringir a competição e direcionar a presente contratação pública.

São eles item 29: Barra LED SMD (Surface Mount Device) Pedestre com fonte, nas cores vermelha e verde, com base, tamanho com a caixa de fixação (C x L x A) 1005 mm x 155 mm x 65 mm. Caixa de fixação em aço carbono e com pintura eletrostática preta. Tensão de 80 - 265 Vac, potência nominal de 25w para cor vermelha e 25w para a cor verde. Grau de proteção IP66, resistência a compressão de 05 toneladas e item 43: Sistema de iluminação auxiliar para porta foco veicular Principal em Braço Projetado, tensão de 80 - 265 Vac, grau de proteção IP 68, com abraçadeiras para fixação.



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

O primeiro item que se apresenta ilegal no contexto de sinalização viária existente no território brasileiro, trata-se de uma barra de led para que o pedestre possa realizar a travessia.

É o que se extrai da tabela constante no Anexo I Termo de Referência – Item 29:

LOTES 03 - PORTA-FOGOS SEMAFÓRICOS, SEUS COMPONENTES E MÓDULOS DE LED SEMAFÓRICOS						
ITEM	CÓD	DESCRIÇÃO DO PRODUTO	UNID	QTD	Valor unitário máximo estimado R\$	Valor total máximo estimado R\$
28	86328	Anteparo Solar fabricado em alumínio naval com bordas arredondadas e tarjas em películas refletivas do tipo Grau Técnico modelo "T" 4x200mm.	UN	6,00	903,78	5.422,68
29	86329	Anteparo Solar (Surface Mount Device) Pedestre com fonte, nas cores vermelha e verde, com base, tamanho com a caixa de fixação (C x L x A) 1005 mm x 155 mm x 65 mm. Caixa de fixação em aço carbono e com pintura eletrostática preta. Tensão de 80 - 265 Vac, potência nominal de 25w para cor vermelha e 25w para a cor verde. Grau de proteção IP66, resistência a compressão de 05 toneladas.	UN	60,00	10.919,06	655.143,60

Diante as legislações vigentes no hodierno ordenamento jurídico, não se vislumbra qualquer normativa capaz de viabilizar a comercialização deste tipo de equipamento.

Tem-se que a licitação para aquisição deste produto, pode restar na substancial limitação do caráter competitivo do processo licitatório, visto que apenas por não possuir fundamento técnico e legal, da mesma forma, tal produto pode estar sendo, equivocadamente, direcionado a determinado grupo de empresas.

Além disso, a presente contratação também enseja na oneração financeira desnecessária com a compra deste tipo de equipamento, exatos R\$ 655.143,60, considerando que nos tempos atuais, diversos órgãos públicos têm primado pela economia dos recursos disponíveis, de forma a garantir que os produtos adquiridos também possuam uma qualidade comprovada.

O que causa estranheza também é que devido ao exorbitante valor para contratação deste produto, verifica-se que há uma especificação técnica bastante sucinta para um produto que, *a priori*, está estimado em um valor considerável.



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

O que demonstra a carência de informações técnicas e legais para a contratação segura deste tipo de equipamento.

Considerando que cabe ao agente público agir estritamente dentro dos comandos legais vigentes, conforme o disposto no art. 37, *caput*, da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, em observância ao princípio da legalidade.

Assim, em não havendo qualquer fundamento legal para embasar a aquisição deste tipo de equipamento e que ela é considerada excessiva e restritiva a competição, é que deve ser extirpada do presente do edital.

Importa mencionar que a ausência deste tipo de equipamento não prejudicará o parque semafórico da cidade, quando se verifica que também são licitados 64 grupos focais pedestres:

42	86342	Porta foco tipo pedestre em policarbonato - 2x200mm - contendo módulo Semaforico a LED nas cores VERDE e VERMELHO, denominado módulos LED's, SMD, com lente Fresnel, para fixação em torre/coluna semaforica.	UN	64,00	2.919,00	186.816,00
----	-------	---	----	-------	----------	------------

Observa-se que a barra de LED de pedestres trata-se de equipamento auxiliar para que o usuário possa realizar a travessia, contudo, o grupo focal pedestre é o ÚNICO produto homologado pelo Contran que possui a função de proporcionar ao usuário o exato momento em que poderá realizar a travessia, com segurança.

Portanto, realizar a compra apenas dos grupos focais semaforicos pedestres proporcionará aos usuários a mesma segurança no momento em que necessitar realizar a travessia para pedestres, não haverá prejuízos à contratação num todo em deixar de adquirir a barra de LED SMD e evitará o evidente desperdício de dinheiro público.

III.I.III - DA ILEGALIDADE NA EXIGÊNCIA DE PRODUTOS SEM RESPALDO LEGAL ("SISTEMA DE ILUMINAÇÃO AUXILIAR PARA PORTA FOCO VEICULAR PRINCIPAL EM BRAÇO")

Seguidamente, o edital exige que o futuro contratado realize o fornecimento do produto abaixo mencionado, conforme disposição contida no item 43 do Lote 3:



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

43	86343	Sistema de iluminação auxiliar para porta foco veicular Principal em Braço Projetado, tensão de 80 - 265 Vac, grau de proteção IP 68, com abraçadeiras para fixação.	UN	60,00	12.485,35	749.121,00
----	-------	--	----	-------	-----------	------------

Inicialmente, salta aos olhos o desejo desta Municipalidade em adquirir este produto: “Sistema de iluminação auxiliar”, quando não possui qualquer especificação técnica dos produtos constante no Termo de Referência.

Tal produto se mostra com valores bastante expressivos dentro do contexto do lote destinado a aquisição de porta-focos, seus componentes e módulos de led semafóricos, em contrapartida, a especificação técnica de um produto que se revela custoso é de apenas 3 (três) linhas.

Por tratar-se de produto com valor financeiro bastante agregado em face aos demais itens, talvez seja compreensível a ausência de especificação técnica detalhada do produto.

Isto porque, o “Sistema de iluminação auxiliar” trata-se de produto que não possui respaldo legal no hodierno ordenamento jurídico, sendo expressamente vedado pelo Código de Trânsito Brasileiro:

Art. 82. É proibido afixar sobre a sinalização de trânsito e respectivos suportes, ou junto a ambos, qualquer tipo de publicidade, inscrições, legendas e símbolos que não se relacionem com a mensagem da sinalização.

A legislação veda expressamente a afixação de legendas e símbolos que não se relacionem com a mensagem de sinalização, visto que pode gerar confusão aos usuários da sinalização de trânsito permitida pela legislação atual.

Neste sentido, é o que também estabelece o CTB:

Art. 81. Nas vias públicas e nos imóveis é proibido colocar luzes, publicidade, inscrições, vegetação e mobiliário que possam gerar confusão, interferir na visibilidade da sinalização e comprometer a segurança do trânsito.



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

Considerando que cabe ao gestor público, limitar a sua atuação dentro dos comandos permissivos pela legislação, o art. 80 do CTB estabelece que é vedada a colocação de qualquer outra sinalização que não esteja prevista naquele código.

Portanto, pode-se concluir que diante a ausência de base legal para a comercialização deste produto, ele deverá ser excluído da presente contratação, pois além da carência de autorização legal, pode ocorrer eventual direcionamento a determinado grupo de empresas.

Isto porque, em duas cidades do estado do Paraná verifica-se que houve instalação deste equipamento. As informações veiculadas dão conta de que houve instalação deste sistema na cidade de Pato Branco/PR:



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

Contrato nº 214/2022/GP.

CONTRATO DE FORNECIMENTO

Que entre si celebram, o **Município de Pato Branco**, pessoa jurídica de direito público interno, inscrito no CNPJ sob nº 76.995.448/0001-54 com sede e foro na Rua Caramuru, nº 271, centro, CEP: 85.501-064 em Pato Branco - PR, neste ato representado pelo seu Prefeito, Sr. **Robson Cantu**, brasileiro, portador do RG nº 1.816.183-4 SESP/PR, inscrito no CPF nº 441.436.649-68, residente e domiciliado na Rua Argentina n.º 02, Apto 702, Bairro Jardim das Américas, CEP 85.502-040, em Pato Branco - PR, de ora em diante denominado **CONTRATANTE**, e **DATAPROM EQUIPAMENTOS E SERVICOS DE INFORMATICA INDUSTRIAL LTDA**, pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ nº 80.590.045/0001-00, Inscrição Estadual nº 90177593-18, estabelecida Rua Tenente Francisco Ferreira De Souza, nº 470, Bairro Hauer, CEP 81.630-010, no município de Curitiba/PR, Telefone (41) 3014-1267, Email supat@dataprom.com, neste ato representado por Jacqueline Mara Felisbino, inscrito no CPF nº 659.272.819-15, portadora do RG nº 3.349.072-0, residente e domiciliada no município de Curitiba/PR, de ora em diante denominada **CONTRATADA**, tendo certa e ajustada a contratação, adiante especificada, cuja licitação foi promovida através do **Edital de Pregão Eletrônico nº 83/2022 - Processo nº 161/2022**, conforme autorização constante do protocolo nº 450580/2022, que independente da sua transcrição, integra o presente contrato que será regido pelas disposições da Lei nº 8.666/93 e suas posteriores alterações, do Código Civil e do Código do Consumidor, mediante as seguintes cláusulas e condições:

CLÁUSULA PRIMEIRA - OBJETO

I - Constitui objeto do presente contrato a Contratação de pessoa jurídica para o fornecimento de sistema de sinalização auxiliar para poste e braço semafórico com iluminação inteligente, nas cores verde/amarelo/vermelho, em atendimento as necessidades da Secretaria Municipal de Engenharia e Obras, através do Departamento de Trânsito – DEPATRAN, conforme especificações e quantidades que seguem:

Item	Qtd	Liq	Descrição	Marca	Valor Unit	Valor Total
1	20	Cj	Sistema de sinalização auxiliar para poste e braço semafórico (iluminação inteligente nas cores verde/amarelo/vermelho) contendo: Coluna em aço galvanizado modelo com LED RGB; Braço Projetado em aço galvanizado, com LED RGB; Controlador smart com acionamento RGB.	Própria	12.703,30	254.066,00

Posteriormente, houve a publicação da notícia junto ao *site* da empresa executora do Contrato de Fornecimento nº 214/2022 – Dataprom:

Início > Trânsito Seguro > Trânsito Seguro: Novo sistema de Led chega aos semáforos de Pato Branco

Verificar

Trânsito Seguro

Trânsito seguro: Novo sistema de Led chega aos semáforos de Pato Branco

A novidade chegou a 10 pontos de grande fluxo na cidade, e promete diminuir as chances de acidentes de trânsito nesses locais. Ela aumenta a visualização da sinalização semafórica para até 300 metros de distância

Por **Dataprom Comunicação**

Em 7 de dezembro de 2022

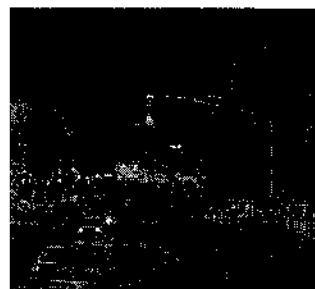
Compartilhe



Os postes que sustentam os semáforos de Pato Branco, cidade do sudoeste paranaense, e as calçadas desses cruzamentos receberam faixas de led sincronizadas com os porta-focos. A novidade chegou a 10 pontos de grande fluxo na cidade, e promete diminuir as chances de acidentes de trânsito nesses locais.

Essa inovação aumenta a ativação sensorial de pedestres e motoristas para o estágio do semáforo, ampliando a segurança e dando maior qualidade de vida nas cidades.

Para operar, a iluminação é sincronizada com o controlador semafórico responsável pelos semáforos. Ela aumenta a visualização da sinalização semafórica para até 300 metros de distância, evitando o comportamento de avanço de sinal vermelho.



Mais Novidades

Pato Branco também investiu na aquisição do **ANTARES EVOLUTION**, que é o software responsável por integrar e centralizar todas as soluções da DATAPROM.

(Disponível em: <<https://integra.dataprom.com/transito-seguro/transito-seguro-novo-sistema-de-led-chega-aos-semaforos-de-pato-branco/>> Acesso em: 06 mar. 2023)

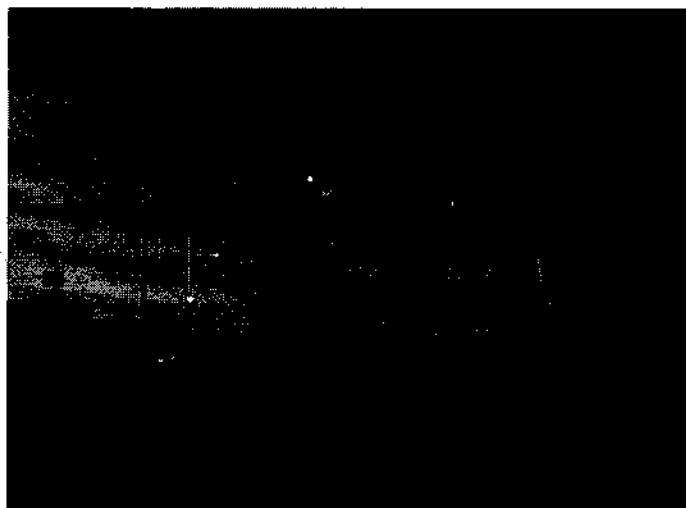
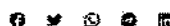
Outra cidade que aderiu a este sistema auxiliar de iluminação de LED, é Araucária/PR:

Faixa de LED em poste de semáforo amplia atenção para a sinalização de trânsito em Araucária

A iluminação é sincronizada com a do semáforo de maneira que o condutor do veículo pode enxergar de longe a sinalização, principalmente à noite, o que melhora a segurança do trânsito.



Por Município de Araucária
15/03/2022 08:00 - Atualizado há 11 meses



(Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/especial-publicitario/municipio-de-araucaria/araucaria-noticias/noticia/2022/03/15/faixa-de-led-em-poste-de-semaforo-amplia-atencao-para-a-sinalizacao-de-transito-em-araucaria.ghtml>> Acesso em: 06 mar. 2023)

Novamente, no *site* da empresa Dataprom é possível observar matéria sobre a “nova solução tecnológica” presente na mesma cidade:

Cidades Inteligentes

Araucária inova e chama a atenção com novos semáforos

Cruzamentos com maior movimento no município da Grande Curitiba têm recebido faixas de led sincronizadas com a cor do portafoco. Veja o vídeo.

Por Dataprom Comunicação

Em 13 de abril de 2022

Compartilhe



Uma nova solução tecnológica implementada em Araucária, região metropolitana de Curitiba, está colocando por terra aquele velho argumento de motoristas que dizem não terem se atentado à cor do semáforo quando avançam o sinal vermelho. Faixas de led sincronizadas com a cor do portafoco foram instaladas em dois cruzamentos do município e têm chamado a atenção de quem transita naquela região.

A novidade está presente nos cruzamentos da Avenida Manoel Ribas com a Victor do Amaral e São Vicente de Paulo. Os dois cruzamentos escolhidos para iniciar a operação estão entre os mais movimentados do centro da cidade. Censagens recentes do Departamento de Trânsito de Araucária indicam que passam por ali cerca de 35 mil veículos por dia.

Segundo a prefeitura, a ideia é testar essas soluções, e verificar a eficácia delas para a redução de acidentes ao longo do tempo.

"Já estamos tendo um retorno positivo de motoristas e pedestres que gostaram bastante da visibilidade que a solução nos dá, principalmente no fim de tarde e noite", afirmou Luiz Gouvêa, autoridade de trânsito de Araucária.

Essa novidade faz parte de um pacote de novas soluções instaladas recentemente na cidade pela prefeitura local. Além das faixas de led nos postes dos semáforos, o município também está ampliando a acessibilidade para pedestres.

(Disponível em: <<https://integra.dataprom.com/cidades-inteligentes/araucaria-inova-e-chama-a-atencao-com-novos-semaforos/>> Acesso em: 06 mar. 2023)

Diante os indícios acima, que supostamente podem direcionar a presente contratação pública, deve-se readequar o edital de modo a exigir tão somente o fornecimento de equipamentos de sinalização viária semafórica, que sejam compatíveis com as diretrizes estabelecidas pelas legislações vigentes e resoluções do CONTRAN.

Conforme demonstrado *alhores*, não se encontra qualquer embasamento técnico, nem mesmo legal que justifique a contratação deste sistema de sinalização auxiliar de LED.



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

O que se denota é justamente ao contrário, quando esta contratação pública está sendo onerada em R\$ 749.121,00 com a possível aquisição deste material, que certamente, limita (e muito) o caráter competitivo do processo licitatório.

De acordo com o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V, que trata sobre a Sinalização Semafórica, recentemente, atualizado (2022), é possível observar que o sistema de sinalização semafórica é composto por grupos focais (semáforos) acionados pelo controlador de tráfego:

O subsistema de sinalização semafórica é composto, basicamente, de um conjunto de indicações luminosas (semáforo ou grupo focal), fixado ao lado da via ou suspenso sobre ela, e dispositivo eletromecânico ou eletrônico (controlador) responsável pelo acionamento dessas indicações luminosas. Em situações específicas, tais como uso de dispositivos de detecção do tráfego, equipamentos de fiscalização não metrológicos e centrais de controle em área podem ser associados à sinalização semafórica de regulamentação. (Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/copy_of__05__MBST_Vol._V__Sinalizacao_Semaforica.pdf Acesso em: 06 mar. 2023. Pág. 8)

Ao decorrer do referido manual, não consta qualquer critério autorizador ou normativo para utilização do sistema de sinalização auxiliar de LED, o que se observa é a necessidade de submissão do mesmo ao CONTRAN, para autorização posterior, sendo que a utilização em caráter definitivo apenas poderá se dar após a devida regulamentação pelo órgão:

A utilização de focos com formas e/ou sinais diferentes dos previstos nas Tabelas 3.1 e 3.2, em caráter experimental, só será admitida mediante autorização expressa do CONTRAN. O uso de sinais não previstos, em caráter definitivo, somente poderá ocorrer após a devida regulamentação pelo CONTRAN. (Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/copy_of__05__MBST_Vol._V__Sinalizacao_Semaforica.pdf Acesso em: 06 mar. 2023. Pág. 10)



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

Neste sentido, é o que também preconiza a Resolução CONTRAN nº 973, de 18 de julho de 2022 ao dispor sobre os critérios para utilização de sinalização não prevista no CTB:

Art. 3º O órgão ou entidade executivo de trânsito ou rodoviário interessado em submeter à análise do CONTRAN a utilização de sinalização de trânsito não prevista no CTB, em caráter experimental e por período prefixado, nos termos do § 2º do art. 80 do CTB, deve encaminhar solicitação ao órgão máximo executivo de trânsito da União contendo:

- I - requerimento descrevendo a finalidade, aplicabilidade e vantagens da sinalização experimental;
- II - descrição detalhada do projeto, com desenhos e/ou imagens;
- III - estatística sobre ocorrência de acidentes antes da implantação da sinalização;
- IV - informação detalhada do local em que a sinalização experimental será implantada;
- V - período em que a sinalização será utilizada em caráter excepcional; e
- VI - termo de responsabilidade por eventuais danos causados pela sinalização. (Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/Resolucao9732022.pdf> Acesso em: 06 mar. 2023)

Observe que há necessidade de submissão da viabilidade da instalação desta “inovação tecnológica” junto ao CONTRAN, para deliberação a respeito e, posterior, autorização para instalação do sistema auxiliar de LED, devido à falta de regulamentação específica sobre o tema, o que tem limitado o mercado a linha de produção por somente um grupo de empresas, com a oferta de produtos que, atualmente, carecem de embasamento legal.

Portanto, realizar a compra apenas dos grupos focais semaforicos veiculares normatizados e homologados pelo Contran, proporcionará aos usuários a mesma segurança no momento em que necessitar obedecer a sinalização Semaforica, não haverá prejuízos à contratação num todo em deixar de adquirir a barra de LED SMD e evitará o evidente desperdício de dinheiro público.

Além disso, promover a presente contratação pública mantendo a aquisição da barra de led e do Sistema de iluminação auxiliar para porta foco veicular Principal aglutinados no mesmo lote, restringe e frustra de sobremaneira o caráter competitivo



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

do processo licitatório, o que não deve permanecer, em afronta ao disposto no art. 3º, da Lei nº 8.666/1993.

IV - DOS PEDIDOS

Demonstradas as irregularidades no instrumento convocatório, conforme as razões expostas, pugna pelo recebimento, processamento e acolhimento desta impugnação, reconhecendo-se os equívocos do Edital, e por consequência sua retificação de modo a adequar as exigências conforme demonstrado neste instrumento, desta feita será assegurada a segurança e eficácia da contratação, conforme as razões anteriormente expostas, modificando nos seguintes termos:

- a) Excluir a exigência de quantidade e tipo de led dos módulos a led.
- a) Prever a aceitação de módulos que atendam a NBR 15889:2019, sem frustrar o caráter competitivo;
- b) A potência nominal deverá seguir as diretrizes da ABNT – NBR 15889:2019;
- c) Excluir as soluções semaforicas prevista no item 29 (Barra de LED para pedestres) e item 43 (Sistema de iluminação auxiliar para porta foco veicular Principal) do lote 3, devido a ausência de normativa regulamentadora e autorizadora para a comercialização destes equipamentos, em afronta do disposto no Código de Trânsito Brasileiro.
- d) Se esta Administração Pública insistir em desperdiçar dinheiro público com produtos sem amparo legal, ausência normas efetivas da ABNT ou homologação do Contran, que o faça em Lote separado afim de não onerar mais ainda os cofres públicos e frustrar o caráter competitivo.



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
 Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
 Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
 Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

- e) A imediata SUSPENSÃO do Pregão Eletrônico n° 39/2023, até o julgamento desta impugnação, da data de abertura agendada para 10 de março de 2023, às 09:00 horas.
- f) A procedência dos pedidos formulados nesta impugnação com a republicação do instrumento convocatório e definição de nova data de abertura para realização da sessão pública, nos termos do art. 21, parágrafo 4° da Lei n° 8.666/1993.
- g) E por fim, que sejam sanados os pontos acima elencados, pois da forma em que se encontra, restringe a participação das empresas interessadas no certame, ferindo a ampla concorrência, não atendendo, portanto, as exigências legais.

Caso mantidas as ilegalidades ora exaradas, o que não se espera, a presente impugnação será encaminhada ao conhecimento do Ministério Público, Tribunal de Contas e demais órgãos competentes, nos termos do art. 113, parágrafo 1°, da Lei n° 8.666/1933.

Nestes termos, pede e esfera deferimento.

Rio do Sul, 06 de março de 2023.

SAUL MARCELO DE
 OLIVEIRA:6791629592
 0

Assinado de forma digital por
 SAUL MARCELO DE
 OLIVEIRA:67916295920
 Dados: 2023.03.06 15:13:37 -03'00'

SSAT Sinalização e Adesivos Ltda
 CNPJ n° 05.111.060/0001-03
 Saul Marcelo de Oliveira
 Sócio Proprietário
 CPF n° 679.162.959-20



SSAT Sinalização e Adesivos Ltda - CNPJ: 05.111.060/0001-03
Rua Júlio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança, CEP: 89.161-424
Rio do Sul - Santa Catarina - Fone/Fax N°: (0xx47) 3521-3245
Inscrição Estadual 254.412.173 - Inscrição Municipal 47.181

Documentos anexados:

- Contrato social;
- Identificação;
- Contrato nº 214/2022/GP (Prefeitura do Município de Pato Branco);
- Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V (2022);
- Resolução nº 973/2022 do CONTRAN;
- Edital retificado PE 81/2021 – Prefeitura do Município de Paranaguá/PR.

**ALTERAÇÃO CONTRATUAL Nº 3 DA SOCIEDADE SSAT SINALIZACAO E
ADESIVOS LTDA
CNPJ nº 05.111.060/0001-03**



http://assinador.pscs.com.br/assinadorweb/autenticacao?chave1=1297mdW-6mX4hWk3iSkuaA&chave2=Ug8cwwspn_cKcJ5CvUIRA
ASSINADO DIGITALMENTE POR: 67916295920-SAUL MARCELO DE OLIVEIRA

SAUL MARCELO DE OLIVEIRA, brasileiro, divorciado, nascido em 09/01/1970, natural de Blumenau, estado de Santa Catarina, empresário, portador da Carteira de Identidade número 2.025.163-7, expedida pela SESP-SC em 14/02/2003, e do CPF nº. 679.162.959-20, residente e domiciliado na Rua Júlio Schlupp, s/n, Bairro Bela Aliança, na cidade de Rio do Sul – SC, CEP 89.161-424.

Sócio da sociedade limitada de nome empresarial **SSAT SINALIZACAO E ADESIVOS LTDA**, registrada legalmente por contrato social devidamente arquivado nesta Junta Comercial do Estado de Santa Catarina, sob NIRE nº 42600121911, com sede Rua Julio Schlupp, 767, Sala 01, Bela Aliança Rio do Sul, SC, CEP 89160000, devidamente inscrita no Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica/MF sob o nº 05.111.060/0001-03, delibera ajustar a presente alteração contratual, nos termos da Lei nº 10.406/2002, mediante as condições estabelecidas a seguir:

ÍTEM I – Devido às alterações constantes no artigo 41 da Lei nº 14.195/2021, a empresa decide adequar seu Contrato Social.

ÍTEM II – As Cláusulas e condições estabelecidas em atos já arquivados e que não foram expressamente modificadas por esta alteração continuam em vigor.

ÍTEM III – Em face das alterações acima, consolida-se o contrato social, nos termos da Lei nº 10.406/2002, mediante as condições e cláusulas seguintes:

CONTRATO SOCIAL CONSOLIDADO

Cláusula 1ª - A sociedade gira sob o nome empresarial de **SSAT SINALIZAÇÃO E ADESIVOS LTDA**, e tem sede à Rua Julio Schlupp, 767, Sala 01, Bairro Bela Aliança, na cidade de Rio do Sul, CEP 89.161-424, estado de Santa Catarina. Podendo a qualquer tempo, abrir ou fechar filiais, em qualquer parte do território nacional.

Cláusula 2ª – A sociedade explora os ramos de: **FABRICAÇÃO DE** equipamentos de fiscalização eletrônica, sinalização de trânsito e tráfego e de artigos para uso em sinalização turística e visual, vertical, horizontal e semaforica; **COMÉRCIO VAREJISTA E ATACADISTA DE** equipamentos de informática; equipamentos para uso comercial; máquinas e equipamentos; material elétrico, materiais de construção; equipamentos de telefonia e comunicação, e de artigos para uso em sinalização turística e visual, vertical, horizontal e semaforica; **SERVIÇOS DE MONTAGEM, INSTALAÇÃO, MANUTENÇÃO, REPARAÇÃO E PINTURA** de sinalização turística e visual, vertical, horizontal e semaforica; **SERVIÇOS DE MONTAGEM, INSTALAÇÃO, MANUTENÇÃO E REPARAÇÃO DE** aparelhos e instrumentos de medida, teste e controle; equipamentos e instrumentos ópticos; máquinas, aparelhos e materiais elétricos; máquinas e equipamentos industriais; de acessórios para veículos

Página 1



Junta Comercial do Estado de Santa Catarina

21/12/2022

Certifico o Registro em 21/12/2022 Data dos Efeitos 20/12/2022

Arquivamento 2022070579 Protocolo 222070579 de 20/12/2022 NIRE 42600121911

Nome da empresa SSAT SINALIZACAO E ADESIVOS LTDA

Este documento pode ser verificado em <http://regin.jucesc.sc.gov.br/autenticacaoDocumentos/autenticacao.aspx>

Chancela 100061195020089

Esta cópia foi autenticada digitalmente e assinada em 21/12/2022 LUCIANO LEITE KOWALSKI - Secretário-geral em exercício



**ALTERAÇÃO CONTRATUAL Nº 3 DA SOCIEDADE SSAT SINALIZACAO E
ADESIVOS LTDA
CNPJ nº 05.111.060/0001-03**

automotores; computadores e de equipamentos periféricos; equipamentos de comunicação; aparelhos ou equipamentos mecânicos ou eletro-mecânicos para sinalização ou segurança em ferrovias; estruturas metálicas; sistemas de prevenção contra incêndio; equipamentos para orientação à navegação marítima, fluvial e lacustre; SERVIÇOS DE elaboração e implantação de projetos de circulação e sistema viário e de sinalização turística e visual, vertical, horizontal e semafórica; inspeção de tráfego, e de fiscalização eletrônica de trânsito e/ou tráfego; operação de radares para órgãos públicos; desenho técnico relacionados à arquitetura e engenharia; ATIVIDADES DE monitoramento de sistemas de segurança eletrônico; ATIVIDADES AUXILIARES DE transportes aéreos e terrestres; ADMINISTRAÇÃO E CONSTRUÇÃO de obras de urbanização, fundações; ADMINISTRAÇÃO DA infraestrutura portuária; DEPÓSITOS DE mercadorias para terceiros; DESENVOLVIMENTO DE programas de computador; TESTES E ANÁLISES TÉCNICAS; ALUGUEL DE máquinas e equipamentos comerciais e industriais.

Cláusula 3ª – A sociedade iniciou suas atividades em 01/06/2002, e sua duração é por prazo indeterminado.

Cláusula 4ª – O capital social é de R\$ 3.000.000,00 (três milhões de reais), dividido em 3.000.000 (três milhões) de quotas no valor de R\$ 1,00 (um real) cada uma, totalmente integralizado em moeda corrente nacional e dividido da seguinte forma:

N. ORDEM	SÓCIOS	QUOTAS		VALORES
1	SAUL MARCELO DE OLIVEIRA	3.000.000	R\$	3.000.000,00
TOTAL		3.000.000	R\$	3.000.000,00

Cláusula 5ª – Serão regidas pela legislação aplicável à matéria, tanto ao valor das quotas, integralização do capital social, a retirada de sócio quanto à dissolução e a liquidação da sociedade.

Cláusula 6ª – A administração da sociedade cabe ISOLADAMENTE a SAUL MARCELO DE OLIVEIRA, com poderes e atribuições de representação ativa e passiva, judicial e extrajudicialmente, podendo praticar todos os atos compreendidos no objeto, sempre de interesse da empresa, autorizado o uso do nome empresarial.

Parágrafo 1º – A empresa contratará responsáveis técnicos devidamente habilitados pelos respectivos Conselhos de Classe, para integrarem seu quadro de funcionários, e serem responsáveis pelas obras e serviços de engenharia, e outros departamentos que porventura vierem a ser criados.

Parágrafo Único: No exercício da administração, o administrador poderá retirar valor mensal a título de pró-labore.

Cláusula 7ª - O exercício social terminará em 31 de dezembro, quando serão levantados o balanço patrimonial e o balanço de resultado econômico e será efetuada a apuração e a

Página 2



Junta Comercial do Estado de Santa Catarina

21/12/2022

Certifico o Registro em 21/12/2022 Data dos Efeitos 20/12/2022

Arquivamento 20222070579 Protocolo 222070579 de 20/12/2022 NIRE 42600121911

Nome da empresa SSAT SINALIZACAO E ADESIVOS LTDA

Este documento pode ser verificado em <http://regin.jucesc.sc.gov.br/autenticacaoDocumentos/autenticacao.aspx>

Chancela 100061195020089

Esta cópia foi autenticada digitalmente e assinada em 21/12/2022 LUCIANO LEITE KOWALSKI - Secretário-geral em exercício

**ALTERAÇÃO CONTRATUAL Nº 3 DA SOCIEDADE SSAT SINALIZACAO E
ADESIVOS LTDA
CNPJ nº 05.111.060/0001-03**

distribuição dos resultados com observância das disposições legais aplicáveis, sendo que os lucros ou prejuízos verificados serão distribuídos ou suportados pelos sócios na proporção de suas cotas de capital.

Parágrafo Primeiro: Por deliberação dos sócios a distribuição de lucros poderá ser em qualquer período do ano a partir de resultado do período apurado.

Parágrafo Segundo: A distribuição dos lucros poderá não obedecer a participação dos sócios desde que aprovada pelos sócios quotistas.

Cláusula 8ª - O falecimento, retirada, interdição ou inabilitação de um dos sócios não acarretará a dissolução da sociedade, que continuará com o sócio remanescente ou herdeiros do sócio falecido. Caso o(s) herdeiro(s) do sócio falecido não pretenda(m) integrar-se a Sociedade, então, caberá ao(s) sócio(s) remanescente(s) providenciar(em) a produção de balanço especial e apuração do patrimônio líquido para pagamento dos haveres do sócio falecido, mediante levantamento de balanço geral específico para esse fim, tudo em conformidade com a legislação em vigor.

Cláusula 9ª – Permanece o foro da comarca de Rio do Sul/SC, para resolver quaisquer litígios oriundos do presente Contrato.

Cláusula 10ª – O administrador declara, sob as penas da lei, que não está impedido de exercer a administração da empresa, por lei especial ou em virtude de condenação criminal, ou por se encontrar sob os efeitos dela, a pena que vede, ainda que temporariamente, o acesso a cargos públicos, ou por crime falimentar, de prevaricação, peita ou suborno, concussão, peculato ou contra a economia popular, contra o sistema financeiro nacional, contra normas de defesa da concorrência, contra as relações de consumo, fé pública ou propriedade.

Cláusula 11ª - Os casos omissos neste contrato serão resolvidos com observância dos preceitos do Código Civil (Lei nº 10.406/2002) e de outros dispositivos legais aplicáveis.

Rio do Sul/SC, 15 de dezembro de 2022.

SAUL MARCELO DE OLIVEIRA
CPF: 679.162.959-20

Página 3



Junta Comercial do Estado de Santa Catarina

21/12/2022

Certifico o Registro em 21/12/2022 Data dos Efeitos 20/12/2022

Arquivamento 20222070579 Protocolo 222070579 de 20/12/2022 NIRE 42600121911

Nome da empresa SSAT SINALIZACAO E ADESIVOS LTDA

Este documento pode ser verificado em <http://regin.jucesc.sc.gov.br/autenticacaoDocumentos/autenticacao.aspx>

Chancela 100061195020089

Esta cópia foi autenticada digitalmente e assinada em 21/12/2022 LUCIANO LEITE KOWALSKI - Secretário-geral em exercício



222070579

TERMO DE AUTENTICACAO

NOME DA EMPRESA	SSAT SINALIZACAO E ADESIVOS LTDA
PROTOCOLO	222070579 - 20/12/2022
ATO	002 - ALTERACAO
EVENTO	021 - ALTERACAO DE DADOS (EXCETO NOME EMPRESARIAL)

MATRIZ

NIRE 42600121911
 CNPJ 05.111.060/0001-03
 CERTIFICO O REGISTRO EM 21/12/2022
 SOB N: 20222070579

EVENTOS

051 - CONSOLIDACAO DE CONTRATO/ESTATUTO ARQUIVAMENTO: 20222070579

REPRESENTANTES QUE ASSINARAM DIGITALMENTE

Cpf: 67916295920 - SAUL MARCELO DE OLIVEIRA - Assinado em 20/12/2022 às 14:12:42



Junta Comercial do Estado de Santa Catarina

21/12/2022

Certifico o Registro em 21/12/2022 Data dos Efeitos 20/12/2022

Arquivamento 20222070579 Protocolo 222070579 de 20/12/2022 NIRE 42600121911

Nome da empresa SSAT SINALIZACAO E ADESIVOS LTDA

Este documento pode ser verificado em <http://regin.jucesc.sc.gov.br/autenticacaoDocumentos/autenticacao.aspx>

Chancela 100061195020089

Esta cópia foi autenticada digitalmente e assinada em 21/12/2022 LUCIANO LEITE KOWALSKI - Secretário-geral em exercício

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA
SECRETARIA NACIONAL DE TRANSPORTES - SENATRAN

VALIDA EM TODO O TERRITÓRIO NACIONAL. 1749547077

SC

NOME: SAUL MARCELO DE OLIVEIRA

DOC. IDENTIFICADOR: SAISORANUF
2622163 SSP-SC

CPF: 879.192.959-20 DATA NASCIMENTO: 09/01/1970

MUNICÍPIO: VIDAL JOVELINO DE OLIVEIRA
NAIR DE OLIVEIRA

PERMISSÃO: ACC CAT. HAB: AC

Nº REGISTRO: 03070290280 VALIDADE: 21/11/2023 1ª HABILITAÇÃO: 28/08/1990

OBSERVAÇÕES

ASSINATURA DO PORTADOR: *Saul Marcelo de Oliveira*

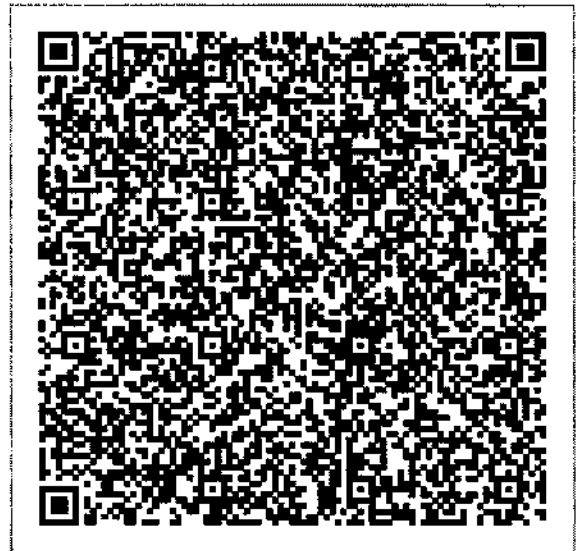
LOCAL: RIO DO BUL, SC DATA EMISSÃO: 27/11/2018

ASSINADO DIGITALMENTE
DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRANSPORTES
75812534163
SC139873473

SANTA CATARINA

DENATRAN CONTRAN

QR-CODE



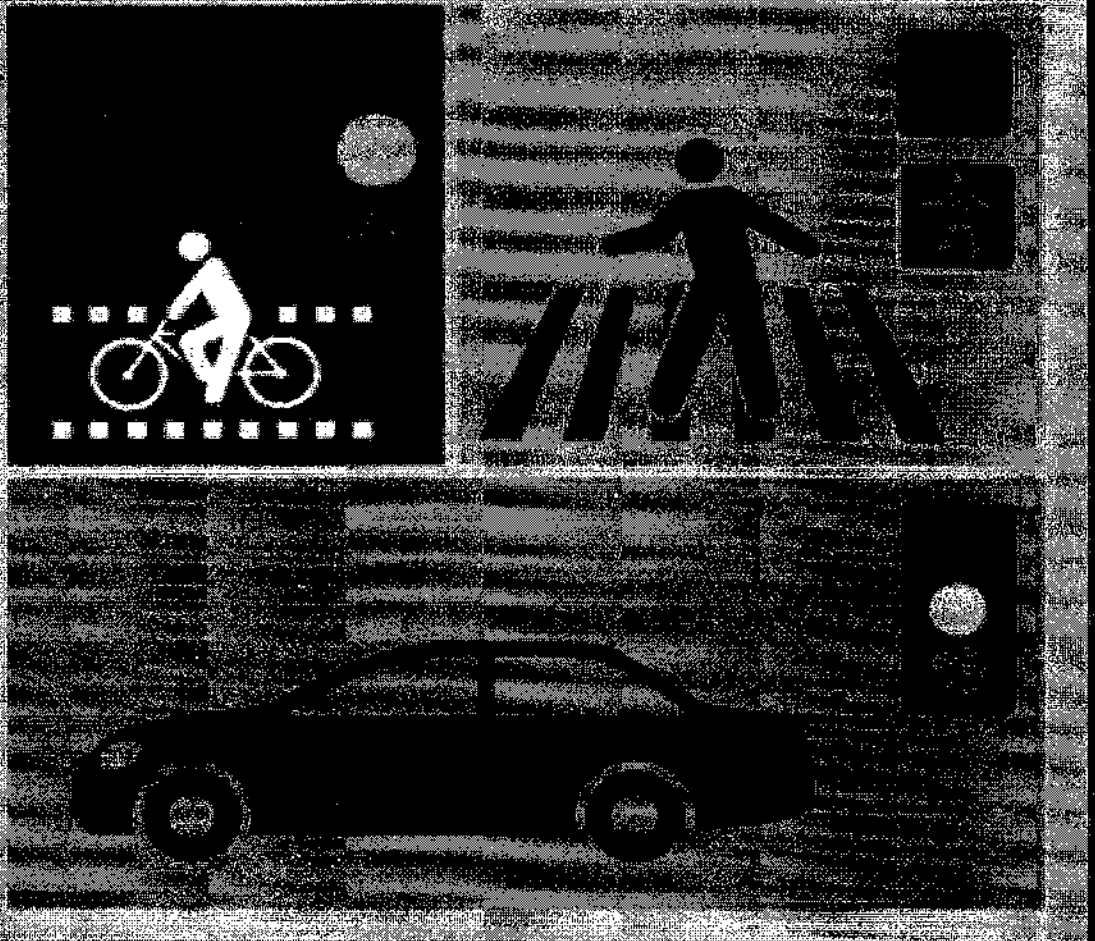
Documento assinado com certificado digital em conformidade com a Medida Provisória nº 2200-2/2001. Sua validade poderá ser confirmada por meio do programa Assinador Serpro.

As orientações para instalar o Assinador Serpro e realizar a validação do documento digital estão disponíveis em: <https://www.serpro.gov.br/assinador-digital>.

SERPRO / SENATRAN

VOLUME V

Sinalização Semafórica



Manual Brasileiro de Sinalização de trânsito

VOLUME V

Sinalização Semafórica

**CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO
CONTRAN**

2022

Sumário

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	<i>Formas de controle do tráfego em interseção ou seção de via</i>	<i>8</i>
1.2	<i>Princípios da Sinalização Semafórica</i>	<i>8</i>
2	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA	10
2.1	<i>Definição e função</i>	<i>10</i>
2.2	<i>Padrão de sinalização semafórica</i>	<i>10</i>
2.2.1	<i>Formas, cores e sinais</i>	<i>10</i>
2.2.2	<i>Tipos de semáforos</i>	<i>13</i>
2.2.3	<i>Sequência de acionamento das indicações luminosas</i>	<i>15</i>
2.3	<i>Relacionamento com outras sinalizações</i>	<i>15</i>
2.4	<i>Aspectos legais</i>	<i>16</i>
2.5	<i>Componentes da sinalização semafórica</i>	<i>16</i>
2.5.1	<i>Semáforo (também denominado grupo focal)</i>	<i>16</i>
2.5.2	<i>Elementos de sustentação</i>	<i>18</i>
2.5.3	<i>Controladores semafóricos</i>	<i>20</i>
2.5.4	<i>Detectores de tráfego</i>	<i>20</i>
3	CRITÉRIOS GERAIS PARA IMPLANTAÇÃO DA SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA	27
3.1	<i>Estudo dos movimentos numa interseção</i>	<i>27</i>
3.1.1	<i>Definições</i>	<i>27</i>
3.1.2	<i>Gerenciamento de conflitos</i>	<i>32</i>
3.2	<i>Critérios para implantação da sinalização semafórica</i>	<i>34</i>
3.2.1	<i>Critérios para estudos em locais existentes: abordagem pedestres</i>	<i>37</i>
3.2.2	<i>Critérios para estudos em locais existentes: abordagem veículos</i>	<i>41</i>
3.2.3	<i>Critérios para estudos em locais em fase de projeto: abordagem pedestres</i>	<i>45</i>
3.2.4	<i>Critérios para estudos em locais em fase de projeto: abordagem veículos</i>	<i>47</i>
3.3	<i>Critérios para utilização da sinalização semafórica operando em amarelo intermitente</i>	<i>53</i>
3.3.1	<i>Utilidade da operação em amarelo intermitente</i>	<i>53</i>
3.3.2	<i>Restrições ao uso do amarelo intermitente</i>	<i>53</i>
3.3.3	<i>Critérios de utilização</i>	<i>54</i>
3.3.4	<i>Especificações das informações luminosas dos semáforos</i>	<i>57</i>
3.3.5	<i>Considerações finais</i>	<i>57</i>
3.4	<i>Sinalização semafórica operando em tempo parcial</i>	<i>58</i>
4	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO CONTROLE SEMAFÓRICO	59
4.1	<i>Elementos básicos</i>	<i>59</i>
4.2	<i>Controle e operação</i>	<i>62</i>
4.2.1	<i>Tipos de controle</i>	<i>62</i>
4.2.2	<i>Estratégias de controle</i>	<i>63</i>
4.2.3	<i>Modos de operação</i>	<i>64</i>
4.3	<i>Recursos computacionais para programação semafórica</i>	<i>65</i>
4.4	<i>Análise comparativa das diferentes formas de controle</i>	<i>65</i>
5	ELEMENTOS DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA	68

5.1	<i>Volume de Tráfego</i>	68
5.2	<i>Volume de Tráfego Equivalente</i>	70
5.3	<i>Taxa de Fluxo</i>	71
5.4	<i>Fluxo de Saturação e Tempo Perdido de um ciclo</i>	72
5.4.1	Fluxo de saturação	72
5.4.2	Tempo perdido de um ciclo	72
5.5	<i>Taxa de ocupação</i>	74
5.6	<i>Grupo de Movimentos Crítico</i>	75
5.7	<i>Entreverdes</i>	75
5.7.1	Entreverdes para os veículos	75
5.7.2	Entreverdes para os pedestres	78
5.8	<i>Grau de Saturação</i>	78
5.9	<i>Tempo de Ciclo</i>	79
5.9.1	Método do grau de saturação máximo	80
5.9.2	Método de Webster	81
5.10	<i>Tempo de verde real e tempo de verde efetivo</i>	81
5.11	<i>Capacidade</i>	83
5.12	<i>Pelotões</i>	83
5.13	<i>Defasagem</i>	84
5.14	<i>Tempo de verde de segurança</i>	86
5.14.1	Recálculo da programação	87
5.14.2	Método 1	87
5.14.3	Método 2	88
5.15	<i>Verde mínimo veicular</i>	88
5.16	<i>Extensão de verde</i>	88
5.17	<i>Tempo de verde máximo</i>	88
5.18	<i>Medidas de desempenho</i>	89
5.18.1	Número de paradas.....	89
5.18.2	Fila máxima.....	90
5.18.3	Atraso	92
6	PROGRAMAÇÃO DE SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA ISOLADA DE TEMPO FIXO	94
6.1	<i>Etapas de programação</i>	94
6.1.1	Etapa I - Definição das condições em que a programação deverá operar.....	95
6.1.2	Etapa II – Determinação das características operacionais do tráfego	97
6.1.3	Etapa III - Cálculo da programação semaforica	98
6.1.4	Etapa IV - Implementação da programação e avaliação dos resultados	100
6.2	<i>Exemplos de cálculo</i>	101
6.2.1	Exemplo de cálculo do fluxo de saturação e tempo perdido.....	102
6.2.2	Exemplo do cálculo dos tempos de uma interseção semaforizada	103
6.2.3	Exemplo do cálculo dos tempos de uma interseção semaforizada, com conversão à esquerda.....	115
6.2.4	Exemplo da situação em que o tempo de verde calculado pelo método do grau de saturação é inferior ao respectivo tempo de verde de segurança.....	127
6.2.5	Cruzamento com estágio de pedestres em que o tempo de ciclo calculado inicialmente supera o tempo de ciclo máximo adotado – solução pelo método do grau de saturação	137
7	PROGRAMAÇÃO DE SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA ISOLADA ATUADA	146
7.1	<i>Conceitos básicos</i>	146

7.2	<i>Projeto de detecção de veículos</i>	147
7.2.1	<i>Posicionamento longitudinal</i>	148
7.2.2	<i>Configuração da seção detectada</i>	148
7.2.3	<i>Problemas no sistema de detecção</i>	149
7.3	<i>Parâmetros da programação de estágio atuado por veículos</i>	149
7.3.1	<i>Verde mínimo</i>	149
7.3.2	<i>Extensão de verde</i>	150
7.3.3	<i>Verde máximo</i>	152
7.3.4	<i>Tempo de retardo</i>	153
7.4	<i>Parâmetros da programação de estágio atuado por pedestres</i>	154
7.4.1	<i>Tempo do estágio de pedestres</i>	154
7.4.2	<i>Tempo de ciclo</i>	154
7.4.3	<i>Tempos de duração dos estágios veiculares</i>	154
7.4.4	<i>Tempo de retardo</i>	154
7.5	<i>Características gerais da programação de sinalização semafórica atuada</i>	155
7.5.1	<i>Sequência de estágios</i>	155
7.5.2	<i>Estágio atuado de duração fixa</i>	155
7.5.3	<i>Estágio dispensável</i>	155
7.5.4	<i>Demanda prioritária</i>	155
7.6	<i>Etapas da programação atuada</i>	156
7.6.1	<i>Atividades da Etapa III para atuação por veículos</i>	157
7.6.2	<i>Atividades da Etapa III para atuação por pedestres</i>	159
7.7	<i>Exemplos de programação de sinalização semafórica atuada</i>	159
7.7.1	<i>Sinalização semafórica totalmente atuada</i>	159
7.7.2	<i>Sinalização semafórica semiatuada</i>	167
7.7.3	<i>Sinalização semafórica de pedestres em meio de quadra</i>	174
7.8	<i>Locais candidatos à implantação de sinalização semafórica isolada atuada</i>	180
7.8.1	<i>Sinalização semafórica totalmente atuada</i>	180
7.8.2	<i>Sinalização semafórica semiatuada</i>	180
8	COORDENAÇÃO SEMAFÓRICA	182
8.1	<i>Aspectos gerais da coordenação semafórica</i>	184
8.1.1	<i>Objetivos</i>	184
8.1.2	<i>Configuração das redes</i>	184
8.1.3	<i>Aspectos que podem comprometer a eficácia da coordenação</i>	186
8.2	<i>Tipos de sistemas de coordenação semafórica</i>	186
8.3	<i>Determinação da programação para coordenação de sinalizações semafóricas operando em tempo fixo</i>	187
8.3.1	<i>Escolha do tempo de ciclo da rede</i>	187
8.3.2	<i>Cálculo dos tempos de verde</i>	188
8.3.3	<i>Determinação das defasagens</i>	188

8.3.3.1	<i>Determinação da defasagem por meio de diagrama espaço-tempo.....</i>	188
8.3.3.2	<i>Alternativa para definição do valor da defasagem para vias de mão única.....</i>	190
8.3.3.3	<i>Alternativas para definição do valor da defasagem para vias de mão dupla.....</i>	194
8.3.3.4	<i>Defasagens em sistemas de controle em área.....</i>	197
8.3.3.5	<i>Defasagem com travessia de pedestres.....</i>	197
8.3.3.6	<i>Largura da banda e eficiência da progressão.....</i>	198
8.4	<i>Coordenação de sinalizações semafóricas operando em modo atuado.....</i>	198
8.4.1	<i>Redes com sinalização semafórica atuada pelo tráfego.....</i>	198
8.4.2	<i>Redes de tempo fixo com presença de sinalização semafórica semiatuada.....</i>	199
8.5	<i>Programação em situações de congestionamento.....</i>	199
8.6	<i>Exemplos para tempos fixos.....</i>	200
8.6.1	<i>Exemplo para escolha da melhor configuração da rede.....</i>	200
8.6.2	<i>Exemplo da programação semafórica para um sistema de controle em corredor.....</i>	202
9	POSICIONAMENTO DA SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA.....	207
9.1	<i>Sinalização semafórica veicular.....</i>	207
9.1.1	<i>Padronização do posicionamento de semáforos.....</i>	207
9.1.2	<i>Visibilidade dos semáforos (grupos focais).....</i>	210
9.1.3	<i>Quantidade e posicionamento de grupos focais.....</i>	213
9.1.4	<i>Critérios para o projeto de locação.....</i>	214
9.1.5	<i>Afastamento lateral e altura livre.....</i>	214
9.1.6	<i>Casos especiais.....</i>	215
9.1.6.1	<i>Aproximação em curva vertical e horizontal.....</i>	215
9.1.6.2	<i>Caixa de acomodação pequena.....</i>	216
9.2	<i>Sinalização semafórica de pedestres.....</i>	218
9.2.1	<i>Critérios de uso de grupos focais de pedestres.....</i>	218
9.2.1.1	<i>Sinalização semafórica em meio de quadra.....</i>	218
9.2.1.2	<i>Sinalização semafórica em interseções.....</i>	218
9.2.1.3	<i>Considerações Gerais.....</i>	219
9.2.2	<i>Visibilidade dos semáforos (grupos focais).....</i>	220
9.2.3	<i>Critérios para o projeto de locação.....</i>	221
9.2.4	<i>Afastamento lateral e altura livre.....</i>	222
9.2.5	<i>Botoeiras de pedestres.....</i>	222
9.3	<i>Semáforo de ciclistas.....</i>	225
9.3.1	<i>Critérios de uso de grupos focais de ciclistas.....</i>	225
9.3.2	<i>Visibilidade dos semáforos (grupos focais).....</i>	225
9.3.3	<i>Critérios para o projeto de locação.....</i>	225
9.3.4	<i>Afastamento lateral e altura livre.....</i>	226
9.4	<i>Critérios de locação do controlador semafórico.....</i>	226
10	REMOÇÃO DE SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA.....	227

10.1	<i>Introdução</i>	227
10.2	<i>Metodologia de tomada de decisão para remoção de sinalização semafórica</i>	227
10.2.1	<i>Estudo técnico</i>	227
10.2.2	<i>Avaliação prática da operação sem sinalização semafórica</i>	229
10.2.3	<i>Tomada de decisão</i>	230

1 INTRODUÇÃO

A sinalização semafórica é um subsistema da sinalização viária que se compõe de indicações luminosas acionadas alternada ou intermitentemente por meio de sistema eletromecânico ou eletrônico. Tem a finalidade de transmitir diferentes mensagens aos usuários da via pública, regulamentando o direito de passagem ou advertindo sobre situações especiais nas vias.

A sinalização semafórica é classificada segundo sua função, que pode ser de:

- ✓ Regular o direito de passagem dos vários fluxos de veículos (motorizados e não motorizados) e/ou pedestres numa interseção ou seção de via;
- ✓ Advertir condutores, de veículos motorizados ou não motorizados, e/ou pedestres sobre a existência de obstáculo ou situação perigosa na via.

O subsistema de sinalização semafórica é composto, basicamente, de um conjunto de indicações luminosas (semáforo ou grupo focal), fixado ao lado da via ou suspenso sobre ela, e dispositivo eletromecânico ou eletrônico (controlador) responsável pelo acionamento dessas indicações luminosas. Em situações específicas, tais como uso de dispositivos de detecção do tráfego, equipamentos de fiscalização não metrológicos e centrais de controle em área podem ser associados à sinalização semafórica de regulamentação.

A operação da sinalização semafórica **deve** ser contínua e criteriosamente avaliada quanto à sua real necessidade e adequação de sua programação.

1.1 Formas de controle do tráfego em interseção ou seção de via

A decisão pela adoção da sinalização semafórica no controle do tráfego **deve** ser precedida da avaliação da eficácia de outras formas de controle, tais como:

- ✓ Controle a partir da obediência às normas gerais de circulação e conduta estabelecidas no Código de Trânsito Brasileiro (CTB);
- ✓ Controle com o uso de sinalização vertical de regulamentação (placas R-1 ou R-2) e/ou de sinalização horizontal (faixa de travessia de pedestres tipo zebra);
- ✓ Implantação de rotatórias ou outras formas de canalização do tráfego em interseções.

Orientações específicas sobre estudo e gerenciamento de conflitos entre veículos, e entre veículos e pedestres, são apresentadas na seção 4.1 deste Manual.

1.2 Princípios da Sinalização Semafórica

Na concepção e na implantação da sinalização de trânsito **deve-se** ter como princípio básico as condições de percepção dos usuários da via, garantindo a real eficácia dos sinais.

Para isso, é preciso assegurar à sinalização semafórica os mesmos princípios da sinalização de trânsito em geral, descritos a seguir:

Legalidade

Estar de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro – CTB e legislação complementar;

Suficiência

Permitir fácil percepção do que realmente é importante, com quantidade de sinalização compatível com a necessidade;

Padronização

Seguir um padrão legalmente estabelecido e atender à regra de que situações iguais **devem** ser sinalizadas segundo os mesmos critérios;

Clareza

Transmitir mensagens objetivas de fácil compreensão;
Evitar a ocorrência de informação conflitante no direito de passagem;

Precisão e confiabilidade

Ser precisa e confiável, corresponder à situação existente;

Ter credibilidade;

Atender aos requisitos técnicos mínimos de segurança viária e fluidez, alternando o direito de passagem de movimentos conflitantes;

Visibilidade e legibilidade

Ser vista à distância necessária e em tempo hábil para a tomada de decisão;

Manutenção e conservação

Estar permanentemente limpa, conservada e visível;

Sofrer as adequações necessárias, tais como reprogramação, atualização e remoção, acompanhando a dinâmica do trânsito.

2 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA

2.1 Definição e função

A sinalização semafórica tem por finalidade transmitir aos usuários a informação sobre o direito de passagem em interseções e/ou seções de via onde o espaço viário é disputado por dois ou mais movimentos conflitantes, ou advertir sobre a presença de situações na via que possam comprometer a segurança dos usuários.

É classificada, segundo sua função, em:

- ✓ **Sinalização semafórica de regulamentação** – tem a função de efetuar o controle do trânsito numa interseção ou seção de via, através de indicações luminosas, alternando o direito de passagem dos vários fluxos de veículos e/ou pedestres;
- ✓ **Sinalização semafórica de advertência** – tem a função de advertir sobre a 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.

2.2 Padrão de sinalização semafórica

2.2.1 Formas, cores e sinais

As diferentes combinações de forma, cor e sinal integrantes da sinalização semafórica possuem significados distintos e transmitem informações específicas ao condutor e pedestre.

Nas Tabelas 3.1 e 3.2 são apresentadas as combinações envolvendo, respectivamente, focos de forma circular e retangular.

A utilização de focos com formas e/ou sinais diferentes dos previstos nas Tabelas 3.1 e 3.2, em caráter experimental, só será admitida mediante autorização expressa do CONTRAN. O uso de sinais não previstos, em caráter definitivo, somente poderá ocorrer após a devida regulamentação pelo CONTRAN.

O Apêndice 1 apresenta a diagramação dos pictogramas utilizados neste manual, exceto aqueles utilizados em semáforos de controle ou faixa reversível, cuja diagramação para o formato de foco quadrado ainda não consta da norma ABNT. Para a correta visualização, não deverá ser iluminada a área do foco semafórico externa ao pictograma.

As cores dos focos/pictogramas da sinalização semafórica devem seguir as especificações das Normas ABNT NBR7995 e NBR15889.

Tabela 3.1: Cores e sinais da sinalização semafórica em focos de forma circular



















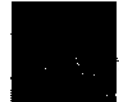

FORMA	COR	SINAL	SIGNIFICADO	AÇÃO DO USUÁRIO DA VIA	
Circular	Vermelha		Indica a proibição do direito de passagem	Obrigatoriedade do condutor em parar o veículo	
	Amarela		Indica o término do direito de passagem.	O condutor deve parar o veículo salvo se não for possível imobilizá-lo em condições de segurança.	
	Verde		Indica a permissão do direito de passagem.	O condutor tem a permissão de iniciar ou prosseguir em marcha, podendo efetuar os movimentos de acordo com a indicação luminosa e observar as normas de circulação e conduta.	
	Amarela (intermitente)		Adverte da existência de Situação perigosa ou obstáculo.	O condutor deve reduzir a velocidade e observar as normas de circulação e conduta.	
	Amarela com seta (opcional)			Indica término do direito de passagem em semáforo direcional.	O condutor deve parar o veículo salvo se não for possível imobilizá-lo em condições de segurança.
					
					
	Vermelha			Indica a proibição do direito de passagem de acordo com a direção e sentido da seta apresentada na indicação luminosa.	Obrigatoriedade do condutor em parar o veículo de acordo com a indicação luminosa.
					
					
	Verde			Indica a permissão do direito de passagem, de acordo com a direção e sentido da seta apresentada na indicação luminosa.	O condutor tem a permissão de iniciar ou prosseguir em marcha, podendo efetuar os movimentos de acordo com a indicação luminosa e observar as normas de circulação e conduta.
					
					
Vermelha			Indica para o ciclista a proibição do direito de passagem.	Obrigatoriedade do ciclista em parar o veículo.	
Verde			Indica para o ciclista a permissão do direito de passagem.	O ciclista tem a permissão de iniciar ou prosseguir em marcha.	

Tabela 3.2: Cores e sinais da sinalização semafórica em focos de forma quadrada

FORMA	COR	SINAL	SIGNIFICADO	AÇÃO DO USUÁRIO DA VIA
Quadrada	Vermelha		Indica para o pedestre a proibição da travessia	O pedestre não deve iniciar a travessia
	Vermelha (intermitente)		Indica para o pedestre o término do direito de iniciar a travessia. Sua duração deve permitir a conclusão das travessias iniciadas no tempo de verde.	O pedestre não deve iniciar a travessia. O pedestre que já iniciou a travessia no tempo de verde deve concluí-la, atentando para o fato de que os veículos estão prestes a receber indicação luminosa verde.
	Verde		Indica para o pedestre a permissão do direito de travessia	O pedestre tem a permissão de iniciar a travessia
	Vermelha		Indica, por meio do símbolo "X", a proibição de circular na faixa sinalizada	O condutor não deve circular pela faixa sinalizada
	Verde		Permite a circulação na faixa indicada pela seta	O condutor tem a permissão de circular pela faixa sinalizada

Dimensões

A Tabela 3.3 apresenta a forma e dimensão dos focos das lentes.

Tabela 3.3: Formas e dimensões das lentes dos focos semafóricos

SEMÁFOROS DESTINADOS A	FORMA DO FOCO	DIMENSÃO DA LENTE (mm)
Veículos automotores	Circular	Diâmetro de 200 ou 300
Bicicletas	Circular	Diâmetro de 200 ou 300
Faixas reversíveis	Quadrada	Lado de 300 (mínimo)
Advertência	Circular	Diâmetro de 200 ou 300
Pedestres	Quadrada	Lado de 200 ou 300

2.2.2 Tipos de semáforos

O semáforo, ou grupo focal, é o conjunto obtido pela montagem de um ou mais focos luminosos com suas faces voltadas para o sentido do movimento. Os grupos focais são empregados na sinalização semaforica de regulamentação e advertência.

a) Semáforos empregados na sinalização semaforica de regulamentação

VEICULAR (EXCETO DE CICLISTA) - O grupo focal veicular possui três indicações luminosas: vermelha, amarela e verde, dispostas nesta ordem, de cima para baixo quando vertical, e da esquerda para a direita quando horizontal. Pode-se, também, utilizar grupo focal composto de dois focos vermelhos, um amarelo e um verde, dispostos verticalmente.

VEICULAR DIRECIONAL - O grupo focal veicular direcional possui três indicações luminosas: vermelha com seta, amarela com ou sem seta e verde com seta, dispostas nesta ordem, de cima para baixo quando vertical, e da esquerda para a direita quando horizontal. Pode-se, também, utilizar grupo focal composto de dois focos vermelhos com seta, um amarelo com ou sem seta e um verde com seta, dispostos verticalmente. Deve ser utilizado, apenas, nas aproximações em que há períodos de verde distintos para diferentes movimentos. As setas devem ser orientadas ou para cima, ou para a direita ou para a esquerda.

VEICULAR DIREÇÃO LIVRE - O grupo focal veicular direção livre é constituído somente pelo foco verde com seta. A seta deve ser orientada ou para cima, ou para a direita ou para a esquerda.

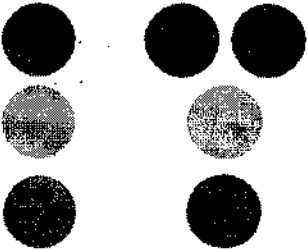

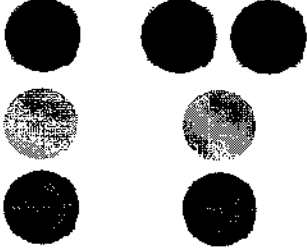


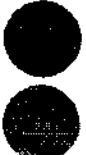




VEICULAR CONTROLE DE ACESSO ESPECÍFICO - O grupo focal "veicular controle de acesso específico" possui focos vermelho e verde, dispostos nesta ordem, de cima para baixo quando vertical, e da esquerda para a direita quando horizontal, para uso exclusivo em controles do tipo praças de pedágio e balsa.

VEICULAR CONTROLE OU FAIXA REVERSÍVEL - O grupo focal veicular controle ou faixa reversível é formado por um foco vermelho com símbolo "X" e por um foco verde com seta orientada para baixo, dispostos nesta ordem, da esquerda para a direita, na posição horizontal. No caso de semáforos de LED pode ser utilizado um foco único para mostrar as duas indicações.

PEDESTRES - Os grupos focais de pedestres são compostos por focos vermelho e verde, com os pictogramas respectivos, dispostos nesta ordem, de cima para baixo, na posição vertical.

CICLISTAS - Os grupos focais de ciclistas são compostos por focos vermelho, amarelo e verde, com os pictogramas respectivos, dispostos nesta ordem, de cima para baixo, na posição vertical.

Tabela 3.4: Semáforos para sinalização semafórica de regulamentação

TIPO DO SEMÁFORO	POSIÇÃO VERTICAL	POSIÇÃO HORIZONTAL
Veicular	 <p>Observação: O grupo focal pode ser configurado com vermelho 300mm e amarelo/verde 200mm</p>	 <p>Observação: Só utilizar quando projetado sobre a via</p>
Veicular Direcional	 <p>Observação: Opcionalmente, pode-se utilizar foco amarelo com seta.</p>	 <p>Observações:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Só utilizar quando projetado sobre a via. ✓ Opcionalmente, pode-se utilizar foco amarelo com seta.
Veicular Direção Livre		
Veicular Controle de Acesso Específico		
Veicular Controle ou Faixa Reversível	<p>Em semáforos de LED pode ser usado foco único.</p>	
Pedestre		
Ciclista		

b) Semáforos empregados na sinalização semafórica de advertência

Os grupos focais utilizados na sinalização semafórica de advertência **devem** ser formados por um ou dois focos amarelos em funcionamento intermitente. O foco **deve** piscar de um em um segundo (frequência de 1Hz) e na proporção aceso/apagado na faixa de 30 a 50% (lâmpada acesa).

A disposição dos focos na formação dos semáforos veiculares de advertência duplos poderá ser vertical ou horizontal (ver Tabela 3.5). No caso da utilização de dois focos em funcionamento intermitente, eles **devem** piscar alternadamente.

Em situações especiais definidas na seção 4.3 deste Manual, o semáforo de regulamentação pode ser utilizado para efeito de sinalização semafórica de advertência. Para tanto, os focos verde e vermelho são apagados e o foco amarelo opera de forma intermitente em todas as aproximações. Nessa situação os focos de pedestres também **devem** ser apagados.

Tabela 3.5: Semáforos para sinalização semafórica de advertência com dois focos

TIPO DO SEMÁFORO	POSIÇÃO VERTICAL	POSIÇÃO HORIZONTAL
Veicular		

2.2.3 Sequência de acionamento das indicações luminosas

As seqüências de acionamento das indicações luminosas dos semáforos de regulamentação **devem** ser:

SEMÁFORO VEICULAR e VEICULAR DIRECIONAL:

Verde, amarelo, vermelho, retornando ao verde;

SEMÁFORO DE PEDESTRES:

Verde, vermelho intermitente, vermelho, retornando ao verde.

2.3 Relacionamento com outras sinalizações

A sinalização semafórica **deve** vir acompanhada por **Linha de Retenção (LRE)**, conforme especificado no Volume IV do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (Sinalização Horizontal), em todas as aproximações da interseção ou da faixa de pedestres implantada em segmento viário localizado em meio de quadra.

Quando necessário, em função das condições de visibilidade do semáforo, deve ser utilizada a placa A-14 - **Semáforo à frente**, conforme especificado no Volume II do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (Sinalização Vertical de Advertência).

Quando a sinalização semafórica incluir grupos focais específicos para pedestres, deve vir acompanhada de **Faixas de Travessia de Pedestres (FTP)**, conforme especificado no Volume IV do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (Sinalização Horizontal).

Em via interceptada por ciclovia ou ciclofaixa, onde estão implantados semáforos para ciclistas, deve ser implantada **Marcação de Cruzamento Rodociclovário (MCC)**, conforme especificado no Volume IV do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (Sinalização Horizontal).

2.4 Aspectos legais

As mensagens da sinalização semafórica de regulamentação são imperativas e seu desrespeito constitui infração, conforme Capítulo XV do CTB.

2.5 Componentes da sinalização semafórica

Os principais componentes da sinalização semafórica são descritos a seguir.

2.5.1 Semáforo (também denominado grupo focal)

Elemento que fornece informações aos condutores de veículos e aos pedestres através de indicações luminosas. É constituído por um conjunto de focos dispostos conforme apresentado nas Tabelas 3.4 e 3.5. Os principais elementos constituintes dos focos semafóricos são mostrados na Figura 3.1.

a) Foco semafórico

Unidade que fornece indicação luminosa, formada pelos seguintes elementos: conjunto óptico, máscara, pestana ou cobre-foco e caixa porta-foco.

CONJUNTO ÓPTICO - É formado pela lente, fonte de luz e, quando necessário, refletor.

- ✓ **LENTE** - É o elemento colocado em frente à fonte de luz para proteger os elementos internos do foco contra impactos, sujeira e intempéries e, quando necessário, homogeneizar a distribuição da luz e dirigir o feixe luminoso aos respectivos usuários. Quando utilizada fonte de luz branca, a lente tem a função de definir a cor da indicação luminosa.

- ✓ FONTES DE LUZ - As fontes de luz usualmente utilizadas são:
 - Lâmpada incandescente com filamento reforçado;
 - Lâmpada halógena;
 - Módulo ou lâmpada de LEDs (Diodos emissores de luz)
- ✓ REFLETOR – Elemento destinado a dirigir o fluxo luminoso da fonte de luz.

MÁSCARA - É o elemento colocado sobre a lente para proporcionar a visualização do símbolo ou pictograma (seta, silhueta boneco andando/parado, mão espalmada, bicicleta e "X"). As máscaras são opcionais quando utilizado um conjunto de LEDs, pois o símbolo ou pictograma pode ser obtido pela disposição dos LEDs no formato desejado.

PESTANA OU COBRE-FOCO - Superfície de forma semicilíndrica ou retangular, em cor preta fosca ou cinza fosca, acompanhando a cor da caixa porta-focos. Deve ser colocada sobre o foco, com o objetivo de reduzir a incidência da luz solar sobre a lente para melhoria da condição de contraste. A pestana também pode colaborar para reduzir a intervisibilidade de focos dirigidos a correntes de tráfego conflitantes.

CAIXA PORTA-FOCO – Elemento onde são fixados os conjuntos ópticos, na cor preta fosca ou cinza fosca.

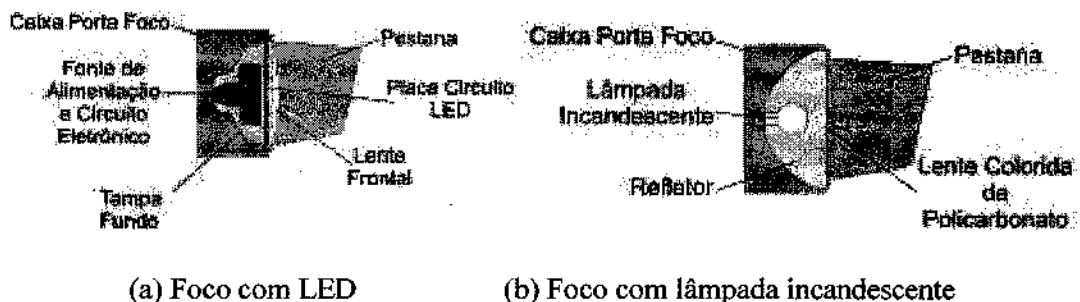


Figura 3.1: Elementos constituintes dos focos semafóricos

b) Anteparo

Anteparo é um painel que emoldura o grupo focal com o objetivo de melhorar a visibilidade em relação à incidência solar, e/ou destacar a sinalização da paisagem urbana. Em semáforo instalado em suporte projetado sobre a via **deve** ser utilizado anteparo. Em semáforo instalado em coluna simples o uso do anteparo é opcional. A cor do anteparo **deve** ser preta fosca. As Figuras 3.2 e 3.3 apresentam, respectivamente, anteparos sem orla e com orla interna na cor branca ou amarela, com e sem tarja branca junto à posição do foco amarelo.



Figura 3.2: Exemplos de anteparo sem orla

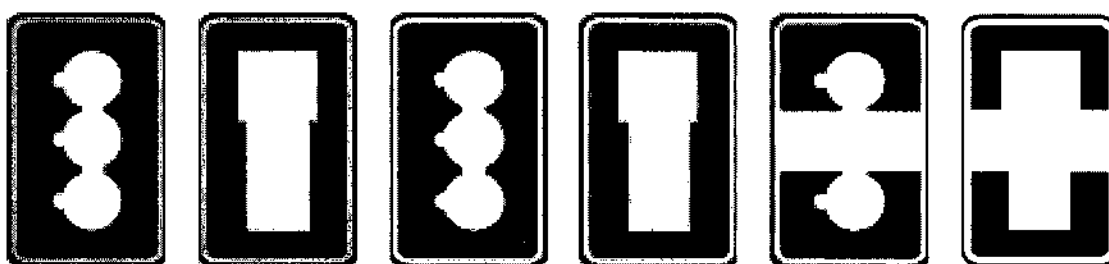


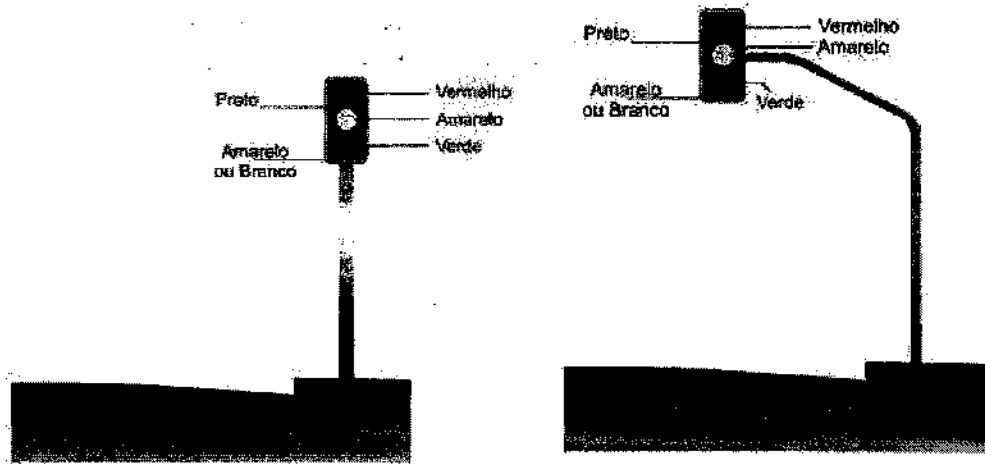
Figura 3.3: Exemplos de anteparo com orla interna

2.5.2 Elementos de sustentação

São elementos que têm a função de sustentar os semáforos, como por exemplo: colunas, braços projetados, cordoalhas e pórticos. Esses elementos **devem** ser na cor cinza ou preta fosca e suas características **não devem** comprometer a visibilidade do grupo focal.

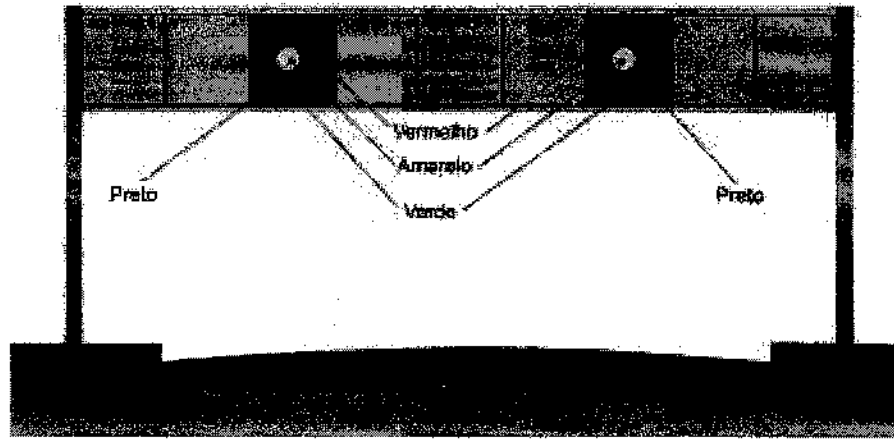
O tipo de elemento de sustentação a ser utilizado depende da definição de alguns fatores a serem considerados na fase de projeto. Dentre esses fatores, destaca-se: necessidade de projeção sobre a via, características geométricas do local, dimensionamento da carga a ser suportada, velocidade dos ventos, condições de visibilidade, composição do tráfego e largura das vias.

Na Figura 3.4 são apresentados desenhos ilustrativos de diferentes tipos de elementos de sustentação. A orientação quanto ao posicionamento desses elementos na via é fornecida no Capítulo 10 do presente Manual.

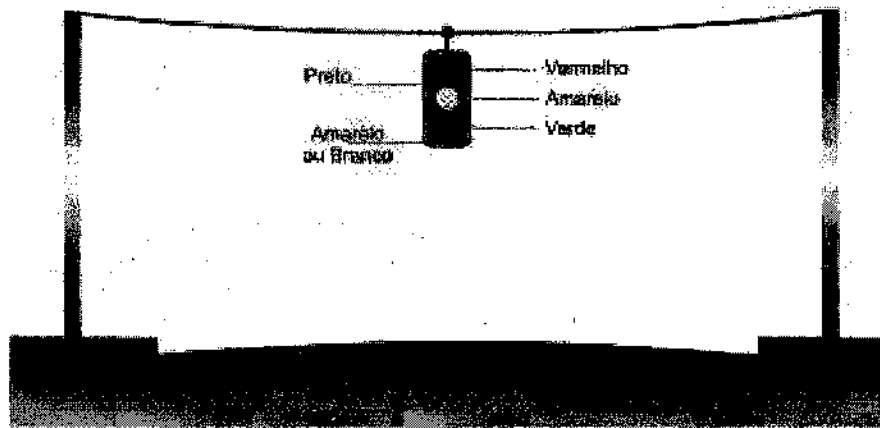


(a) Coluna

(b) Braço projetado



(c) Pórtico



(d) Cordoalha

Figura 3.4: Elementos de sustentação

2.5.3 Controladores semafóricos

São os equipamentos programáveis que comandam as trocas das indicações luminosas dos grupos focais. Em relação à tecnologia empregada, os controladores dividem-se em eletromecânicos e eletrônicos.

CONTROLADORES ELETROMECAÑICOS – são constituídos por elementos elétricos e mecânicos. Sua programação é implementada a partir de uma combinação de recursos mecânicos. Na maioria das vezes comportam apenas uma programação semafórica e possuem recursos operacionais limitados.

CONTROLADORES ELETRÔNICOS – são constituídos por componentes elétricos e eletrônicos. Sua programação é implementada a partir de recursos computacionais do equipamento. Este tipo de tecnologia permite que os equipamentos disponham de recursos de programação que facilitam as soluções de engenharia. Diferentes tipos de controladores eletrônicos estão relacionados às diferentes estratégias de controle do tráfego, conforme apresentado no item 5.2 do presente Manual.

2.5.4 Detectores de tráfego

São dispositivos que têm a função de detectar a demanda de tráfego (veículos motorizados, não motorizados e pedestres) em determinado local.

Existem diferentes tecnologias utilizadas para este tipo de dispositivo que são escolhidas de acordo com a necessidade funcional e com as características de cada local.

2.5.4.1 Laços Detectores Indutivos

Dentre os tipos de dispositivos mais utilizados para a detecção do tráfego veicular destacam-se os laços detectores indutivos (ver Figura 3.5). Esses dispositivos são constituídos por cabos metálicos inseridos no pavimento, construídos geralmente na forma retangular, e conectados a circuitos eletrônicos dos controladores. Nesses laços circula corrente elétrica que forma um campo magnético, o qual sofre alterações quando da passagem ou presença de massa metálica, alterações estas que indicam aos controladores a passagem ou presença dos veículos.

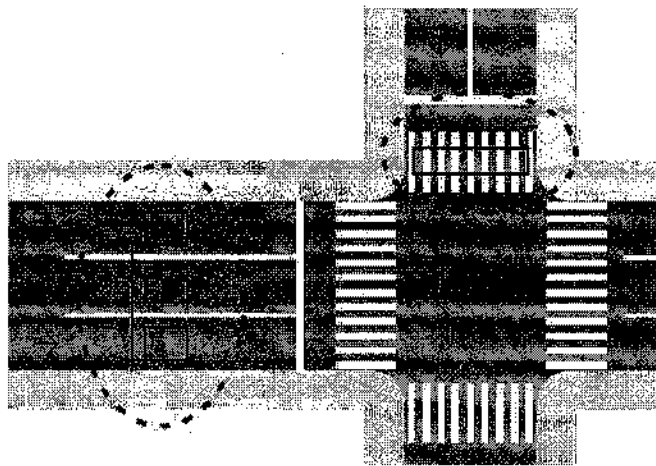


Figura 3.5: Exemplo de laços indutivos empregados para detecção veicular

2.5.4.2 Botoeiras

São dispositivos que têm a função de detectar a solicitação de pedestres em determinado local (ver Figura 3.6). A botoeira é acionada manualmente pelo pedestre para que sua presença seja detectada, de forma que o tempo de travessia associado a essa demanda seja implementado pelo controlador de tráfego. Deve ser utilizada sinalização educativa que indique ao pedestre a necessidade de acionar a botoeira para realizar a travessia (ver exemplos da Figura 3.7). No Apêndice 1 são apresentados os pictogramas a serem utilizados nessa sinalização.

Eventualmente a botoeira pode ser utilizada em sinalização semafórica veicular para acionar saídas de veículos de emergência.

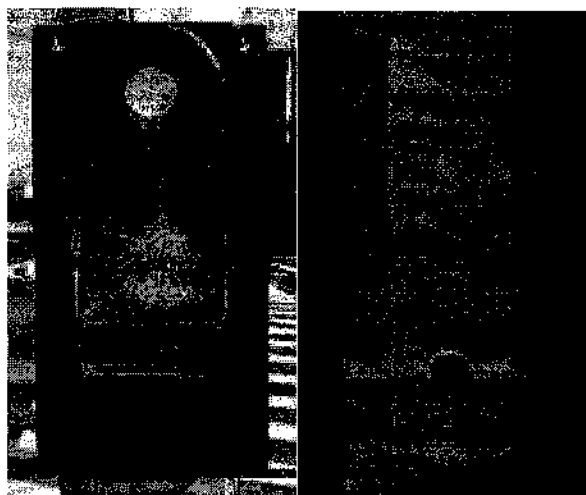


Figura 3.6: Exemplos de botoeira



Figura 3.7: Exemplo de sinalização educativa para uso da botoeira pelo pedestre

2.5.4.3 Laços Virtuais por tratamento de imagem

O princípio de funcionamento da videodetecção é o de utilizar o sinal de vídeo como entrada para a unidade detectora.

A configuração do sistema de videodetecção consiste em sobrepor zonas de detecção em posições adequadas sobre a imagem da via visualizada no monitor de vídeo (ver Figura 3.8). À medida que os veículos percorrem a via cruzando as zonas de detecção configuradas elas são ativadas pela mudança do padrão da imagem do vídeo, resultando na detecção dos veículos.



Figura 3.8: Representação de imagem de vídeo com zonas de detecção configuradas na tela do monitor

2.5.4.4 Detectores por microondas

Os detectores que utilizam o processo de Sensor Remoto de Tráfego a Micro-ondas (**RTMS - Remote Traffic Microwave Sensor**) são equipamentos projetados para aplicações de tráfego que medem a distância dos objetos na trajetória de seu feixe de microondas. A capacidade de seletividade permite que o equipamento detecte veículos estacionários e móveis em diversas zonas de detecção.

Quando apontado para uma via, o feixe de microondas do equipamento projeta no pavimento uma superfície oval, cuja largura depende do modo operacional selecionado, do ângulo de montagem do sensor e da distância do sensor (ver Figura 3.9).

O equipamento tem duas configurações de montagem típicas (transversal e longitudinal) e vários modos de operação. Para aplicação em detecção na sinalização semafórica o equipamento geralmente é posicionado transversalmente à via, como ilustrado na Figura 3.10. Nesse caso, o detector está montado em suporte à margem da via com sua superfície oval apontada em ângulo reto para as faixas de rolamento. Os segmentos de seletividade correspondentes à localização das faixas de rolamento são definidos como zonas de detecção, fazendo parte do processo de configuração.

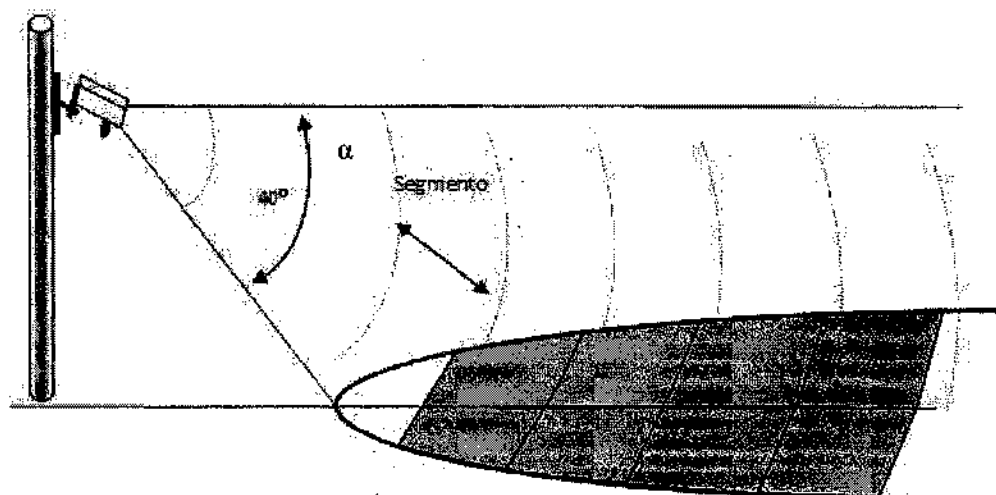


Figura 3.9: Feixe de microondas do RTMS e sua superfície oval

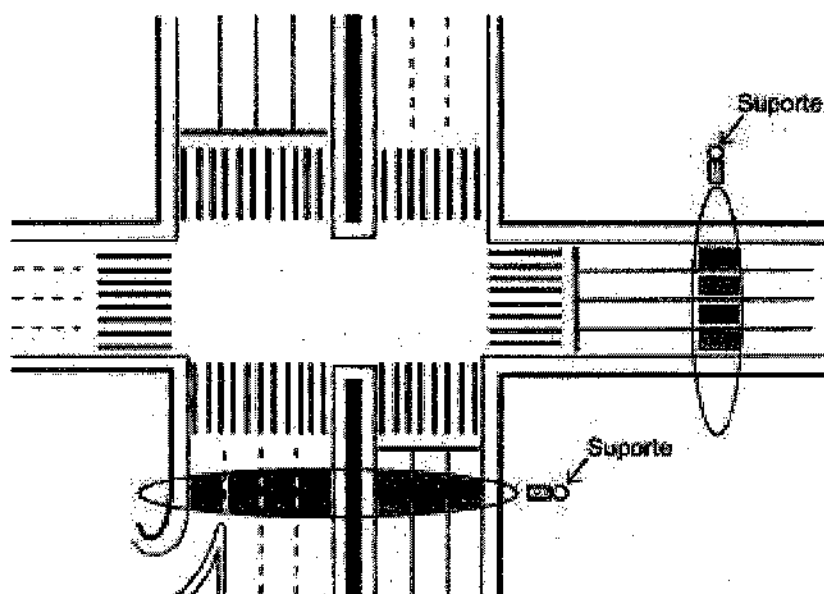


Figura 3.10: Ilustração da configuração transversal de detectores por microondas

2.5.4.5 Detecção magnética

Técnica de detecção de veículos, baseada no princípio da perturbação que os elementos metálicos provocam no campo magnético terrestre. Quando o veículo passa sobre o detector magnético sua massa metálica causa a distorção das linhas de força magnética. A Figura 3.11 ilustra a perturbação provocada no campo magnético terrestre devido à passagem de um veículo.

Normalmente, os detectores magnéticos não são capazes de reconhecer veículos parados ou em velocidades inferiores a 10 ou 15 km/h, pois necessitam que o padrão magnético se altere significativamente ao longo do tempo para conseguir determinar a detecção. Como têm um campo de ação bastante limitado, necessitam ser posicionados diretamente sob a corrente de trânsito que se quer detectar.

Esses detectores são fixados na superfície do pavimento, o que permite que sejam utilizados tanto em caráter permanente como temporário. Suas dimensões são usualmente da ordem de 12 cm de largura por 20 cm de comprimento e 2 cm de altura. São utilizados para controle de sinalização semafórica, contagens classificadas, detecção de presença e medição de velocidade. O uso do equipamento em aplicações temporárias é adequado devido à facilidade da sua instalação e retirada.

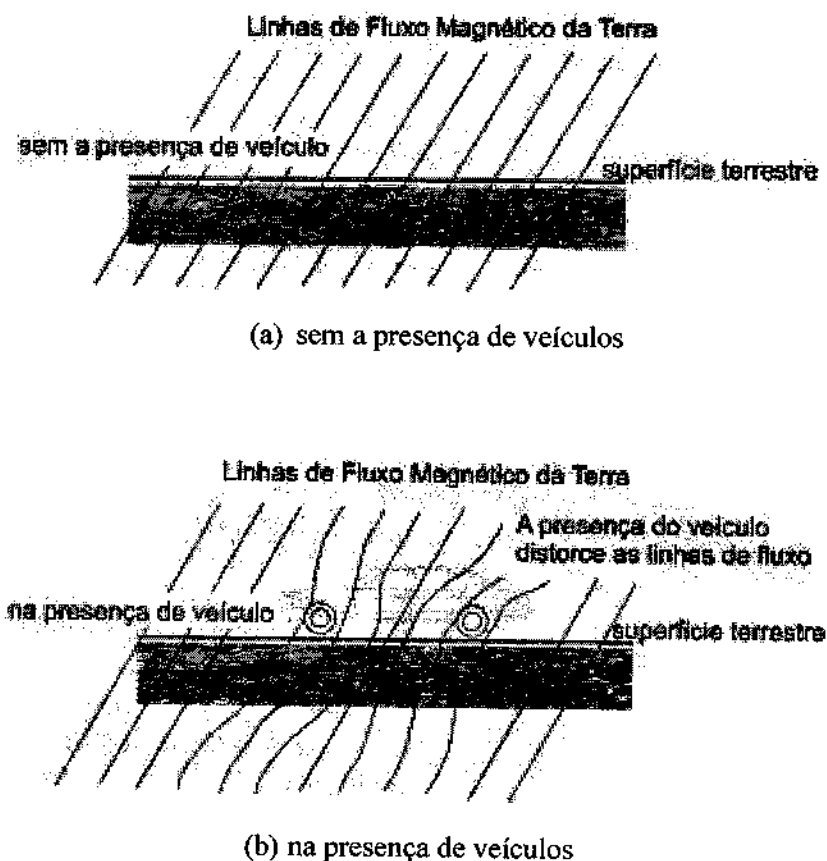


Figura 3.11: Ilustração da perturbação do campo magnético terrestre provocada pela passagem de um veículo (Fonte: adaptada de Traffic Detector Handbook, FHWA, 2006)

2.5.4.6 Detecção por radiação infravermelha

Técnica de detecção de veículos e pedestres fundamentada em dois tipos de captação:

a) **detecção ativa:** o detector envia o sinal que é refletido pelos veículos ou pedestres e captado, em seguida, pelo mesmo detector. O equipamento “ilumina” a zona de detecção na faixa infravermelha e captura as ondas refletidas pelos veículos, pelos pedestres, pela pista de rolamento ou por outros elementos próximos.

b) **detecção passiva:** não há emissão de energia pelo detector. O equipamento capta a radiação infravermelha gerada por outras fontes (por exemplo, raios solares), e refletida pelos veículos ou pedestres (Figura 3.12).

Esses detectores podem ser posicionados ao lado da via ou sobre a mesma. São utilizados para controle de sinalização semafórica, contagens classificadas de veículos, detecção de presença, medição de velocidade, identificação de pedestres bem como transmissão de informações aos condutores.

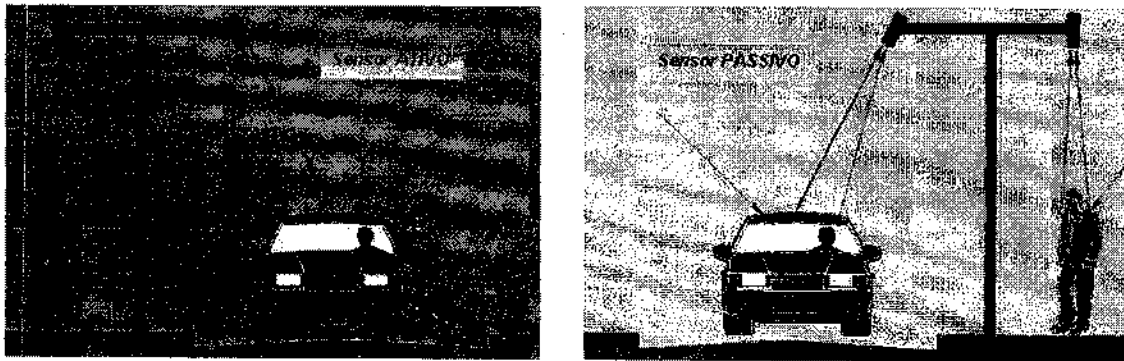


Figura 3.12: Emissão e reflexão de energia por veículos e superfície viária

2.5.4.7 Detecção ultrassônica

Técnica de detecção de veículos onde o detector emite energia com frequência ultrassônica que é refletida pelo veículo e captada, a seguir, por um sensor.

Os detectores ultrassônicos são posicionados sobre a pista de rolamento ou na lateral da mesma (ver Figura 3.13). Sua operação consiste em transmitir, repetidamente, pulsos de energia em direção ao pavimento e medir o tempo que cada pulso leva para retornar ao equipamento. Quando não há presença de veículos, esse tempo é função da distância entre o detector e o pavimento, portanto, fixo para cada situação. Quando ocorre uma passagem, o tempo varia em função da altura do veículo, o que possibilita, inclusive, a sua classificação.

As aplicações possíveis são: controle de sinalização semafórica, contagem classificada, detecção de presença e cálculo da taxa de ocupação. Esse sistema de detecção permite medir velocidades utilizando dois feixes próximos, formando um pequeno ângulo entre si. O intervalo entre a passagem pelos dois feixes permite calcular, com bastante precisão, a velocidade do veículo.

É possível realizar a medição da velocidade utilizando o princípio do Efeito Doppler, onde é medida a defasagem entre a onda emitida e a onda refletida. Nesse caso, um único feixe é suficiente. Entretanto, os detectores baseados no Efeito Doppler têm o inconveniente de serem muito imprecisos na mensuração de velocidades baixas, chegando a ser totalmente insensíveis a veículos parados.



Figura 3.13: Formas de posicionamento dos detectores ultrassônicos

3 CRITÉRIOS GERAIS PARA IMPLANTAÇÃO DA SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA

Este capítulo aborda um dos principais aspectos da sinalização semafórica, que é a decisão relativa à utilização ou não dessa sinalização em locais onde o conflito dos diferentes usuários da via requer a adoção de medidas de controle. A partir dos conceitos relacionados aos movimentos numa interseção, o capítulo apresenta os critérios para a implantação da sinalização semafórica de regulamentação e para seu uso como sinalização semafórica de advertência. Aborda, também, a operação de sinalização semafórica em tempo parcial.

3.1 Estudo dos movimentos numa interseção

Para efeito do presente Manual, as vias que se interceptam em uma interseção são classificadas em principais e secundárias. Denomina-se via principal aquela que tem maior volume de tráfego em relação àquelas que a interceptam. As demais vias são denominadas secundárias.

3.1.1 Definições

O termo **movimento**, numa interseção ou trecho viário localizado em meio de quadra, é usado para identificar o fluxo de veículos que têm a mesma origem e mesmo destino, e/ou o fluxo de pedestres que se deslocam na mesma direção, mas não necessariamente no mesmo sentido. Graficamente, o movimento é representado por traço e seta, onde o traço indica a direção e a seta indica o sentido.

A Figura 4.1 ilustra a interseção de duas vias de mão única com movimentos veiculares (MV) e de pedestres (MP). Os movimentos MV1 e MV2 possuem mesma origem, porém destinos diferentes. O mesmo ocorre com os movimentos MV3 e MV4.

Os movimentos MP1 e MP2 compõem-se, cada um deles, de dois fluxos de mesma direção e sentidos opostos. Na Tabela 4.1 estão indicados os movimentos veiculares que interferem em cada um dos movimentos de pedestres considerados.

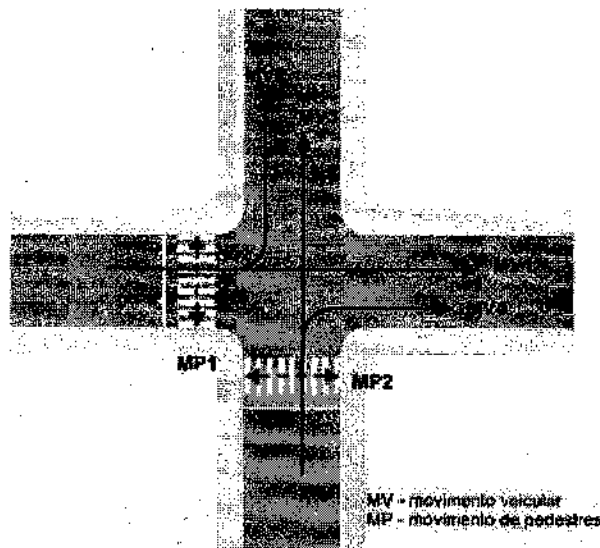
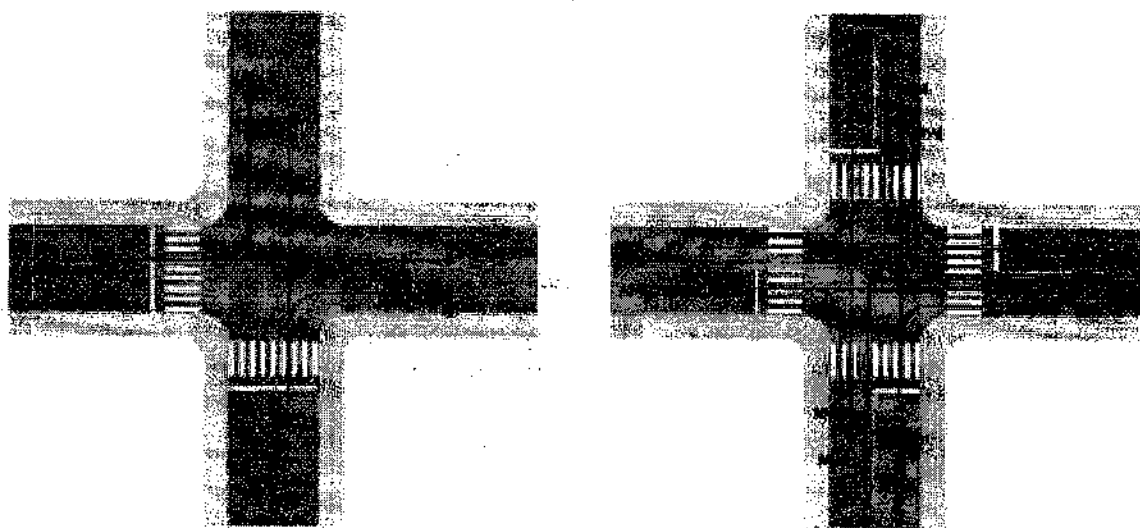


Figura 4.1: Representação de movimentos em uma interseção de duas vias de mão única

Tabela 4.1: Movimentos veiculares que interferem com os movimentos de pedestres

MOVIMENTOS	MV1	MV2	MV3	MV4
MP1	x	x		
MP2			x	x

Os trechos de via por onde os veículos chegam à interseção são denominados **aproximações** da interseção. A Figura 4.2 ilustra as aproximações numa interseção de duas vias de mão única e numa interseção de duas vias de mão dupla. A área da interseção, onde os movimentos veiculares oriundos das diferentes aproximações podem interferir entre si, é denominada **área de conflito**.



(a) Interseção de vias de mão única

(b) Interseção de vias de mão dupla

Figura 4.2: Representação das aproximações de interseções

Os movimentos em uma interseção, quanto à interação de suas trajetórias, podem ser classificados como:

- a) **Convergentes:** são movimentos que têm origem em diferentes aproximações e possuem mesmo destino (Figura 4.3);
- b) **Divergentes:** são movimentos que têm origem na mesma aproximação e possuem destinos diferentes (Figura 4.4);
- c) **Interceptantes:** são movimentos que têm origem em aproximações diferentes e que se cruzam em algum ponto da área de conflito (Figura 4.5);
- d) **Não-interceptantes:** são aqueles cujas trajetórias não se encontram em nenhum ponto da área de conflito (Figura 4.6).

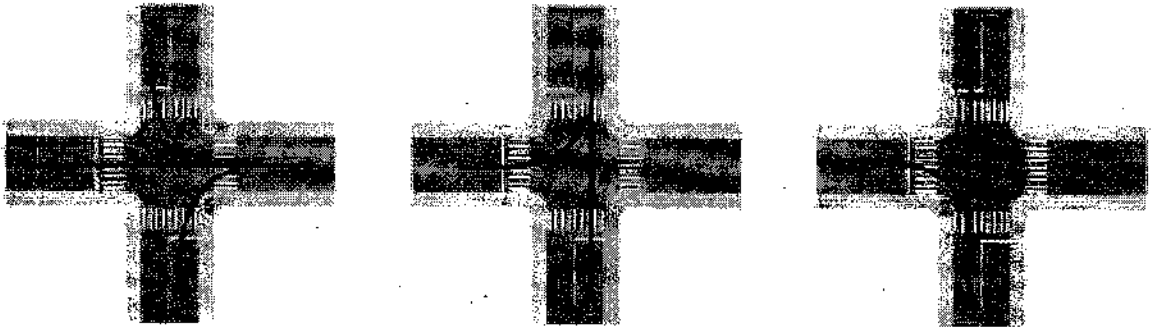


Figura 4.3: Movimentos convergentes

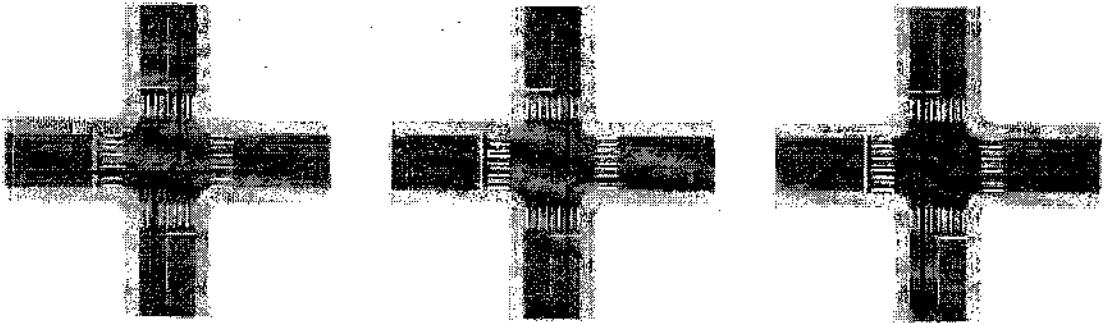


Figura 4.4: Movimentos divergentes

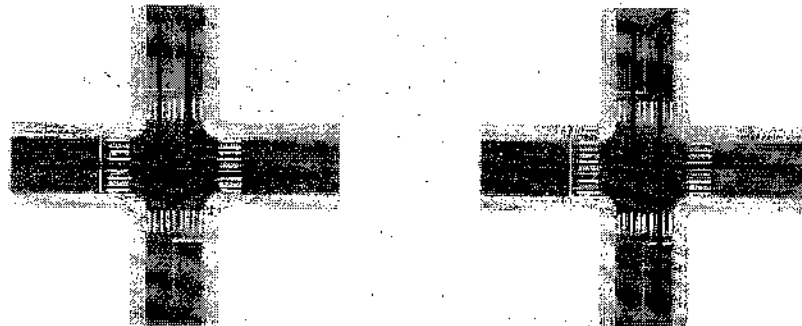
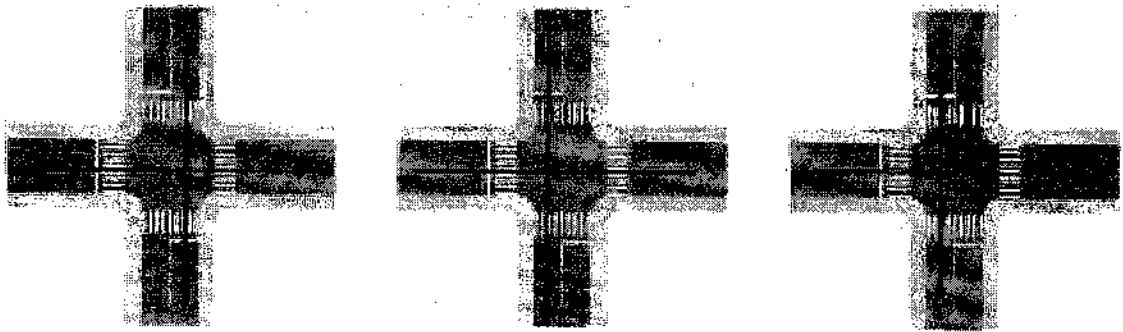


Figura 4.5: Movimentos interceptantes

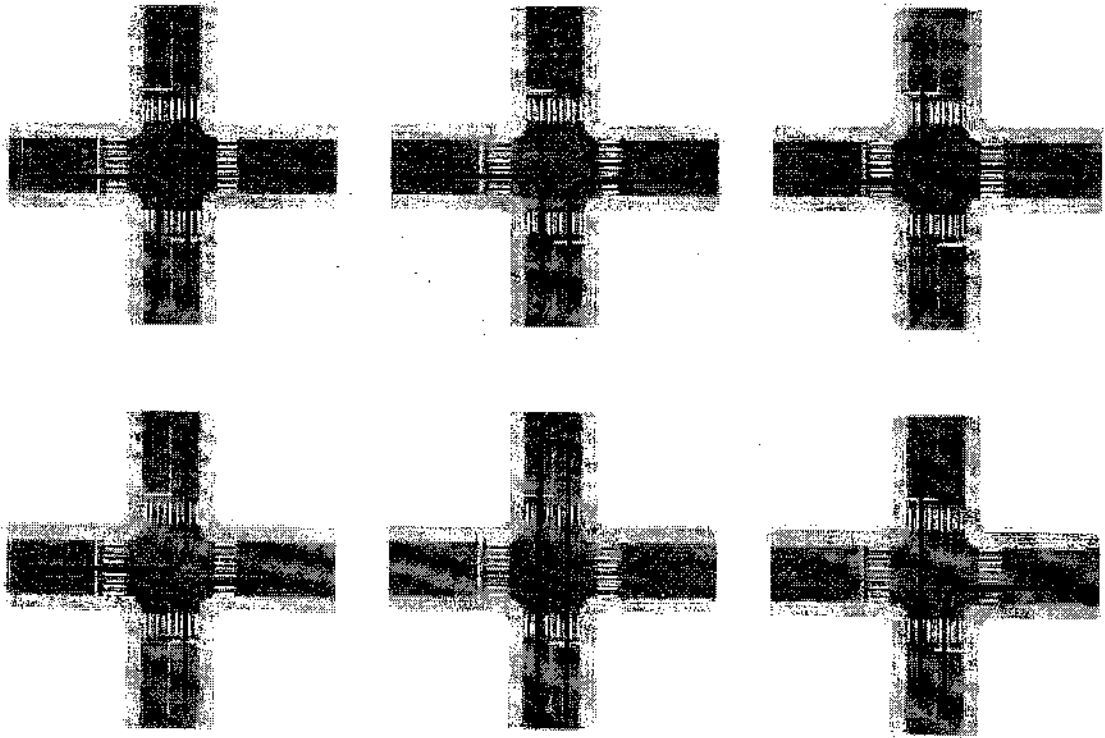
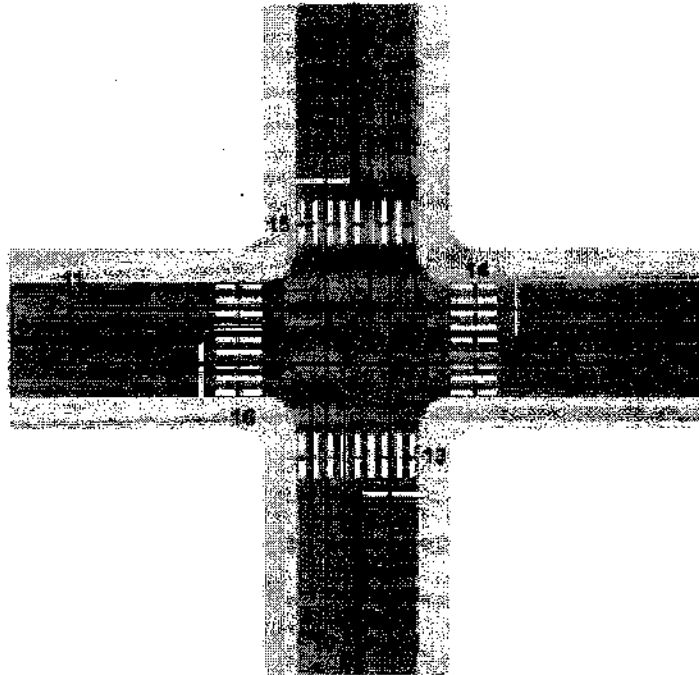


Figura 4.6: Movimentos não-interceptantes

Os movimentos, quanto à interação das suas trajetórias para efeito do controle semafórico, podem ser classificados como:

- a) **Conflitantes:** movimentos com origens diferentes cujas trajetórias se interceptam ou convergem em algum ponto da área de conflito.
- b) **Não-conflitantes:** movimentos cujas trajetórias não se interceptam nem convergem em nenhum ponto da área de conflito.

A análise dos conflitos presentes em uma dada interseção **deve** ser realizada com base na elaboração de um **diagrama de conflitos**. Esse diagrama consiste na representação esquemática da geometria da interseção, com a indicação de suas aproximações, sobre a qual são registrados todos os movimentos veiculares que ocorrem na área da interseção. Nesse diagrama também **devem** ser representados os movimentos de travessia de pedestres nas aproximações, mostrando seus conflitos com os movimentos veiculares. Um exemplo desse tipo de diagrama é mostrado na Figura 4.7, com a indicação dos movimentos veiculares conflitantes mostrada na Tabela 4.2. A Tabela 4.3 mostra a classificação dos movimentos da Figura 4.7 com relação à trajetória.



1, 2, 3... 16 são movimentos de tráfego

Figura 4.7: Exemplo de um diagrama de conflitos

Tabela 4.2: Movimentos conflitantes apresentados na Figura 4.7

MOV.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1				x	x	x			x	x		x		x		x
2									x	x			x			x
3				x		x	x	x	x	x		x			x	x
4	x		x				x	x	x			x	x		x	
5	x											x	x	x		
6	x		x				x		x	x	x	x	x			x
7			x	x		x				x	x	x		x		x
8			x	x										x	x	
9	x	x	x	x		x				x		x	x	x		
10	x	x	x			x	x		x				x		x	
11						x	x								x	x
12	x		x	x	x	x	x		x					x	x	
13		x		x	x	x			x	x						
14	x				x		x	x	x			x				
15			x	x				x		x	x	x				
16	x	x	x			x	x				x					

Tabela 4.3: Classificação dos movimentos segundo a trajetória

MOV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		DIV	DIV	INT	CON	INT	NI	NI	INT	INT	NI	CON	NI	INT	NI	INT
2	DIV		DIV	NI	NI	NI	NI	NI	CON	CON	NI	NI	INT	NI	NI	INT
3	DIV	DIV		CON	NI	INT	INT	CON	INT	INT	NI	INT	NI	NI	INT	INT
4	INT	NI	CON		DIV	DIV	INT	CON	INT	NI	NI	INT	INT	NI	INT	NI
5	CON	NI	NI	DIV		DIV	NI	NI	NI	NI	NI	CON	INT	INT	NI	NI
6	INT	NI	INT	DIV	DIV		CON	NI	INT	INT	CON	INT	INT	NI	NI	INT
7	NI	NI	INT	INT	NI	CON		DIV	DIV	INT	CON	INT	NI	INT	NI	INT
8	NI	NI	CON	CON	NI	NI	DIV		DIV	NI	NI	NI	NI	INT	INT	NI
9	INT	CON	INT	INT	NI	INT	DIV	DIV		CON	NI	INT	INT	INT	NI	NI
10	INT	CON	INT	NI	NI	INT	INT	NI	CON		DIV	DIV	INT	NI	INT	NI
11	NI	NI	NI	NI	NI	CON	CON	NI	NI	DIV		DIV	NI	NI	INT	INT
12	CON	NI	INT	INT	CON	INT	INT	NI	INT	DIV	DIV		NI	INT	INT	NI
13	NI	INT	NI	INT	INT	INT	NI	NI	INT	INT	NI	NI		NI	NI	NI
14	INT	NI	NI	NI	INT	NI	INT	INT	INT	NI	NI	INT	NI		NI	NI
15	NI	NI	INT	INT	NI	NI	NI	INT	NI	INT	INT	INT	NI	NI		NI
16	INT	INT	INT	NI	NI	INT	INT	NI	NI	NI	INT	NI	NI	NI	NI	

Legenda: CON: convergentes; DIV: divergentes; INT: interceptantes; NI: não-interceptantes

3.1.2 Gerenciamento de conflitos

O gerenciamento de conflitos deve ser baseado em uma rotina de análise, que abrange: identificação do problema, determinação das causas prováveis e proposta de soluções. A Tabela 4.4 apresenta alguns exemplos da aplicação dessa rotina.

Tabela 4.4: Exemplos de problemas em interseções e possíveis soluções

PROBLEMA	CAUSAS PROVÁVEIS	SOLUÇÕES POSSÍVEIS	EXEMPLOS DE MEDIDAS QUE PODEM SER ADOTADAS
Fila excessiva de veículos para transpor uma interseção	O condutor não enxerga as brechas no fluxo a ser transposto e não as aproveita	melhoria das condições de visibilidade	Remoção de interferências visuais;
			Adequação de geometria para melhor posicionamento dos veículos
	Não há brechas suficientes para a transposição pela quantidade de veículos que desejam fazê-lo	melhor aproveitamento das brechas existentes	Aumento da capacidade da aproximação, através de proibição de estacionamento ou alargamento de pista;
			Alteração de geometria Implantação de sinalização semafórica
	Muitos movimentos conflitantes	alternância do direito de passagem	Implantação de minirrotatórias
			Implantação de sinalização semafórica
Muitos movimentos conflitantes	redução dos conflitos	Proibição de movimentos	
		Implantação de rotatória ou minirrotatória Alteração de circulação Implantação de sinalização semafórica	
Ocorrência de acidentes ou risco potencial de acidentes	O condutor não enxerga as brechas e transpõe a intersecção em condições impróprias	melhoria das condições de visibilidade	Remoção de interferências visuais
			Avanço do alinhamento da via perpendicular por meio de construção de avanço de calçada e implantação de linha de retenção ou de continuidade do alinhamento
	Não há brechas para transposição	alternância do direito de passagem	Implantação de rotatória ou minirrotatória
			Implantação de sinalização semafórica
	As velocidades de aproximação são elevadas ou há dificuldade para avaliar a velocidade de aproximação de veículos da transversal	redução da velocidade de aproximação	Implantação de sinalização de regulamentação de velocidade
			Implantação de fiscalização de velocidade
			Implantação de redutores de velocidade
			Implantação de sinalização semafórica
	As normas de preferência de passagem não são respeitadas	definição das regras por meio de sinalização	Definição da preferencial por meio de sinal R-1 – Parada Obrigatória ou R-2 – Dê a Preferência
			Redefinição da via preferencial – inversão da sinalização de preferência de passagem
Implantação de sinalização semafórica de advertência			
Implantação de rotatória ou minirrotatória Implantação de sinalização semafórica de regulamentação			
Muitos movimentos conflitantes	redução dos conflitos	Proibição de movimentos por meio de sinalização	
		Implantação de rotatória ou minirrotatória	
		Alteração de circulação Implantação de sinalização semafórica (pares de vias com mão única de circulação, em sentidos opostos)	

3.2 Critérios para implantação da sinalização semafórica

A sinalização semafórica é uma das alternativas para o gerenciamento de conflitos em interseções ou em meio de quadra. Antes de decidir pela implantação de sinalização semafórica, deve ser avaliada sua efetiva necessidade, considerando a viabilidade da adoção de outras medidas alternativas, tais como as relacionadas a seguir:

- a) Definição da preferência de passagem;
- b) Remoção de interferências que prejudiquem a visibilidade;
- c) Melhoria na iluminação;
- d) Adequação das sinalizações horizontal e vertical;
- e) Redução das velocidades nas aproximações;
- f) Adequação na geometria;
- g) Proibição de estacionamento;
- h) Implantação de refúgios para pedestres;
- i) Alteração de circulação;
- j) Inversão da preferência de passagem;
- k) Implantação de minirrotatórias;
- l) Direcionamento dos pedestres para locais de travessia seguros;
- m) Reforço da sinalização de advertência.

O uso apropriado da sinalização semafórica produz impactos positivos no controle de trânsito, apresentando muitas vantagens. Entretanto, quando utilizada de forma inadequada, contrariando os Princípios da Sinalização de Trânsito, apresenta consequências que causam prejuízos ao desempenho e segurança do trânsito.

Na Tabela 4.5 são apresentadas as principais consequências da implantação da sinalização semafórica, quando justificada e não justificada por critérios técnicos.

Tabela 4.5: Consequências da implantação da sinalização semafórica

IMPLANTAÇÃO JUSTIFICADA	IMPLANTAÇÃO NÃO JUSTIFICADA
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento da segurança viária ✓ Melhoria da fluidez do trânsito, na medida em que promove distribuição adequada dos tempos destinados a cada movimento ✓ Controle do direito de passagem dos movimentos de veículos e pedestres com a consequente redução de conflitos ✓ Redução de atrasos ✓ Credibilidade por parte dos usuários em relação à sinalização 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento de ocorrência de acidentes de trânsito ✓ Imposição de atrasos excessivos ✓ Indução ao desrespeito à sinalização devido à ociosidade na operação ✓ Descrédito em relação à sinalização ✓ Gastos desnecessários de recursos públicos

O estudo para definir a necessidade da implantação da sinalização semafórica e, posteriormente, avaliar a sua eficácia, deve ser realizado de acordo com os procedimentos indicados na Figura 4.8.

Todos os documentos referentes à realização desse estudo **devem** ser reunidos e organizados em um relatório técnico, a fim de subsidiar o gestor de trânsito em sua decisão de implantar a sinalização semafórica e servir como histórico para consultas futuras.

No caso do estudo da implantação de sinalizações semafóricas em locais em fase de projeto, dentre os quais locais que poderão sofrer alterações de geometria e/ou sinalização, as duas etapas iniciais do procedimento **devem** ser substituídas por avaliações baseadas em estudos de previsão de demanda e em prognósticos sobre as características da operação do tráfego.

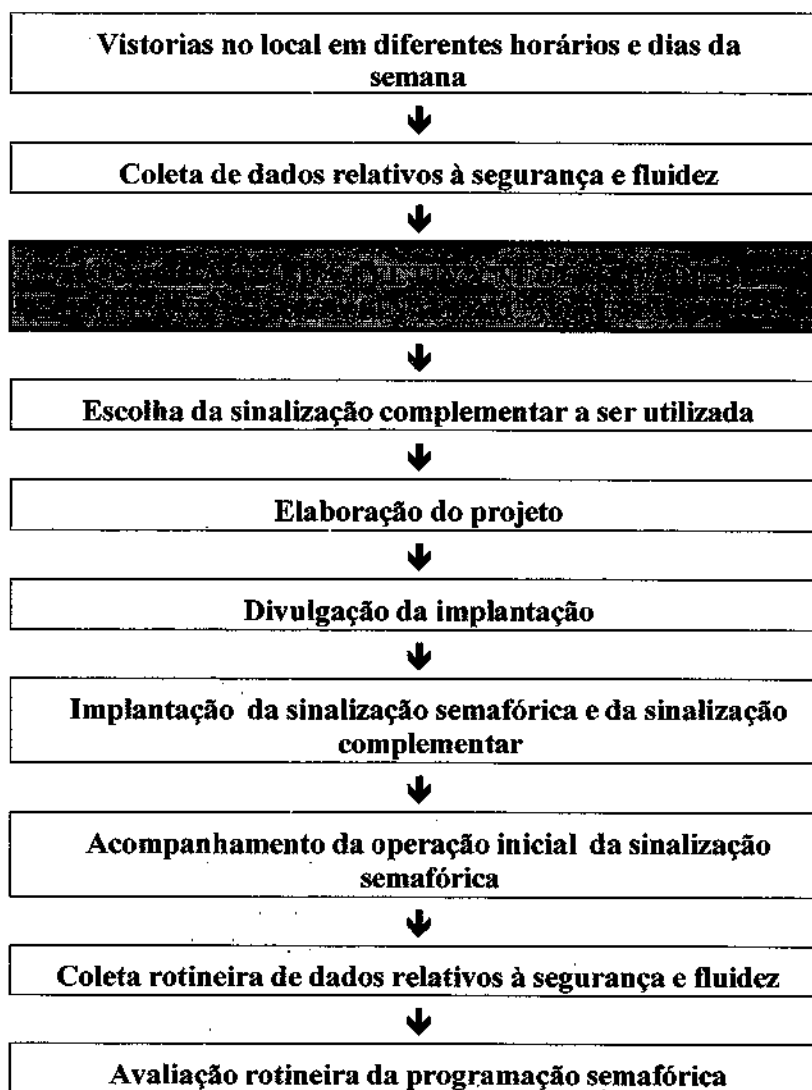
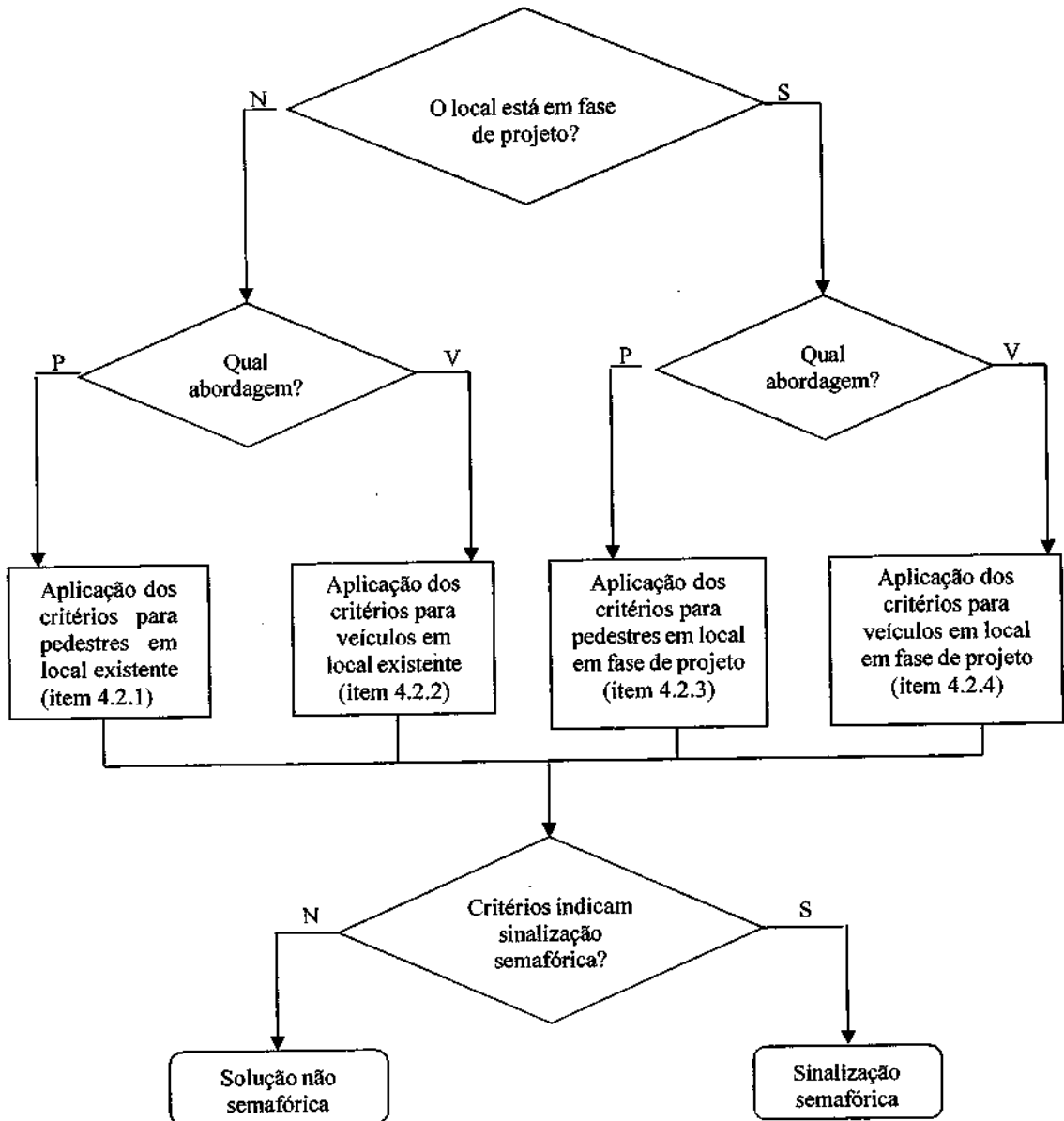


Figura 4.8: Procedimentos para a implantação e avaliação da sinalização semafórica

Os critérios estabelecidos para a implantação da sinalização semafórica levam em conta, inicialmente, se o local em estudo está em fase de projeto. A partir dessa condição deve ser definida a abordagem principal do estudo, em termos do tipo de usuário que será prioritariamente considerado: veículo ou pedestre. A abordagem referente ao usuário ciclista será tratada em manual específico. No fluxograma da Figura 4.9 é apresentada a estrutura geral para a realização do estudo para implantação de sinalização semafórica.



Legenda: S=Sim; N=Não; V= Veículo; P= Pedestre

Figura 4.9: Estrutura geral do estudo

O estudo para a implantação de sinalização semafórica, baseado nos critérios apresentados a seguir, **deve** levar em conta também o julgamento do especialista em trânsito, sobretudo em situações mais complexas. Nesses casos, técnicas mais elaboradas para a análise do impacto da sinalização semafórica sobre o desempenho do tráfego na interseção podem ser empregadas. Dentre essas técnicas, o uso de simuladores de tráfego se destaca como uma das mais eficazes e comumente adotadas no meio técnico, especialmente na análise da operação do tráfego em redes viárias.

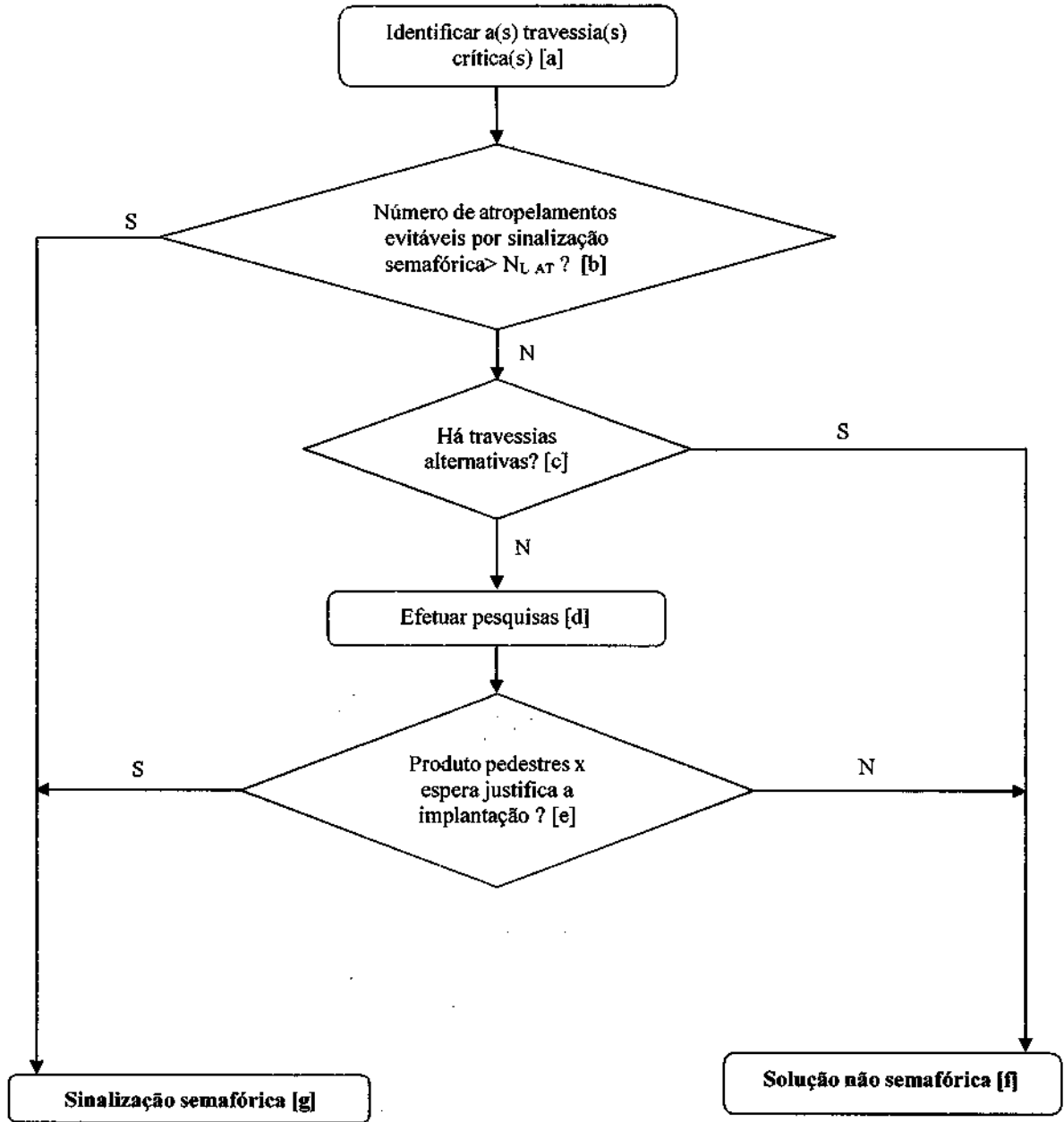
O atendimento da entrada/saída de veículos de emergência e/ou de outras demandas prioritárias **deverá** ser objeto de avaliações operacionais e de segurança específicas. Nesses casos os critérios a seguir apresentados podem ou não ser considerados.

3.2.1 Critérios para estudos em locais existentes: abordagem pedestres

As características da via e do tráfego no local **devem** ser analisadas de modo a identificar se as mesmas impõem restrições de segurança à instalação de sinalização semafórica. Em segmentos viários com velocidades regulamentadas superiores a 70 km/h a interrupção do tráfego por meio de sinalização semafórica compromete a segurança dos veículos e dos próprios pedestres. Nesses casos, se o volume de travessias assim o justificar, **devem** ser adotadas soluções de travessia em desnível. Também em locais nas imediações de curvas horizontais ou verticais, onde exista restrição à visibilidade do condutor ao longo da distância de frenagem, a utilização da sinalização semafórica **deve** ser evitada.

Nas situações anteriormente referidas, caso não seja possível a implantação de travessia em desnível, a velocidade regulamentada **deve** ser reduzida na aproximação das faixas de pedestres, mesmo quando estas se localizam em interseções viárias. Recursos de sinalização horizontal e vertical **devem** ser empregados para garantir que o condutor consiga parar seu veículo em segurança.

O fluxograma da Figura 4.10 apresenta os critérios a serem considerados para verificação da necessidade da implantação de sinalização semafórica sob a ótica dos pedestres, em local onde não estão previstas mudanças nas características atuais de geometria e das áreas adjacentes.



Legenda: S=Sim; N=Não

Figura 4.10: Estudos em locais existentes: abordagem pedestres

Descrição dos blocos do fluxograma:

[a] – Identificar as travessias críticas

No estudo de travessias de pedestres em meio da quadra, **deve-se** considerar que a travessia crítica ocorre na seção onde os pedestres têm mais dificuldade para atravessar ou o número de pedestres cruzando a via é maior. O estudo, quando em intersecção, **deve** considerar esses mesmos aspectos, separadamente, para cada uma das travessias existentes. Essa análise é feita, qualitativamente, a partir de vistorias no local. Geralmente, existe uma ou duas travessias críticas por intersecção. Entretanto, independentemente da quantidade de travessias críticas identificada em uma determinada intersecção, os critérios definidos serão aplicados individualmente a cada travessia e não à soma dos fluxos ou à média dos atrasos de todas elas.

A identificação de travessias críticas **deve** levar em conta, também, aspectos de segurança. As travessias em locais que ofereçam perigos adicionais aos pedestres, seja devido às condições geométricas, seja por causa da velocidade dos veículos, também são consideradas críticas. O mesmo se aplica a locais de travessia utilizados por pedestres cujo deslocamento requer proteção especial (estudantes de escolas de ensino fundamental, frequentadores de instituições de saúde, portadores de necessidades especiais, etc.).

[b] – Número de atropelamentos evitáveis por sinalização semafórica é maior do que N_{LAT} ?

O número mínimo limite de atropelamentos que, por si só, justifica a implantação de sinalização semafórica, N_{LAT} , é igual a 4, observado ao longo dos últimos 3 anos, ou 2 atropelamentos nos últimos 12 meses.

[c] – Há travessias alternativas?

Deve ser verificado se nas proximidades do local em estudo (aproximadamente num raio de 50m) existe possibilidade do pedestre realizar a travessia com segurança e nível aceitável de conforto, considerando-se a rota prevista para o seu deslocamento.

A definição da existência, ou da possibilidade de implantação, de travessias alternativas depende de fatores subjetivos que **devem** ser considerados pelo projetista com base nas características gerais da circulação de pedestres na área onde se insere o local em estudo.

[d] – Efetuar pesquisas

As pesquisas a serem efetuadas nos locais de travessia compreendem: identificação do volume de pedestres por hora, nos dois sentidos, e medição do tempo médio de espera do pedestre para realizar a travessia (em segundos por pedestre). Esses elementos **devem** ser observados ao longo do período crítico para a travessia de pedestres no local, durante tempo igual ou superior a uma hora. Tempos de coleta mais extensos são preferíveis e **devem** ser definidos em função dos recursos disponíveis para a realização da pesquisa.

Os pedestres que efetuam a travessia **devem** ser contados em ambos os sentidos, no entorno de 25m da travessia crítica nos cruzamentos e de 50m da travessia crítica para o meio de quadra. Os procedimentos a serem adotados na pesquisa do tempo médio de espera e na determinação do volume de pedestres na travessia crítica são detalhados no Apêndice 2.

[e] – Produto Pedestres x Tempo Médio de Espera justifica a implantação?

Calcular o produto do volume de pedestres pelo tempo médio de espera para efetuar a travessia crítica, a partir dos resultados obtidos em [d]. Considerando o erro de estimativa deste produto, obter os limites de um intervalo de valores (LI=limite inferior e LS=limite superior) para o mesmo, conforme indicado no Apêndice 2.

Esses limites **devem** ser comparados com o valor de 4.750 pedestres × segundo, por hora, que corresponde a um tempo médio de espera de 25 segundos por um volume de 190 pedestres/hora na travessia.

A verificação da necessidade da implantação da sinalização semafórica **deve** ser feita com base na comparação dos valores limites (LI e LS) com o valor crítico de 4.750 pedestres × segundo, por hora, como segue:

para **$LI > 4.750$ pedestres × segundo, por hora**, a implantação da sinalização semafórica é justificada pelo critério;

para **$LS < 4.750$ pedestres × segundo, por hora**, a implantação da sinalização semafórica não é justificada pelo critério;

para os casos em que **$LI \leq 4.750$ pedestres × segundo, por hora $\leq LS$** , a decisão para implantação da sinalização semafórica fica condicionada a análises complementares por parte do técnico encarregado do estudo.

Esse critério permite contemplar com sinalização semafórica travessias onde o volume de pedestres é reduzido (inferior a 190 pedestres/hora), mas o tempo médio de espera é elevado (superior a 25 segundos), seja devido à intensidade do volume de veículos ou às características geométricas do local, seja pela presença de pedestres com velocidade de travessia reduzida.

[f] – Solução não semafórica

Adotar solução que promova a travessia segura dos pedestres, verificando a necessidade de implantar faixas de travessia devidamente sinalizadas.

[g] – Sinalização semafórica

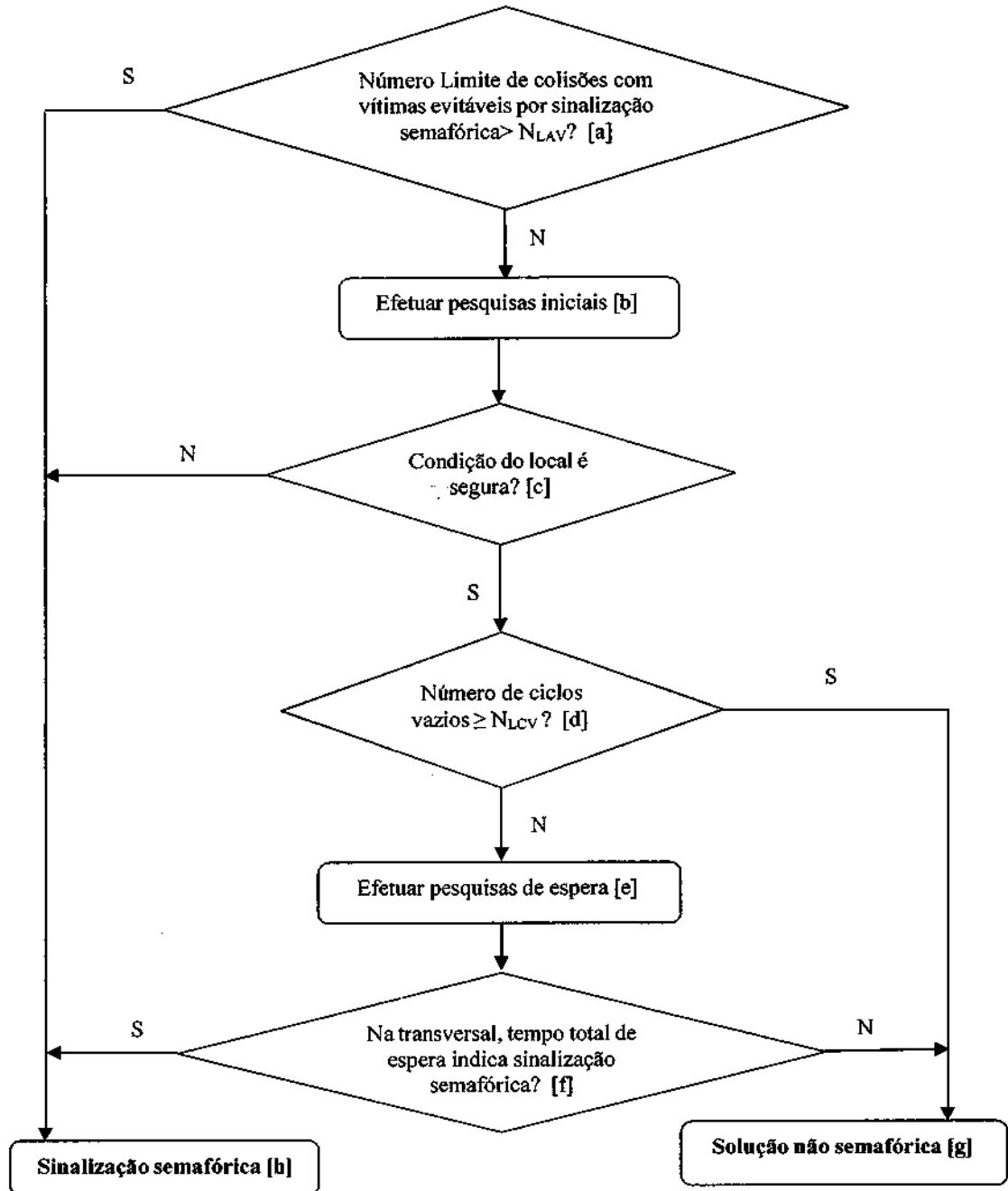
No caso do local estudado estar em meio de quadra, **deve** ser implantada sinalização semafórica acionada pelo pedestre (equipamento dotado de botoeira) ou de tempo fixo (no caso de presença contínua de pedestres).

No caso da travessia crítica estar localizada junto à interseção, **deve** ser feita inicialmente a verificação da possibilidade de acomodar em um mesmo estágio o volume de pedestres e o fluxo veicular. Não sendo possível, **deverá** ser estabelecido um estágio exclusivo para o atendimento dos pedestres.

O dimensionamento do plano semafórico para todas as situações **deve** ser realizado de acordo com os procedimentos apresentados nos Capítulos 7 a 9 deste Manual.

3.2.2 Critérios para estudos em locais existentes: abordagem veículos

O fluxograma da Figura 4.11 apresenta os critérios a serem considerados para verificação da necessidade da implantação de sinalização semafórica sob a ótica da necessidade dos veículos, em local onde não estão previstas mudanças nas características atuais de geometria e das áreas adjacentes. Mesmo nesse caso, as condições de segurança na circulação dos pedestres **devem** ser analisadas.



Legenda: S=Sim; N=Não

Figura 4.11: Estudos em locais existentes: abordagem veículos

Descrição dos blocos do fluxograma:

[a] – Número de colisões com vítima, evitáveis por sinalização semafórica, é maior do que N_{LAV} ?

O número mínimo limite de colisões com vítimas, evitáveis por sinalização semafórica, (N_{LAV}), que justifica a implantação de sinalização semafórica é igual a 7, observado nos últimos 3 anos ou 3 nos últimos 12 meses.

Na Figura 4.12 são apresentados alguns exemplos de acidentes que podem ser evitados com a adoção da sinalização semafórica.

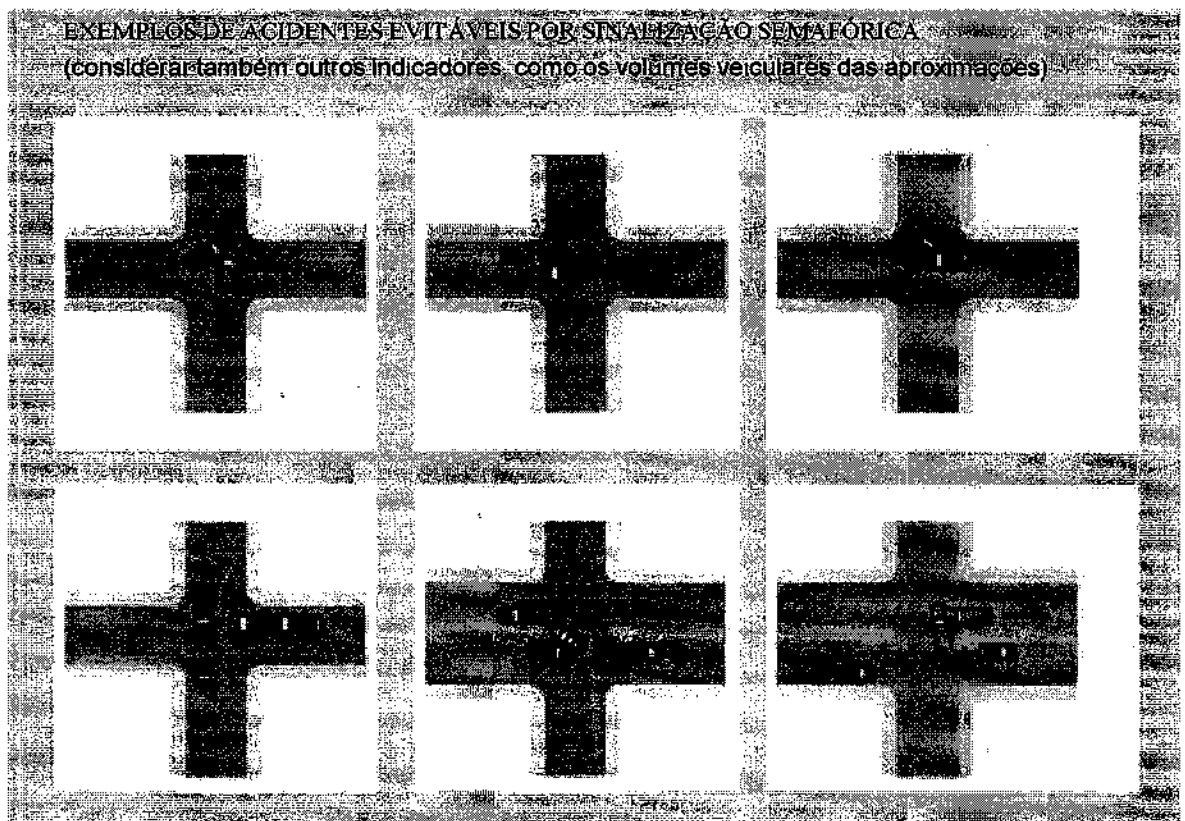


Figura 4.12: Exemplos de acidentes evitáveis por sinalização semafórica

[b] – Efetuar pesquisas iniciais

Fazer contagem classificada de veículos (número de veículos por tipo) em todas as aproximações da interseção durante a sua hora-pico (ver Apêndice 3) e levantar os demais dados iniciais necessários ao estudo, tais como: número de faixas de rolamento em cada aproximação; tempo de ciclo da rede, se a interseção estiver inserida em uma via com sinalizações semafóricas operando de forma coordenada; distância da interseção estudada às interseções controladas por sinalização semafórica a montante e a jusante.

Calcular o número de veículos equivalentes, a partir da conversão de todos os tipos de veículos observados em unidades de carros de passeio (ucp), seguindo os procedimentos apresentados no Capítulo 6.

[c] – Condição do local é segura?

Verificar se o local apresenta características que comprometam a segurança dos usuários na interseção. Essas características referem-se principalmente à geometria da via nas proximidades da interseção (curvas horizontais ou verticais), à existência de edificações ou outros elementos que dificultem a intervisibilidade dos movimentos conflitantes, ou à configuração da interseção que dificulta a percepção natural de qual via é a via principal. Nesse último caso, a sinalização semafórica só se justifica após terem sido testadas sem sucesso diferentes alternativas para a solução do problema por meio da sinalização horizontal e vertical.

[d] – Número de ciclos vazios é maior ou igual a NL CV?

A implantação da sinalização semafórica na abordagem veicular visa, principalmente, propiciar segurança e fluidez ao fluxo da via secundária. Assim, para o caso da utilização de sinalização semafórica de tempo fixo, é preciso verificar se, para o tempo de ciclo que a sinalização semafórica teria caso fosse instalada, existiriam ciclos sem nenhuma demanda na via secundária, isto é, ciclos vazios. Para que a sinalização semafórica seja instalada segundo este critério, o número de ciclos vazios por hora, na hora-pico, deve ser inferior a um limite estabelecido pelo projetista (N_{LCV}) em função das características gerais de cada cidade. No entanto, em todas as situações, N_{LCV} deve ser menor ou igual a 10% do número de ciclos por hora (NC).

A estimativa do número de ciclos vazios na hora-pico (sem demanda na via secundária) é feita de acordo com os passos a seguir:

Passo 1: determinação do tempo de ciclo (C) em segundos, que a sinalização semafórica teria, se instalado, ou, no caso de interseção inserida em via com sinalização semafórica operando de modo coordenado, adoção do tempo de ciclo da rede. O tempo de ciclo da rede somente deve ser considerado se pelo menos uma das interseções adjacentes estiver a menos de 500m da interseção estudada.

Passo 2: determinação do número de ciclos por hora (NC)

$$NC = \frac{3600}{C}$$

Passo 3: determinação do fluxo total das aproximações da via secundária (FTS), expresso em termos de unidade de carros de passeio (ucp) por hora.

Passo 4: determinação do número médio de veículos por ciclo, em termos de ucp, nas aproximações da via secundária (m).

$$m = \frac{FTS}{NC}$$

Passo 5: determinação do número esperado de ciclos vazios nas aproximações da via secundária, ou seja, do número de ciclos em que não existem veículos na via secundária chegando à interseção (NCV).

$$NCV = e^{-m} \times NC$$

onde:

e = base dos logaritmos neperianos (igual a 2,72)

A determinação do NCV pressupõe que as chegadas às aproximações da via secundária são aleatórias, seguindo uma distribuição de Poisson. Na página do DENATRAN na Internet, acompanhando o presente manual, é apresentada uma planilha para a determinação do número de ciclos vazios.

Quando o fluxo que chega ao menos a uma das aproximações da via secundária for proveniente de uma sinalização semafórica a montante, o pressuposto de chegadas aleatórias não mais se verifica. Assim, o valor do NCV estimado pelo procedimento anteriormente descrito deve ser utilizado com reservas. O ideal, nesses casos, é estimar NCV por meio de recursos mais elaborados, como técnicas de simulação da operação do tráfego em rede.

[e] – Efetuar pesquisas de espera

Determinar o tempo total de espera dos veículos da via secundária. O procedimento para o levantamento desse tempo em campo é apresentado no Apêndice 4.

[f] – Na transversal, tempo total de espera indica sinalização semafórica?

Se o tempo total de espera for inferior a 6.000 ucp x segundo, por hora, que corresponde a um atraso médio de 15 segundos sofrido por um fluxo de 400 ucp/hora na via secundária (sem considerar as motos), a sinalização semafórica **não deve** ser implantada.

No caso do tempo total de espera ser superior a 14.000 ucp x segundo, por hora, que corresponde a um atraso médio de 35 segundos sofridos por um fluxo de 400 ucp/hora na via secundária (sem considerar as motos), a sinalização semafórica deve ser implantada.

Para tempo total de espera entre 6.000 e 14.000 ucp x segundo, por hora, a decisão para implantação da sinalização semafórica fica condicionada a análises complementares por parte do técnico encarregado do estudo.

[g] – Solução não semafórica

Adotar solução que promova a segurança do tráfego na interseção sem comprometer desnecessariamente a fluidez da via principal. Dentre as soluções possíveis, referidas na Tabela 4.4, destaca-se: redução das velocidades nas aproximações, adequação da geometria, implantação de minirrotatórias e mudança no sentido de circulação com eliminação do conflito.

[h] – Sinalização semafórica

Definir a estratégia e o tipo de controle a ser propiciado pela sinalização semafórica. O dimensionamento do plano semafórico para a situação definida **deve** ser realizado de acordo com os procedimentos apresentados nos Capítulos 7 a 9 deste Manual.

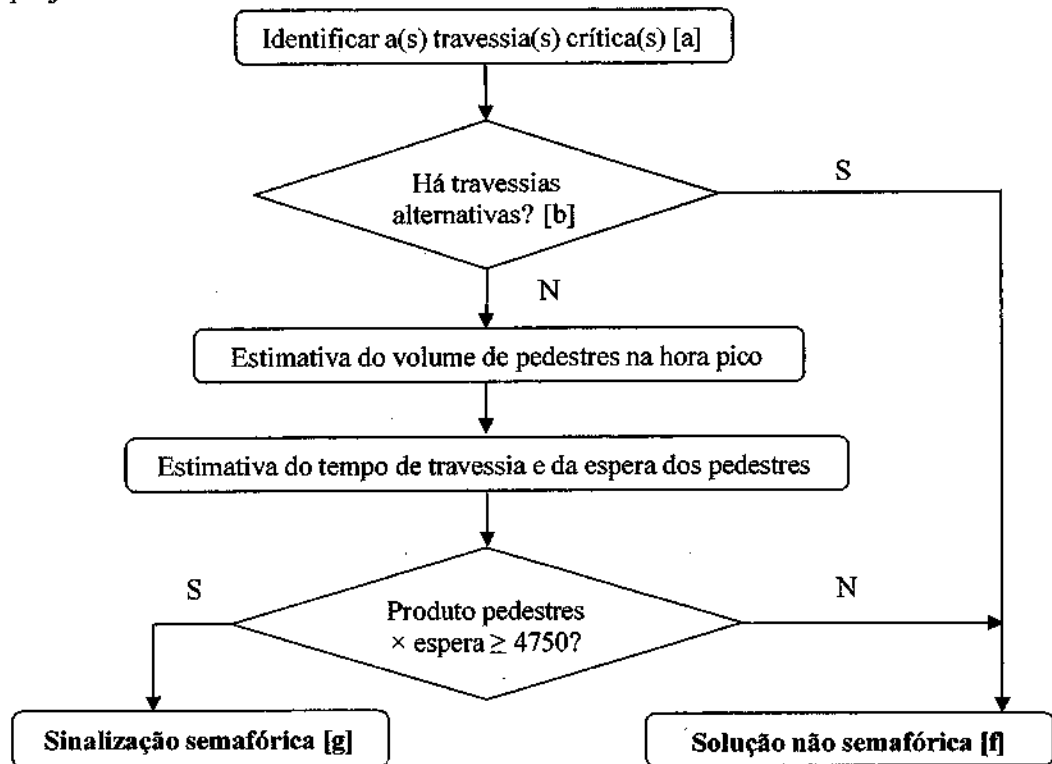
3.2.3 Critérios para estudos em locais em fase de projeto: abordagem pedestres

Em segmentos viários com velocidades regulamentadas superiores a 70 km/h a interrupção do tráfego por meio de sinalização semafórica compromete a segurança dos veículos e dos próprios pedestres. Nesses casos, se o volume de travessias assim o justificar, **devem** ser adotadas soluções de travessia em desnível.

Nas imediações de curvas horizontais ou verticais, onde exista restrição à visibilidade do condutor ao longo da distância de frenagem, a utilização da sinalização semafórica **deve** ser evitada.

Nas situações anteriormente referidas, caso não seja possível a implantação de travessia em desnível, a velocidade regulamentada **deve** ser reduzida na aproximação das faixas de pedestres, mesmo quando estas se localizam em interseções viárias. Recursos de sinalização horizontal e vertical **devem** ser empregados para garantir que o condutor consiga parar seu veículo com segurança.

O fluxograma da Figura 4.13 apresenta os critérios a serem considerados para verificação da necessidade da implantação de sinalização semafórica sob a ótica dos pedestres, em locais em fase de projeto.



Legenda: S=Sim; N=Não

Figura 4.13: Estudos em locais em fase de projeto: abordagem pedestres

Descrição dos blocos do fluxograma:

[a] – Identificar as travessias críticas

Devem ser identificadas e analisadas as rotas esperadas de pedestres em função da presença de polos geradores de viagens a pé (pontos de ônibus, escolas, hospitais, shoppings, etc.). As análises **devem** considerar a continuidade dos itinerários e as características físicas do entorno (topografia, largura de calçadas, obstáculos, segurança pública, etc.), que afetarão diretamente a decisão do pedestre na realização da travessia. Serão consideradas críticas as travessias com potencial de concentração de diferentes rotas esperadas de pedestres.

Se o local em estudo for uma interseção, cada uma das travessias previstas **deve** ser analisada separadamente.

[b] – Há travessias alternativas?

Deve ser verificado se nas proximidades do local em estudo (aproximadamente 50m) existe possibilidade do pedestre realizar a travessia com segurança e nível aceitável de conforto, considerando-se a rota prevista para o seu deslocamento.

A definição da existência, ou da possibilidade de implantação, de travessias alternativas depende de fatores subjetivos que **devem** ser considerados pelo projetista com base nas características gerais da circulação de pedestres na área onde se insere o local de estudo.

[c] – Estimativa do volume de pedestres na hora-pico

Estimar o volume de pedestres que ocorrerá em cada travessia crítica em função de eventuais polos geradores a serem criados e do remanejamento que o novo projeto provocará na distribuição do volume atual de pedestres.

[d] – Estimativa do tempo de travessia e cálculo do tempo médio de espera dos pedestres

O tempo de travessia é estimado por meio da Equação 4.1.

$$T_t = \frac{L_p}{V_t} \quad (4.1)$$

sendo:

T_t = tempo de travessia [s];

V_t = velocidade do pedestre na travessia [m/s];

L_p = largura da pista [m].

Considera-se a velocidade de travessia dos pedestres igual a 1,2 m/s. Dependendo das características específicas dos pedestres no local em estudo, o projetista pode ter que adotar valores inferiores.

O tempo médio de espera dos pedestres **deve** ser estimado a partir do uso do simulador TESP, disponível na página do Denatran na Internet (ver Apêndice 5).

Este é o tempo médio de espera de todos os pedestres na travessia crítica e, por isso, não cabe o cálculo de erro de estimativa como ocorre com a determinação por meio de amostra.

[e] - Produto pedestres \times tempo médio de espera \geq 4.750 pedestres \times segundo, por hora?

Calcular o produto do volume de pedestres pelo tempo médio de espera, a partir dos resultados obtidos em [c] e [d].

Esse produto deve ser maior ou igual a 4.750 pedestres \times segundo, por hora, que corresponde a um tempo médio de espera de 25 segundos para um volume de 190 pedestres/hora na travessia.

Esse valor deve ser usado como referência para a decisão da implantação ou não da sinalização semafórica. Ele permite contemplar com sinalização semafórica travessias onde o volume de pedestres é inferior ao valor de referência mas sofre atrasos elevados, seja devido à intensidade do volume de veículos ou às características geométricas do local, seja pela presença de pedestres com velocidade de travessia reduzida.

O simulador TESP, que estima o tempo médio de espera, também fornece o resultado da aplicação do presente critério. As principais características do simulador, bem como as instruções para sua utilização, são apresentadas no Apêndice 5.

[f] - Solução não semafórica

Adotar solução que promova a travessia segura dos pedestres, verificando a necessidade de implantar faixas de travessia devidamente sinalizadas.

[g] - Sinalização semafórica

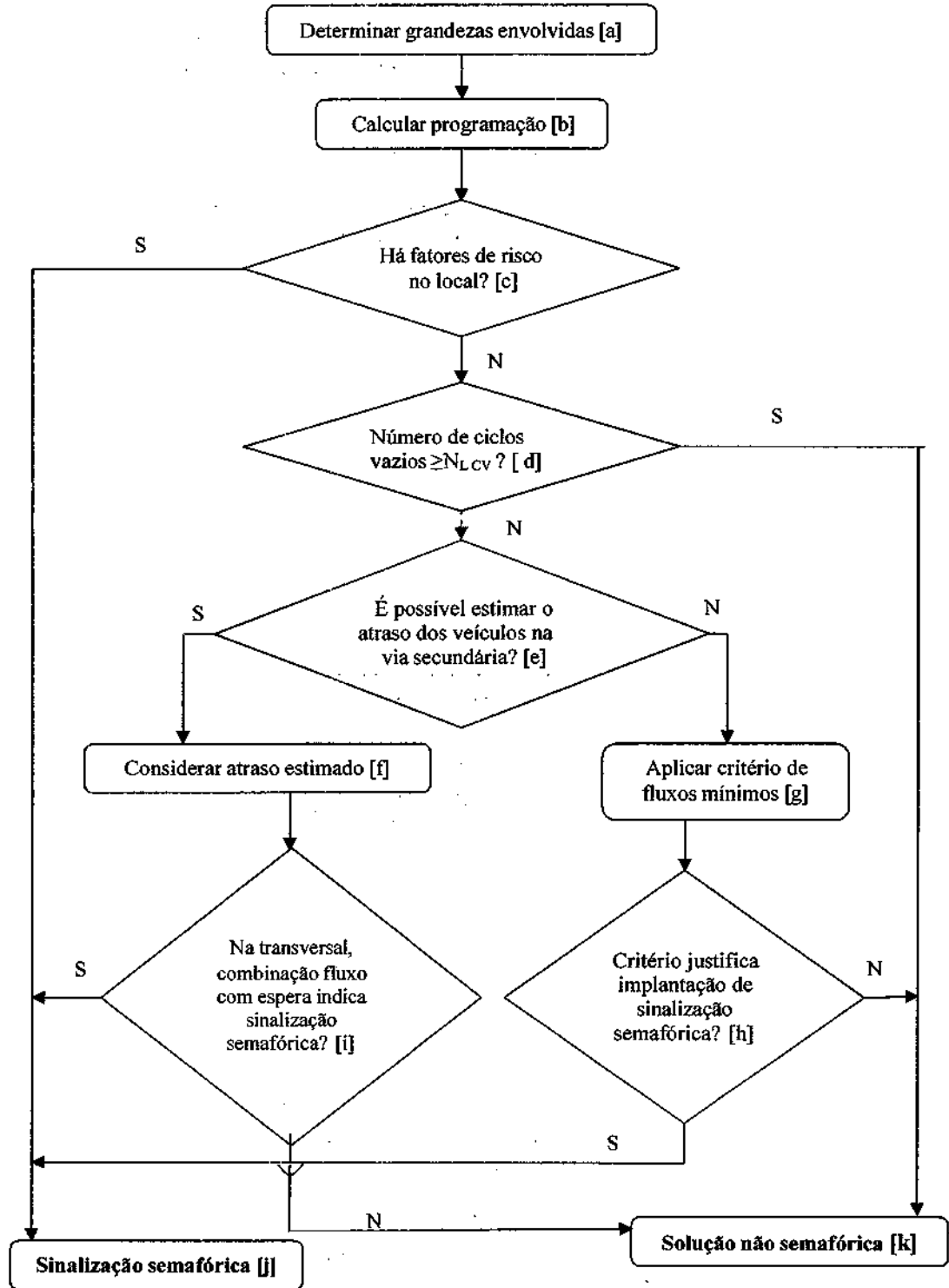
No caso do local estudado estar em meio de quadra, deve ser implantada sinalização semafórica acionada pelo pedestre (equipamento dotado de botoeira).

No caso da travessia crítica estar localizada junto à interseção, deve ser feita inicialmente a verificação da possibilidade de acomodar em um mesmo estágio o volume de pedestres e o fluxo veicular. Não sendo possível, deve ser estabelecido um estágio exclusivo para o atendimento aos pedestres.

O dimensionamento do plano semafórico para todas as situações deve ser realizado de acordo com os procedimentos apresentados nos Capítulos 7 a 9 deste Manual.

3.2.4 Critérios para estudos em locais em fase de projeto: abordagem veículos

O fluxograma da Figura 4.14 apresenta os critérios a serem considerados para verificação da necessidade da implantação de sinalização semafórica sob a ótica dos veículos, em local que se encontra em fase de projeto.



Legenda: S=Sim; N=Não

Figura 4.14: Estudos em locais em fase de projeto: abordagem veículos

Descrição dos blocos do fluxograma:

[a] – Determinar grandezas envolvidas

Determinar, para todas as aproximações da interseção, os dados necessários à programação da sinalização semafórica, tais como os valores de taxa de fluxo (hora pico), fluxo de saturação e tempo perdido. Os dois primeiros são os próprios valores que foram utilizados no projeto de reconfiguração/definição do local estudado.

Calcular o número de veículos equivalentes, a partir da conversão de todos os tipos de veículos observados em unidades de carros de passeio (ucp), seguindo os procedimentos apresentados no Capítulo 6.

[b] – Calcular programação

Calcular a programação semafórica do local a partir dos dados do item [a], seguindo os procedimentos indicados neste Manual para sinalização semafórica de tempo fixo. Esse cálculo visa permitir a análise a ser efetuada em [d].

[c] – Há fatores de risco presentes no local?

Verificar se o local apresenta características que comprometam a segurança dos usuários na interseção. Essas características referem-se principalmente à geometria da via nas proximidades da interseção (curvas horizontais ou verticais) ou à existência de edificações ou outros elementos que dificultem a intervisibilidade dos movimentos conflitantes.

[d] – Número de ciclos vazios é maior ou igual a N_{LCV} ?

A implantação da sinalização semafórica na abordagem veicular visa, principalmente, propiciar segurança e fluidez ao fluxo da via secundária. Assim, para o caso da utilização de sinalização semafórica de tempo fixo, é preciso verificar se na programação calculada em [b] existirão ciclos sem nenhuma demanda na via secundária, isto é, ciclos vazios. O número de ciclos vazios por hora, na hora-pico, deve ser inferior a um limite estabelecido pelo projetista (N_{LCV}) em função das características gerais de cada cidade. No entanto, em todas as situações, N_{LCV} deve ser menor ou igual a 10% do número de ciclos por hora (NC).

A estimativa do número de ciclos vazios na hora-pico, sem demanda na via secundária, é feita de acordo com os passos a seguir:

Passo 1: determinação do tempo de ciclo (C) em segundos, que a sinalização semafórica teria, se instalada, ou, no caso de interseção inserida em via com sinalização semafórica operando de modo coordenado, adoção do tempo de ciclo adotado para a rede. O tempo de ciclo da rede somente deve ser considerado se pelo menos uma das interseções adjacentes estiver a menos de 500m da interseção estudada.

Passo 2: determinação do número de ciclos por hora (NC).

$$NC = \frac{3600}{C}$$

Passo 3: determinação da taxa de fluxo total das aproximações da via secundária (FTS), expresso em termos de unidades de carro de passeio (ucp) por hora.

Passo 4: determinação do número médio de veículos por ciclo, expresso em ucp, nas aproximações da via secundária (m).

$$m = \frac{FTS}{NC}$$

Passo 5: determinação do número esperado de ciclos vazios nas aproximações da via secundária, ou seja, do número de ciclos em que não existem veículos na via secundária chegando à interseção (NCV).

$$NCV = e^{-m} \times NC$$

onde:

e = base dos logaritmos neperianos (igual a 2,72)

A determinação do NCV considera que as chegadas nas aproximações da via secundária são aleatórias, seguindo uma distribuição de Poisson. Na página do DENATRAN na Internet, acompanhando o presente manual, é apresentada uma planilha para a determinação do número de ciclos vazios.

Quando o fluxo que chega em pelo menos uma das aproximações da via secundária for proveniente de uma sinalização semafórica a montante, o pressuposto de chegadas aleatórias não mais se verifica. Assim, o valor do NCV estimado pelo procedimento anteriormente descrito deve ser utilizado com reservas, somente quando não for possível estimar NCV por meio de recursos mais elaborados, como técnicas de simulação da operação do tráfego em rede.

[e] – Verificar se é possível estimar o atraso dos veículos da via secundária na situação não semaforizada

Verificar se o órgão dispõe de técnicas analíticas ou simuladores, devidamente calibrados para representar as condições de operação do tráfego local, que permitam a estimativa do atraso médio dos veículos na(s) aproximação(ões) da via secundária.

[f] – Considerar o atraso dos veículos da via secundária na situação não semaforizada

Usando a(s) técnica(s) disponível(is), estimar o atraso médio dos veículos da via secundária na situação não semaforizada.

[g] – Aplicar critério de fluxos mínimos

Considerar os valores dos fluxos estimados para a hora-pico, previstos no bloco [a], e aplicá-los aos gráficos correspondentes, mostrados nas Figuras 4.15 e 4.16, extraídas do *Manual on Uniform Traffic Control Devices* (MUTCD-2003).

O gráfico da Figura 4.15, correspondente ao Caso 1, deve ser utilizado quando a velocidade limite definida para a via principal é inferior a 70km/h. No caso em que essa velocidade for superior ou, ainda, quando a interseção em estudo estiver localizada em cidade com população inferior a 10.000 habitantes, deve ser utilizado o gráfico da Figura 4.16 (Caso 2).

No Caso 1, a implantação de sinalização semafórica só pode ser justificada quando a aproximação mais carregada da via secundária apresentar fluxo igual ou superior a 150 veículos/h, se essa aproximação tiver duas ou mais faixas de trânsito. Quando a aproximação mais carregada da via secundária tiver somente uma faixa, o valor mínimo do fluxo veicular que pode justificar a sinalização semafórica é de 100 veículos/h. No Caso 2, estes limites são, respectivamente, 100 veículos/h e 75 veículos/h.

Para efeito da utilização dos gráficos é possível a utilização do fluxo expresso em veículos equivalentes, desde que essa unidade seja adotada para as aproximações das duas vias (ver procedimento no Capítulo 6).

Identificar no gráfico correspondente ao caso considerado (Figura 4.15 ou 4.16) o ponto definido pelos fluxos estimados para a aproximação mais carregada da via secundária e para todas as aproximações da via principal.

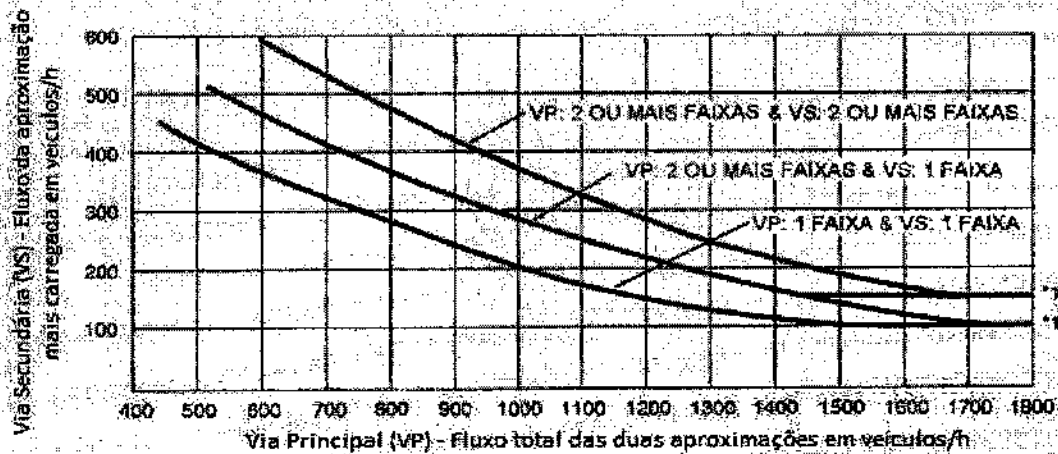


Figura 4.15: Valores de volume (fluxo) que justificam a implantação de sinalização semafórica em locais em fase de projeto: Caso 1 (Fonte: MUTCD-2003)

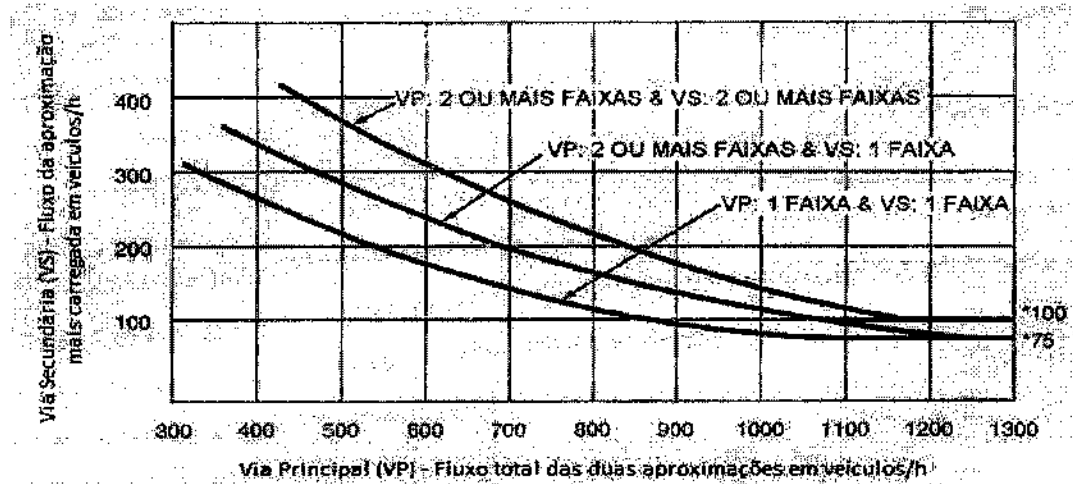


Figura 4.16: Valores de volume (fluxo) que justificam a implantação de sinalização semafórica em locais em fase de projeto: Caso 2 (Fonte: MUTCD-2003)

[h] – O Critério justifica a implantação de sinalização semafórica?

Se o ponto identificado em [g] estiver acima da linha referente ao número de faixas das vias principal e secundária, a implantação da sinalização semafórica é justificada pelo critério.

[i] – Na transversal, combinação fluxo com espera indica sinalização semafórica?

Calcular o produto do fluxo de veículos da via secundária pelo atraso médio, a partir dos resultados obtidos em [a] e [f].

Se o tempo total de espera for inferior a 6.000 ucp x segundo, por hora, que corresponde a um atraso médio de 15 segundos para um fluxo de 400 ucp/hora na via secundária (sem considerar as motos), a sinalização semafórica **não deve** ser implantada.

No caso do tempo total de espera ser superior a 14.000 ucp x segundo, por hora, que corresponde a um atraso médio de 35 segundos para um fluxo de 400 ucp/hora na via secundária (sem considerar as motos), a sinalização semafórica **deve** ser implantada.

Para tempo total de espera entre 6.000 e 14.000 ucp x segundo, por hora, a decisão para implantação da sinalização semafórica fica condicionada a análises complementares por parte do técnico encarregado do estudo.

[j] – Sinalização semafórica

Definir a estratégia e o tipo de controle a ser propiciado pela sinalização semafórica. O dimensionamento do plano semafórico para a situação definida pode ser realizado de acordo com os procedimentos apresentados nos Capítulos 7 a 9 deste Manual.

[k] – Solução não semafórica

Adotar solução que promova a segurança do tráfego na interseção sem comprometer desnecessariamente a fluidez da via principal. Dentre as soluções possíveis, referidas na Tabela 4.4, destaca-se: redução das velocidades nas aproximações, adequação da geometria e implantação de minirrotatórias.

3.3 Critérios para utilização da sinalização semafórica operando em amarelo intermitente

Os controladores semafóricos eletrônicos permitem a programação, por horário, para operação em amarelo intermitente. Nesse caso o condutor do veículo fica obrigado a reduzir a velocidade e respeitar o disposto no Art. 29, inciso III, do CTB.

3.3.1 Utilidade da operação em amarelo intermitente

Em horários em que a demanda de veículos em uma interseção semaforizada é muito baixa, a sinalização semafórica, quando programada em tempos fixos, acaba gerando paradas desnecessárias. Em geral, as situações de baixa demanda ocorrem durante a madrugada.

Sinalizações semafóricas exclusivas para travessia de pedestres em meio de quadra também podem operar em amarelo intermitente em períodos onde a demanda de pedestres é muito reduzida.

Quando utilizado corretamente, o amarelo intermitente reduz as paradas dos veículos. Entretanto, existem várias restrições ao seu uso, que **devem** ser observadas, de modo a evitar acidentes de trânsito.

3.3.2 Restrições ao uso do amarelo intermitente

O amarelo intermitente em interseções, em períodos de baixa demanda veicular, **não deve** ser utilizado nos seguintes casos:

- ✓ Onde pelo menos uma das vias tenha velocidade regulamentada acima de 60 km/h;
- ✓ Onde a intervisibilidade dos condutores dos movimentos conflitantes não atende a distância de frenagem definida na seção 4.3.3;
- ✓ Em sinalização semafórica que opera com três ou mais estágios veiculares;
- ✓ Onde existirem duas ou mais linhas focais próximas, em sequência, no mesmo campo de visão do condutor, e uma delas não possa operar em amarelo intermitente, para não gerar dúvidas de interpretação do condutor.

Além das restrições apresentadas recomenda-se, por questões de segurança, que a decisão pelo uso do amarelo intermitente considere os seguintes fatores de risco:

- ✓ Presença de pedestres na interseção;

- ✓ Existência de duplo sentido de circulação em pelo menos uma das vias da interseção com velocidade regulamentada igual ou superior a 40 km/h, sem canteiro central ou com canteiro central com largura inferior a 5 m;
- ✓ Circulação de caminhões e ônibus.

3.3.3 Critérios de utilização

Em relação às sinalizações semaforicas veiculares, o aspecto mais importante em uma interseção que opere em amarelo intermitente é a intervisibilidade dos condutores que se aproximam por movimentos conflitantes. Se a distância de frenagem for suficiente para que os condutores detenham seus veículos a tempo, o risco de colisões será minimizado. Essa distância é função da velocidade do veículo e da taxa de desaceleração, e assume os valores apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Distância de Frenagem

Velocidade (km/h)	30	40	50	60
Distância de Frenagem (m) ⁽¹⁾	12	21	33	47
Distância de Frenagem Mínima (m) ⁽²⁾	9	16	25	35

Notas: ⁽¹⁾distância calculada utilizando taxa de desaceleração igual a 3,0 m/s² e tempo de percepção e reação igual a zero.

⁽²⁾ distância utilizada na cidade de São Paulo para vias urbanas.

Na aplicação desse conceito, o técnico **deve** considerar a velocidade regulamentada da via.

A seguir, exemplos de aplicação deste método em alguns casos típicos, onde foi considerada a distância de frenagem mínima. A utilização do amarelo intermitente só é admitida se a área junto da interseção, limitada pela linha que liga a posição dos dois veículos (ver Figuras 4.17 a 4.20), estiver livre de obstáculos que dificultem a intervisibilidade dos condutores.

I) Situações em que as duas vias são mão única. Exemplos dessas situações são mostrados nas Figuras 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20.

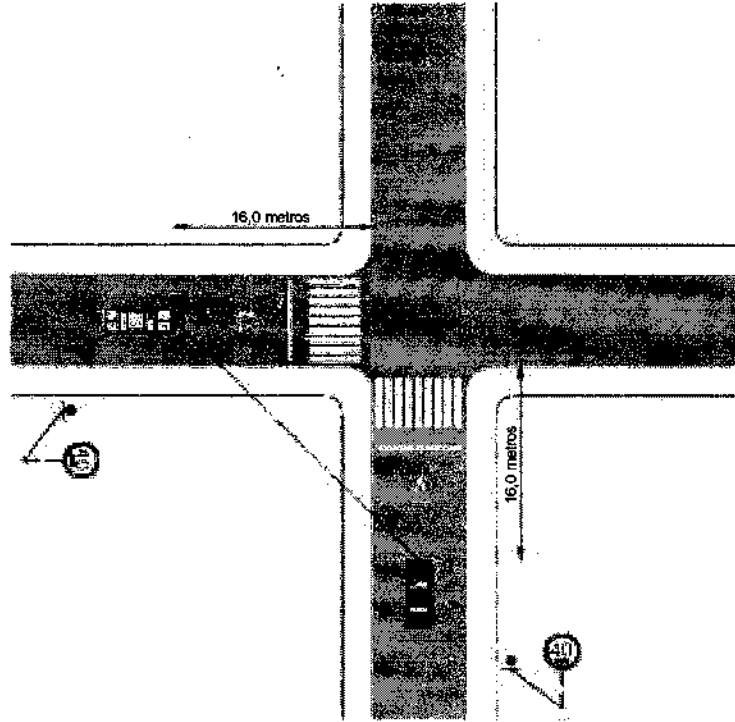


Figura 4.17: Interseção de duas vias com velocidade regulamentada de 40 km/h

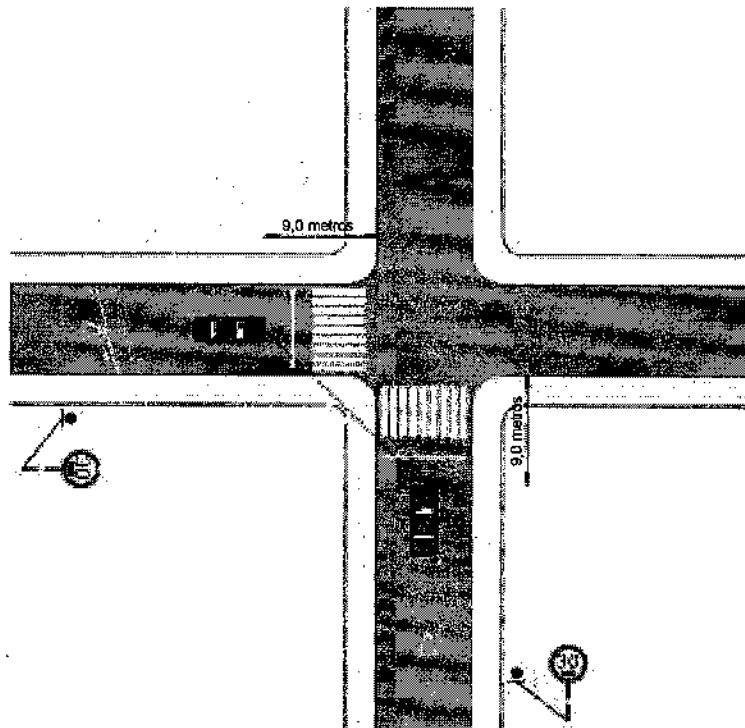


Figura 4.18: Interseção de duas vias com velocidade regulamentada de 30 km/h

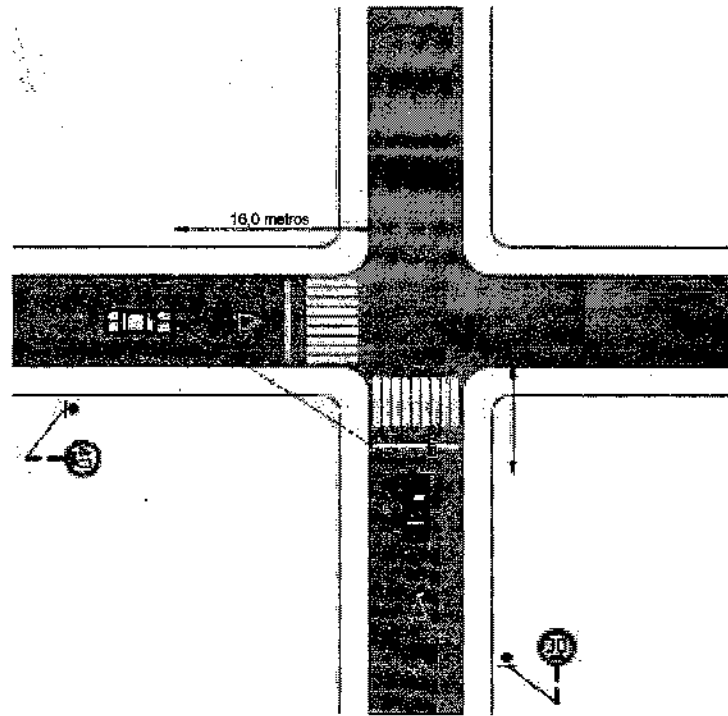


Figura 4.19: Interseção de vias com velocidades regulamentadas de 40 km/h e 30 km/h

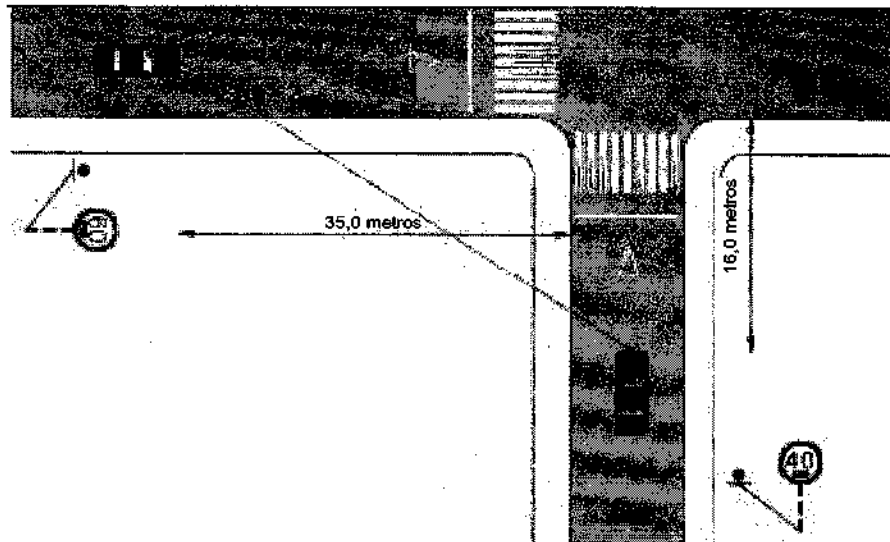


Figura 4.20: Interseção em "T", de vias com velocidades regulamentadas de 60 km/h e 40km/h

II) Situação em que pelo menos uma das vias é mão dupla. Exemplo dessa situação é mostrado na Figura 4.21.

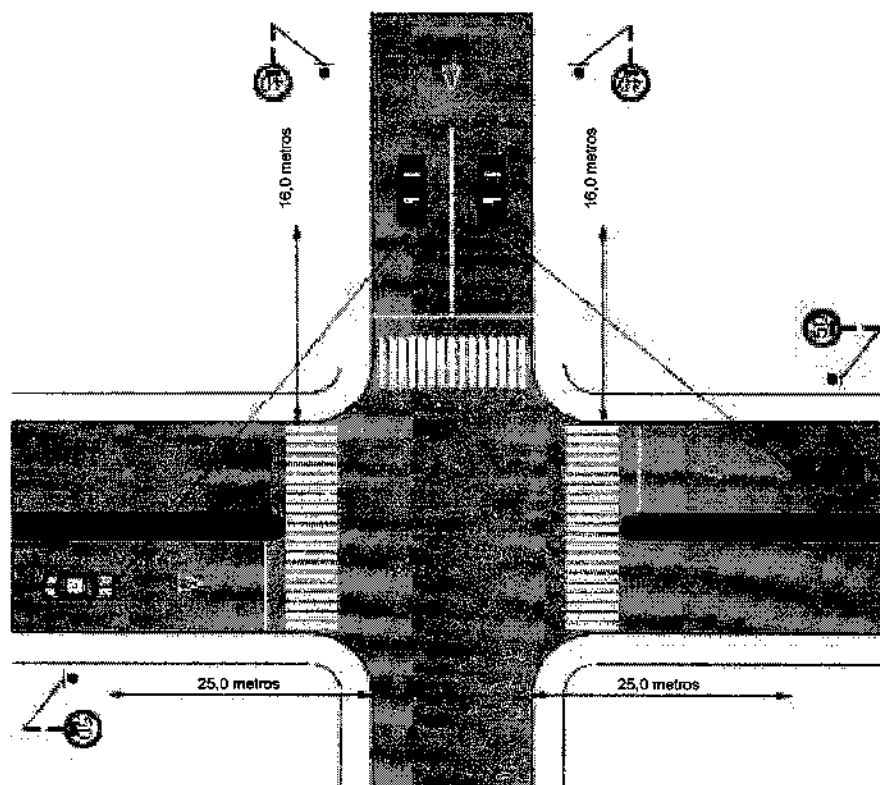


Figura 4.21: Interseção de vias de mão única e mão dupla com velocidades regulamentadas de 40 km/h e 50 km/h

3.3.4 Especificações das informações luminosas dos semáforos

Todos os grupos focais veiculares do local **devem** operar em amarelo intermitente e todos os grupos focais de pedestres **devem** permanecer apagados.

3.3.5 Considerações finais

A determinação da faixa de horário de abrangência do modo amarelo intermitente **deve** ser precedida de estudos específicos para cada local, que levem em conta o fluxo veicular, a composição do tráfego e o fluxo de pedestres. Recomenda-se que cada implementação do modo amarelo intermitente seja acompanhada em campo e que seus efeitos sejam monitorados por meio de vistorias periódicas e relatórios de acidentes.

Situações excepcionais podem surgir, decorrentes de particularidades de um determinado local. Nesses casos, a decisão de implementar ou retirar o modo amarelo intermitente **deverá** ser tomada pelo técnico, devidamente fundamentado.

3.4 Sinalização semafórica operando em tempo parcial

Denomina-se operação em tempo parcial aquela em que a sinalização semafórica opera normalmente em determinados períodos do dia e permanece com todas suas luzes apagadas em outros períodos.

Essa operação pode ser adotada quando a sinalização semafórica só é justificada em poucos períodos do dia. Por exemplo, para atender movimentos esporádicos como ocorre nos acessos a postos de bombeiros, quartéis e hospitais.

Em travessias de pedestres localizadas em meio de quadra, para atender movimentos esporádicos de pedestres, como nos acessos a escolas, a sinalização semafórica pode ser desligada.

A operação em tempo parcial **deve** vir acompanhada de sinalização vertical de advertência (A-14 com informação complementar). Na coluna ou braço do semáforo **deve** ser adotada sinalização especial de advertência. As Figuras 4.22 e 4.23 apresentam exemplos desta sinalização.



Figura 4.22: Exemplo de sinalização de advertência a ser localizada em seção anterior à interseção

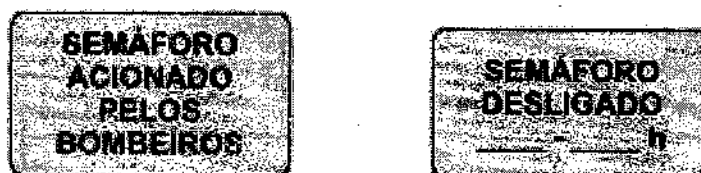


Figura 4.23: Exemplo de sinalização especial de advertência a ser localizada na coluna ou braço do semáforo que opera em tempo parcial

4 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO CONTROLE SEMAFÓRICO

Neste capítulo são apresentados os principais elementos relacionados à implantação da sinalização semafórica, dado que essa implantação foi justificada com base nos critérios definidos no Capítulo 4 deste Manual. O presente capítulo aborda os elementos básicos que caracterizam a concepção do controle semafórico, e apresenta as diferentes estratégias, tipos de controle e os modos de implementação do controle semafórico. Na seção final do capítulo é feita uma análise geral dos diferentes tipos de controle e operação apresentados.

4.1 Elementos básicos

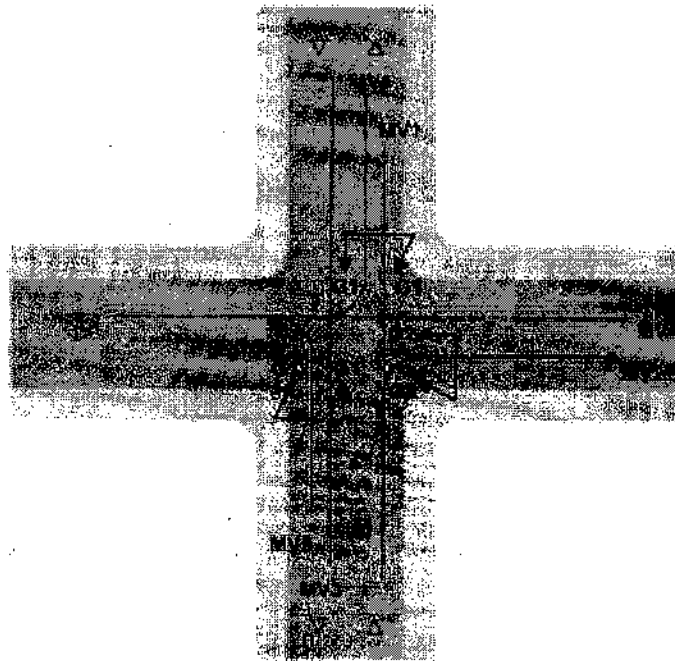
Na definição do controle semafórico são empregados os termos apresentados a seguir.

a) Grupo de movimentos

É o conjunto de movimentos presentes em uma mesma aproximação que recebem simultaneamente o direito de passagem (ver Figura 5.1).

b) Grupo semafórico

É o conjunto de semáforos (grupos focais) com indicações luminosas idênticas que controlam grupos de movimentos que recebem simultaneamente o direito de passagem (ver Figura 5.1)



Grupo de Movimentos 1: conjunto formado pelos movimentos MV1 e MV2

Grupo de Movimentos 2: conjunto formado pelo movimento MV3

Grupo de Movimentos 3: conjunto formado pelos movimentos MV4, MV5 e MV6

Grupo semafórico 1 (G1): conjunto de semáforos que controla os grupos de movimentos 1 e 2

Grupo semafórico 2 (G2): conjunto de semáforos que controla o grupo de movimentos 3

Figura 5.1: Ilustração do conceito de grupo de movimentos e grupo semafórico

c) Estágio

Denomina-se estágio o intervalo de tempo em que um ou mais grupos de movimentos recebem simultaneamente o direito de passagem. O estágio compreende o tempo de verde e o tempo de entreverdes que o segue.

d) Entreverdes

É o intervalo de tempo compreendido entre o final do verde de um estágio e o início do verde do estágio subsequente.

Para semáforos veiculares, o entreverdes é composto de um tempo de amarelo, acrescido de um tempo de vermelho geral sempre que necessário.

Para semáforos de pedestres, o entreverdes corresponde ao tempo de vermelho intermitente seguido de um tempo de vermelho geral.

e) Vermelho geral

É o intervalo de tempo entre o final do amarelo (ou do vermelho intermitente) de um estágio e o início do verde do próximo estágio.

f) Ciclo

Denomina-se ciclo a sequência completa dos estágios de uma sinalização semafórica. A duração do ciclo (tempo de ciclo) em uma interseção, ou seção de via, é definida pela soma dos tempos de todos os estágios programados para o controle do tráfego no local.

g) Intervalo luminoso

É o período de tempo em que permanece inalterada a configuração luminosa dos semáforos (grupos focais) que controlam o tráfego em um determinado local.

h) Plano semafórico

Denomina-se plano semafórico ao conjunto de elementos que caracteriza a programação da sinalização semafórica (ver Capítulo 6 do Manual) para uma interseção ou seção de via, num determinado período do dia. O diagrama de estágios e o de intervalos luminosos são partes integrantes do plano semafórico.

i) Diagrama de estágios

O diagrama de estágios é a representação gráfica da alocação dos movimentos que podem ser realizados (motorizados e não motorizados) em cada estágio do ciclo. O movimento de pedestres e/ou ciclistas só deve ser representado no diagrama de estágios quando for sinalizado por grupos focais específicos. A Figura 5.2 mostra um exemplo de diagrama de estágios para o controle dos movimentos apresentados na Figura 5.1.

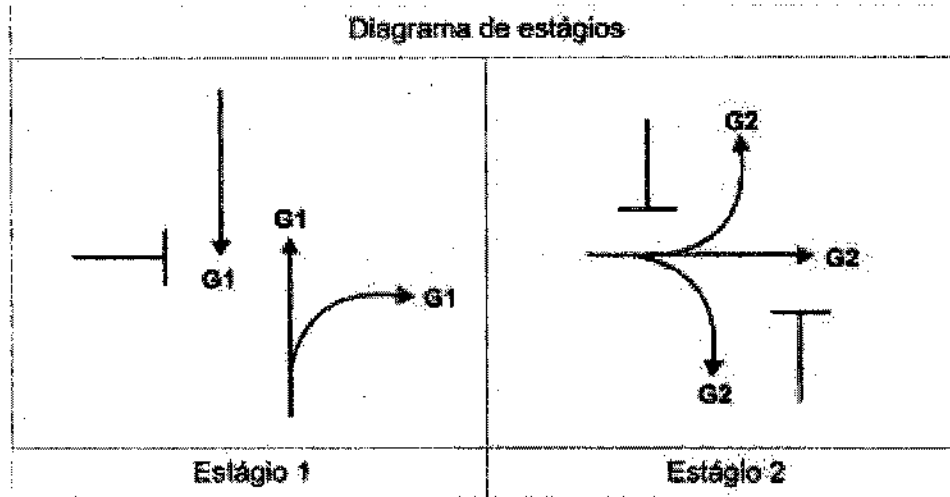


Figura 5.2: Exemplo de diagrama de estágios

j) Diagrama de intervalos luminosos ou diagrama de barras

Consiste na representação da duração e sequência dos intervalos luminosos e estágios por meio de barras horizontais, associando-os aos grupos semafóricos correspondentes. A Figura 5.3 apresenta um exemplo de diagrama de barras para o diagrama de estágios mostrado na Figura 5.2.

DIAGRAMA DE INTERVALOS LUMINOSOS									
INSTANTE (s)	0		30	34	36		74	78	80
G1									
G2									
INTERVALOS	1		2	3		4		5	6
DURAÇÃO (s)	30		4	2		38		4	2
% CICLO	38		5	2		48		5	2
ESTÁGIOS	1			2					

Figura 5.3: Exemplo de diagrama de intervalos luminosos

4.2 Controle e operação

O controle do tráfego em uma interseção ou seção de via por meio da sinalização semafórica pode ser realizado de acordo com diferentes tipos e estratégias e ser implementado por diferentes modos. Nesta seção as principais alternativas são apresentadas.

4.2.1 Tipos de controle

Basicamente, são dois os tipos de controle proporcionados pela sinalização semafórica. O primeiro é o controle em tempo fixo e o segundo o controle atuado pelo tráfego, que possuem níveis distintos de resposta a variações observadas nos movimentos controlados.

a) Tempo fixo

O controle em tempo fixo utiliza planos semafóricos calculados com base em dados de tráfego disponíveis, obtidos por contagens volumétricas e outros levantamentos de campo. As contagens volumétricas, sempre que possível, **devem** ser classificatórias. O controle pode ser efetuado com base em um único plano semafórico, ou na adoção de planos específicos para atender a demanda de tráfego histórica de períodos distintos do dia e de diferentes dias da semana.

Ao longo do período de ação de um plano semafórico, o tempo de ciclo, a sequência de estágios, a duração dos intervalos luminosos e a defasagem, no caso das redes semafóricas, são mantidos constantes. Os procedimentos para a determinação desses elementos são apresentados no Capítulo 7 do Manual.

b) Atuado

Os principais tipos de controle atuado pelo tráfego são: semiatuado e totalmente atuado.

b.1) Semiatuado

O controle semiatuado é, em geral, empregado em cruzamentos de vias de grande volume (vias principais) com vias de baixo volume de tráfego (vias secundárias).

Nesse tipo de controle a indicação verde é dada continuamente para os veículos da via principal, sendo interrompida quando detectores implantados nas aproximações da via secundária indicarem a presença de veículos motorizados.

Quando o controle semiatuado for empregado em travessias de pedestres ou ciclistas, a interrupção da indicação verde para os veículos da via principal ocorre quando as botoeiras forem acionadas.

O momento de interrupção do verde da via principal, a partir da detecção na via secundária ou do acionamento da botoeira, e a duração do tempo de verde a ser atribuído à via secundária, são definidos com base em parâmetros de programação específicos, estabelecidos de acordo com os procedimentos indicados no Capítulo 8 deste Manual.

b.2) Totalmente atuado

O controle totalmente atuado decorre do monitoramento da demanda de tráfego na interseção, mediante a implantação de detectores de tráfego em todas as suas aproximações, permitindo alterações nos tempos dos estágios.

O princípio básico do funcionamento em modo totalmente atuado é o da determinação do tempo de verde associado a cada estágio de sinalização, variando entre um valor mínimo e um valor máximo pré-estabelecidos.

Esse tipo de controle pode permitir o ajuste em tempo real dos valores de alguns dos parâmetros de programação, como por exemplo, a prioridade a ser dada para uma aproximação congestionada.

Sua implantação requer a definição desses e de outros parâmetros de programação, apresentados no Capítulo 8 deste Manual.

4.2.2 Estratégias de controle

Ao definir o controle semafórico o projetista deve decidir entre duas estratégias básicas de controle: controle isolado ou controle em rede.

a) Controle isolado

No controle semafórico isolado, cada interseção é controlada independentemente das demais, ou seja, não ocorre nenhum tipo de coordenação semafórica. Nesse caso, a definição da programação semafórica leva em conta apenas a demanda (histórica ou atual) do tráfego em todas as aproximações.

Essa estratégia pode comprometer seriamente o desempenho da circulação do tráfego em situações onde as interseções controladas por sinalização semafórica estiverem muito próximas entre si. As situações em que o uso do controle isolado não é recomendado são apresentadas no Capítulo 9.

b) Controle em rede

O controle em rede pode visar o aumento do desempenho da circulação do tráfego ao longo de uma rede aberta ou de uma rede fechada. O controle em rede aberta visa privilegiar a circulação do tráfego em uma via (ou em um percurso pré-estabelecido) e, por isso, é comumente referido como controle em corredor. O controle em rede fechada, que visa melhorar o desempenho geral do tráfego em uma determinada região, é denominado controle em área.

A estratégia de controle em rede permite a programação da sinalização semafórica visando não somente o desempenho do tráfego em cada interseção mas, sobretudo, o seu desempenho global ao longo do conjunto de cruzamentos. Esse desempenho é avaliado com base em critérios definidos pelo órgão gestor do trânsito, em função do propósito do controle.

A programação da sinalização semafórica operando em rede implica, além da determinação dos parâmetros necessários para a programação isolada, a definição de um parâmetro adicional, denominado defasagem. Esse parâmetro estabelece, tomando como base uma

referência temporal especificada, o momento de iniciar o verde de um estágio para cada interseção que integra a rede.

A definição da defasagem considera a chegada do tráfego nas aproximações na forma de pelotões. Tem-se, nesse caso, uma operação dita coordenada. Essa operação requer que a duração do ciclo seja a mesma para todas as interseções.

A determinação da defasagem é baseada no comportamento dos pelotões de veículos que circulam entre as interseções e, por isso, é relativamente complexa. A defasagem pode ser calculada manualmente ou com o auxílio de ferramentas computacionais. Existem diferentes programas computacionais comerciais para esse fim, tanto para o caso de operação em tempo fixo quanto de operação atuada pelo tráfego.

No caso do controle em rede aberta, procedimentos mais simples podem ser adotados, dentre os quais se destaca a utilização do diagrama espaço-tempo, apresentado no Capítulo 6 deste Manual.

As características do controle em rede são detalhadas no Capítulo 9 deste Manual.

4.2.3 Modos de operação

a) Controle local (descentralizado)

A programação semafórica é implementada diretamente no controlador, em campo. Qualquer alteração desejada na programação é feita usando os recursos disponíveis no controlador para a entrada manual de dados.

b) Controle centralizado

Nesse modo de operação, os controladores eletrônicos de tráfego são ligados a um computador central que gerencia a operação conjunta dos equipamentos.

O controle centralizado é utilizado para agilizar a operação do sistema de interseções semaforizadas, admitindo vários níveis de funcionamento.

No nível básico, são executadas as seguintes funções:

- ✓ Monitoração do estado de funcionamento dos controladores e semáforos (grupos focais);
- ✓ Implementação remota de alguns elementos da programação dos planos semafóricos.

Em outros níveis, quando da disponibilidade de sistemas de detecção de veículos, outras funções podem ser incorporadas, tais como:

- ✓ Coleta de dados do tráfego;
- ✓ Monitoração das condições de circulação;
- ✓ Seleção e implementação de planos semafóricos em função da demanda;
- ✓ Geração e implementação de planos semafóricos em função da demanda.

Quando da implantação do controle centralizado, as seguintes características **devem** ser, também, consideradas:

- ✓ O controle depende da confiabilidade do computador central e, por isso, são utilizadas algumas técnicas para evitar que problemas com o computador central comprometam as ações de controle;
- ✓ O controle centralizado requer uma rede de comunicação de alta confiabilidade e, portanto, de uma manutenção eficiente e eficaz;
- ✓ O controle centralizado requer a adoção de um protocolo de comunicação que facilite a sua futura expansão (recomenda-se a adoção de protocolo aberto);
- ✓ A operação do controle centralizado requer a atuação de equipe técnica especificamente treinada para esse fim;
- ✓ Custo de implantação, operação e manutenção superior ao do modo local (descentralizado).

Devido às características do controle centralizado, recomenda-se que a decisão para sua adoção seja justificada por um estudo de viabilidade técnica, econômica e financeira.

4.3 Recursos computacionais para programação semafórica

Para operação de sistemas centralizados em tempo fixo e atuados, encontram-se disponíveis no mercado diversos programas.

O órgão gestor **deve** utilizar o programa que melhor atender suas necessidades de controle e sua disponibilidade de dados, de pessoal técnico e de equipamentos.

4.4 Análise comparativa das diferentes formas de controle

As principais vantagens e desvantagens dos controles em tempo fixo e atuado são apresentadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Vantagens e desvantagens do controle em tempo fixo e atuado

TIPO DE CONTROLE	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Tempo fixo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A elaboração da programação e sua implantação em campo são simples no caso da operação isolada e em redes pequenas. ✓ Custo de implantação e operação inferior ao do controle atuado. ✓ Quando bem programado, levando em conta a variação do tráfego ao longo do dia, tem desempenho satisfatório. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Planos semafóricos elaborados com dados de volume que não refletem a real situação do tráfego podem gerar excessivo atraso para veículos e pedestres. ✓ Requer coleta periódica de dados de tráfego para assegurar a qualidade dos planos semafóricos, o que implica em custos elevados. ✓ Pouco eficiente para o controle em locais, ou períodos do dia, em que o volume de tráfego sofre muitas variações. ✓ A determinação dos planos para a operação coordenada exige conhecimentos específicos.
Atuado	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Desempenho favorável no controle do tráfego em situações de volume muito variável. ✓ Minimiza tempos de verde ociosos. ✓ É o mais indicado para o controle de travessias de pedestres em meio de quadra, quando a sinalização semafórica for justificada. ✓ O controle atuado permite a omissão de estágios. Na situação de múltiplos estágios, o aspecto de segurança deve ser cuidadosamente observado. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ O custo de implantação e manutenção do sistema atuado é mais elevado do que o de tempo fixo. ✓ Nem todos os controladores podem operar em modo totalmente atuado. ✓ A instalação dos detectores é dispendiosa e requer inspeção e manutenção periódicas para sua adequada operação. ✓ A definição dos parâmetros para a operação dos controladores atuados, especialmente no controle totalmente atuado, exige conhecimentos específicos.

Com relação à comparação entre o modo de controle local (descentralizado) e centralizado, levando em conta as estratégias de controle (isolado e em rede) além dos aspectos referidos nas seções 5.2.2 e 5.2.3, cabe destacar:

- ✓ O modo de controle centralizado facilita a gestão semafórica, pois permite modificações rápidas na programação da sinalização semafórica, reduzindo os transtornos ocasionados pelas diversas ocorrências que obstruem o sistema viário, como colisões, veículos em pane, obras, desvios de tráfego etc.;
- ✓ O controle centralizado permite também que a programação semafórica seja aperfeiçoada sistematicamente, pois é mais conveniente planejar e aplicar as alterações pela central do que em campo;
- ✓ Em modo centralizado são eliminados ou minimizados os problemas de erro no relógio do controlador;
- ✓ No modo centralizado, a rápida identificação de falhas no funcionamento dos equipamentos permite um atendimento mais eficiente das equipes de manutenção;
- ✓ O modo local tem custo de implantação e, geralmente, de manutenção inferior ao do modo centralizado.

5 ELEMENTOS DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA

O presente capítulo aborda os principais elementos envolvidos na programação semafórica.

Para cada elemento considerado, é apresentado o conceito, a forma de determinação e exemplos de aplicação, quando for pertinente. A definição de alguns elementos já foi apresentada no Capítulo 5, mas será repetida neste capítulo a fim de facilitar as explicações.

Questões relacionadas à programação de semáforos para ciclistas serão tratadas em manual específico.

5.1 Volume de Tráfego

Denomina-se volume de tráfego (ou fluxo de tráfego) ao número de veículos ou pedestres que passa por uma dada seção de via durante o período de realização de uma contagem. No caso da programação semafórica, o volume de tráfego veicular é sempre determinado por sentido de circulação do tráfego, e é geralmente formado por diferentes tipos de veículos.

O volume de tráfego de cada movimento varia ao longo do tempo, sendo função da hora do dia, do dia da semana, da semana do mês, do mês e do ano em que esse movimento é observado. A variação temporal do volume de tráfego depende das características da cidade e do local específico.

Para efeito da programação semafórica, é importante analisar essa variação temporal do volume de tráfego, especialmente ao longo do dia e do dia da semana. Portanto, recomenda-se que as contagens sejam feitas, pelo menos, ao longo de um dia útil típico. A partir dessa análise é possível determinar, no caso da programação em tempo fixo, o número de planos semafóricos a serem calculados e o período do dia e dia da semana em que cada plano será implementado.

As Figuras 6.1 a 6.3 ilustram a variação do volume de tráfego de veículos pesquisado em uma via urbana, permitindo identificar os períodos de maior volume para cada unidade de tempo considerada.

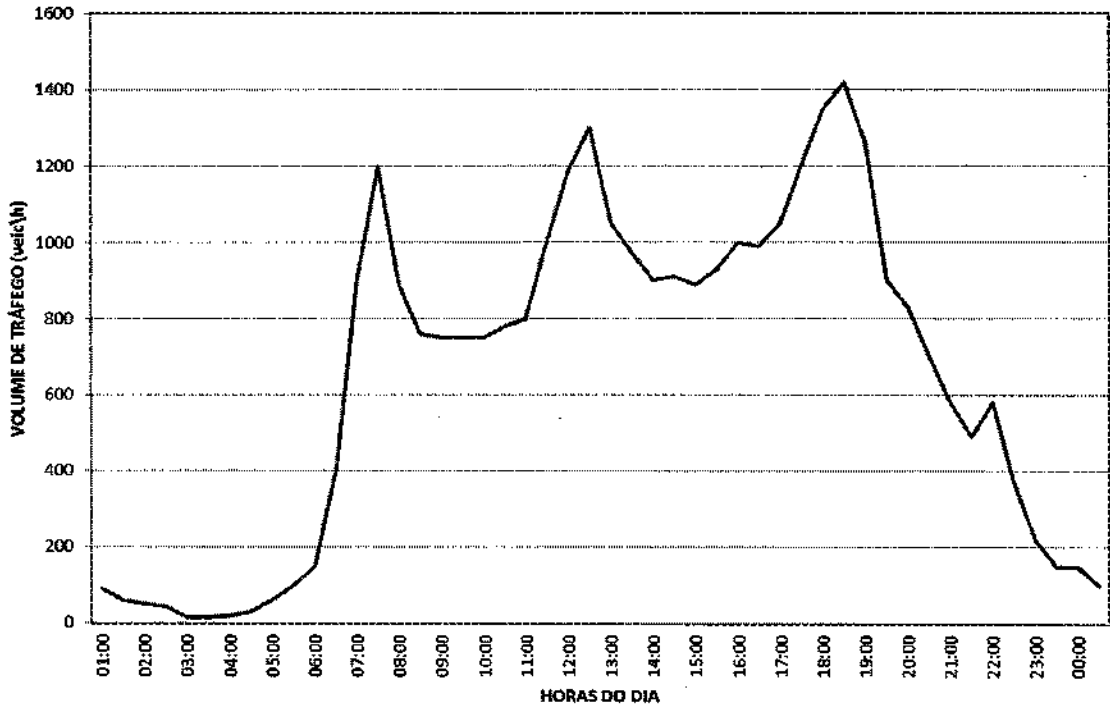


Figura 6.1: Exemplo da variação horária do volume em um dia útil

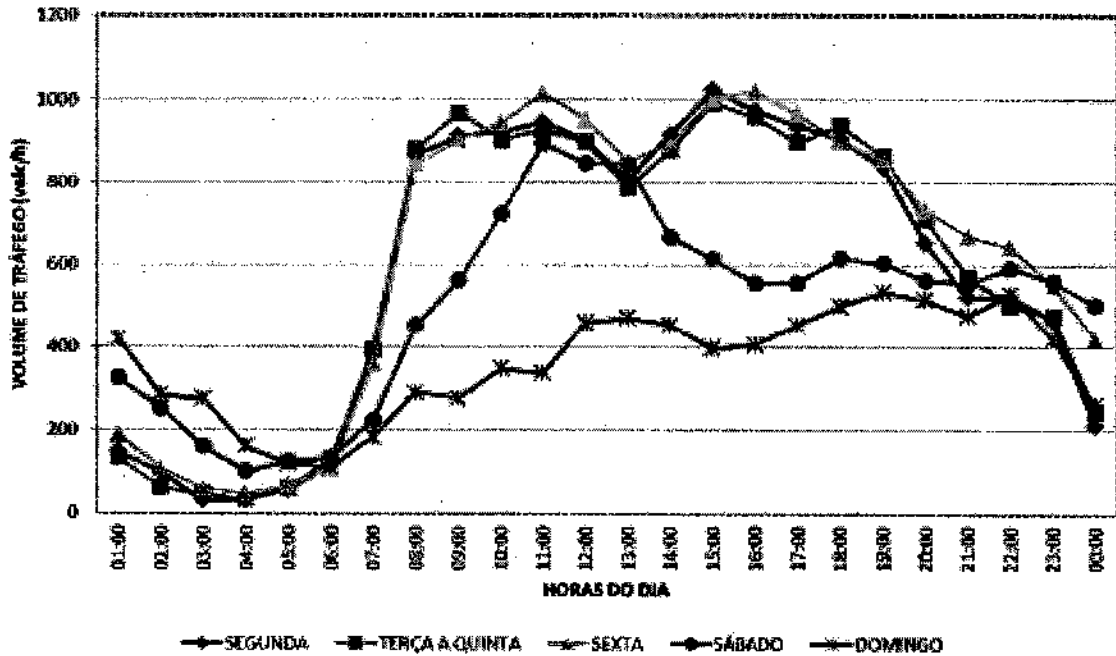


Figura 6.2: Exemplo da variação diária do volume ao longo da semana

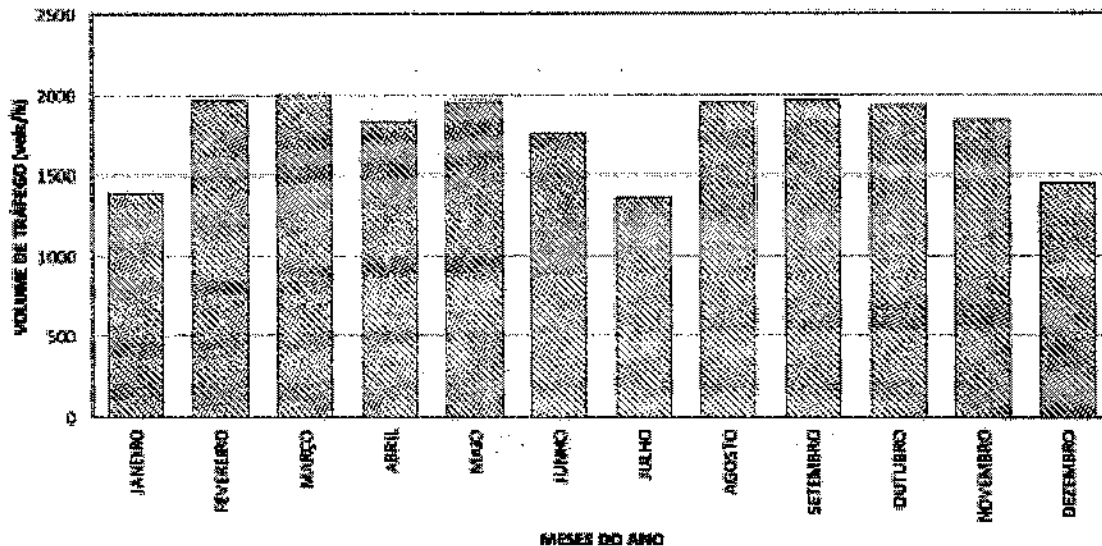


Figura 6.3: Exemplo da variação mensal do volume ao longo do ano

As contagens são usualmente registradas a cada 15 minutos e **devem** apresentar o número de pedestres e veículos de cada movimento.

No caso dos movimentos veiculares, a contagem **deve** ser classificada por tipo de veículo. Essa classificação se justifica pelo fato de veículos de tipos distintos apresentarem desempenho operacional diferenciado, que **deve** ser contemplado no cálculo da programação semafórica. Os tipos de veículos a serem considerados **devem** ser definidos na fase de planejamento dos trabalhos de coleta, em função das características do tráfego do local e do propósito da pesquisa. O Apêndice 3 traz um modelo de planilha utilizado para a contagem volumétrica classificada.

5.2 Volume de Tráfego Equivalente

Denomina-se volume de tráfego equivalente o volume de tráfego veicular expresso em termos de unidades de carros de passeio (ucp).

O desempenho de cada tipo de veículo difere em função de suas características. Os automóveis, referidos na literatura técnica como veículos leves, têm mais agilidade no trânsito se comparados aos veículos comerciais (ônibus, caminhões, carretas). Do mesmo modo, as motocicletas têm mais agilidade do que os automóveis.

Para se poder compor o volume de tráfego de uma via numa base única, utiliza-se o conceito de veículo equivalente. O veículo equivalente tem como valor de referência o automóvel, para o qual se adota fator de equivalência = 1,0 ucp (unidade de carro de passeio).

Para os demais tipos de veículos, o fator de equivalência de cada um reflete o desempenho de sua circulação no sistema viário em comparação com o desempenho do automóvel.

No caso particular da sinalização semafórica, o desempenho de um veículo está diretamente associado ao tempo de verde necessário para atendê-lo. Se, por exemplo, para passar por uma interseção semaforizada, certo tipo de veículo demorar o triplo do que demoraria um automóvel, então seu fator de equivalência é igual a 3.

Na Tabela 6.1 são apresentados os fatores de equivalência usualmente utilizados. A equivalência de veículos não previstos na tabela, tais como ônibus articulados, carretas e bicicletas, deve ser avaliada em estudos específicos.

Tabela 6.1: Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos

TIPO	FATOR DE EQUIVALÊNCIA
Automóvel	1,00
Moto	0,33
Ônibus	2,00
Caminhão (2 eixos)	2,00
Caminhão (3 eixos)	3,00

Para efeito da programação semafórica, a Tabela 6.1 pode ser utilizada em situações onde não for possível medir o fluxo de saturação diretamente no local (Ver Apêndice 6).

5.3 Taxa de Fluxo

Denomina-se taxa de fluxo de um movimento o número de veículos projetado para o período de uma hora a partir dos volumes medidos em uma dada seção de via, durante intervalos de tempo inferiores a uma hora.

Essa taxa de fluxo pode ser projetada a partir do Volume de Tráfego ou do Volume de Tráfego Equivalente.

Na programação em tempo fixo, a taxa de fluxo é projetada, usualmente, com base no volume máximo observado nos intervalos de 15min ao longo do período já estabelecido para a duração do plano. Deve ser considerado o intervalo de 15min em que a soma dos movimentos em todas as aproximações da interseção é máxima.

Para planos com duração superior a duas horas, os volumes devem ser observados, no mínimo, ao longo das duas horas mais carregadas.

Na literatura técnica, o termo "fluxo de tráfego" é empregado como sinônimo de volume de tráfego, isto é, como o número de veículos ou pedestres que passa por uma dada seção de via durante o período de realização de uma contagem. Em alguns casos, esse termo também é usado como sinônimo de taxa de fluxo. Por isso, é importante que o técnico esteja atento para distinguir em qual dos dois sentidos o termo fluxo está sendo empregado: se é o volume efetivamente observado num intervalo ou se é sua projeção para o período de uma hora (correspondendo à taxa de fluxo).

5.4 Fluxo de Saturação e Tempo Perdido de um ciclo

5.4.1 Fluxo de saturação

O Fluxo de Saturação de um grupo de movimentos corresponde ao número máximo de veículos que poderia passar em uma aproximação controlada por sinalização semafórica no caso dessa aproximação receber indicação verde durante uma hora inteira. É representado pela máxima taxa de fluxo de tráfego observada em períodos saturados, como ilustram as Figuras 6.4 e 6.5.

O Fluxo de Saturação é afetado pelas condições da via, do tráfego e do ambiente. Em relação às condições da via, os fatores mais importantes são a topografia, geometria, o número e a largura das faixas, e o estado do pavimento. Em função dessas condições, seu valor em geral varia entre 1600 e 2000 unidades de carro de passeio por hora por faixa.

Quanto às condições do tráfego, o fluxo de saturação é influenciado pela composição do tráfego veicular (tipos de veículos), pelo volume de pedestres e por eventuais interferências tais como pontos de ônibus próximos ou estacionamentos.

5.4.2 Tempo perdido de um ciclo

No que diz respeito às características ambientais, a iluminação e a chuva são os fatores mais relevantes.

Para efeito da programação semafórica, Tempo Perdido de um ciclo, ou simplesmente Tempo Perdido Total, é a parte do ciclo que não é efetivamente utilizada pelos veículos. Sua ocorrência pode ter duas causas:

a) Existência de estágio de pedestres.

Durante um estágio exclusivo para pedestres, a passagem dos veículos na interseção é interrompida.

b) Alternância de passagem entre as correntes de tráfego veicular.

Em toda troca de estágio, por razões de segurança, ocorre um período de entreverdes durante o qual o fluxo dos veículos que estão perdendo o direito de passagem vai se reduzindo até chegar a zero. Além disso, demora certo tempo até que o fluxo dos veículos que estão ganhando o direito de passagem atinja o valor do fluxo de saturação. Durante estes dois intervalos, portanto, existe uma perda representada pela diferença entre o número de veículos que poderia ter passado, se o fluxo se mantivesse no patamar do fluxo de saturação, e o número de veículos que conseguiu efetivamente passar.

A Figura 6.4 mostra o que ocorre nesses dois intervalos e auxilia o entendimento da formulação matemática da questão. O segmento de reta AB está posicionado de forma que as áreas das duas figuras hachuradas no início do verde sejam iguais entre si.

Analogamente, o segmento de reta CD iguala as duas áreas hachuradas durante o entreverdes. Dessa forma, pode-se afirmar que a situação real equivale àquela em que o fluxo é nulo durante os intervalos t_{pi} (tempo perdido no início do estágio) e t_{pf} (tempo perdido no final do estágio) e igual ao fluxo de saturação durante o resto do estágio.

O tempo perdido total, representado por T_p , será calculado, então, com o uso da Equação 6.1.

$$T_p = t_{ep} + \sum_{i=1}^n (t_{pin_i} + t_{pfni}) \quad (6.1)$$

em que,

T_p - tempo perdido total, em segundos;

t_{ep} - tempo de estágio exclusivo para pedestres, caso existente, em segundos;

n - número de estágios veiculares existentes;

t_{pin_i} - tempo perdido no início do estágio i , em segundos;

t_{pfni} - tempo perdido no final do estágio i , em segundos.

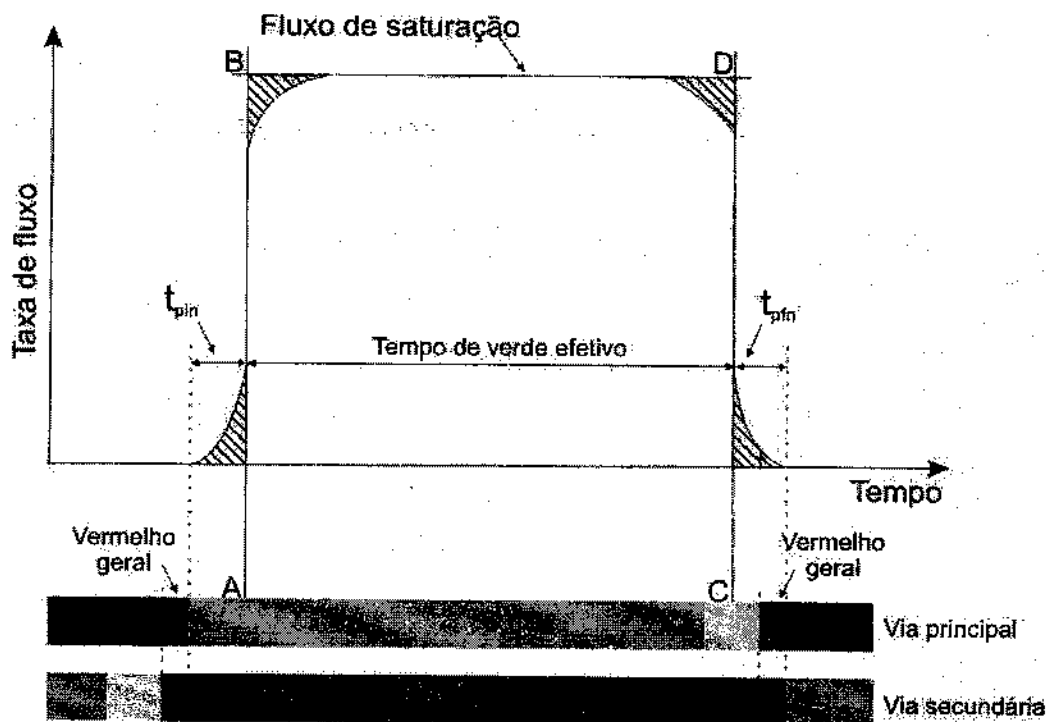


Figura 6.4: Fluxo de saturação e tempos perdidos em estágio saturado

A Figura 6.5 apresenta a condição mais comumente encontrada nas vias em que a passagem dos veículos à taxa de fluxo de saturação ocorre apenas durante um tempo inferior ao tempo de verde, até que a fila que se formou durante o vermelho seja dissipada. Após esse período verifica-se que o fluxo muda para um patamar inferior, que corresponde à demanda de veículos que continuam chegando à aproximação.

Nessa condição, ainda é possível medir diretamente no local o fluxo de saturação e o tempo perdido no início do estágio, mas não é mais possível medir o tempo perdido no final.

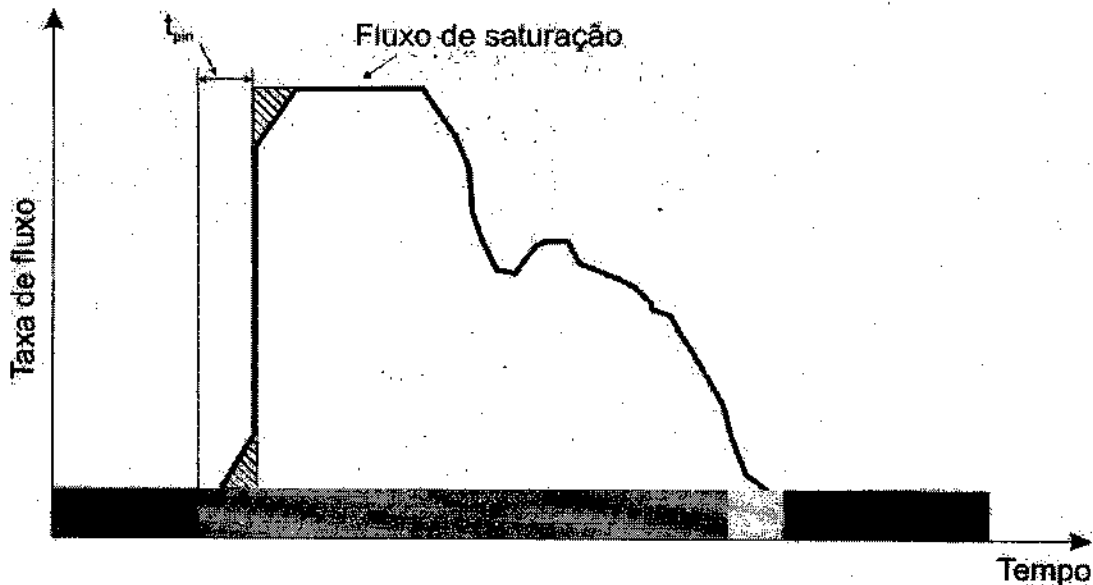


Figura 6.5: Fluxo de saturação e tempo perdido inicial em estágio não saturado

É recomendável medir diretamente no local os valores do fluxo de saturação e dos tempos perdidos inicial e final. O Apêndice 6 apresenta métodos para a medição desses parâmetros, além de procedimentos para estimá-los quando a medição não for possível.

5.5 Taxa de ocupação

Denomina-se taxa de ocupação de um grupo de movimentos, representada pelo símbolo y , a relação entre sua taxa de fluxo e o respectivo fluxo de saturação, expressos na mesma unidade. É calculada pela Equação 6.2.

$$y = \frac{F}{FS} \quad (6.2)$$

em que,

y – taxa de ocupação;

F – taxa de fluxo do grupo de movimentos, em veículos por hora, ou ucp por hora;

FS – fluxo de saturação do grupo de movimentos, em veículos por hora ou ucp por hora.

5.6 Grupo de Movimentos Crítico

Denomina-se grupo de movimentos crítico de um estágio o grupo de movimentos que apresenta maior taxa de ocupação dentre aqueles que recebem verde nesse estágio. O tempo de ciclo e os tempos de verde são calculados em função das taxas de ocupação somente dos grupos de movimentos críticos.

Quando um grupo de movimentos é servido em mais de um estágio, a determinação do tempo de ciclo e tempos de verde segue procedimento especial, apresentado no Exemplo 7.2.3 do Capítulo 7.

5.7 Entreverdes

O entreverdes é a parte do estágio programada após o fim do intervalo de verde, com o propósito de evitar acidentes entre os usuários que estão perdendo seu direito de passagem e aqueles que vão passar a adquiri-lo no estágio subsequente.

No caso dos grupos focais veiculares, compõe-se do intervalo de amarelo seguido, sempre que possível, do intervalo de vermelho geral. No caso de grupos focais de pedestres consiste no intervalo de vermelho intermitente seguido do intervalo de vermelho geral.

5.7.1 Entreverdes para os veículos

Este tempo tem a função de assegurar a travessia da interseção por veículos que, ao receberem a indicação amarela, se encontrem a uma distância da linha de retenção insuficiente para parar com segurança.

Neste caso, o tempo de entreverdes **deve** ser suficiente para que o veículo possa tanto percorrer a distância até a linha de retenção (d_1 na Figura 6.6) como concluir a travessia abandonando a área de conflito (d_2 na mesma figura) antes que os veículos ou pedestres dos movimentos conflitantes recebam direito de passagem.

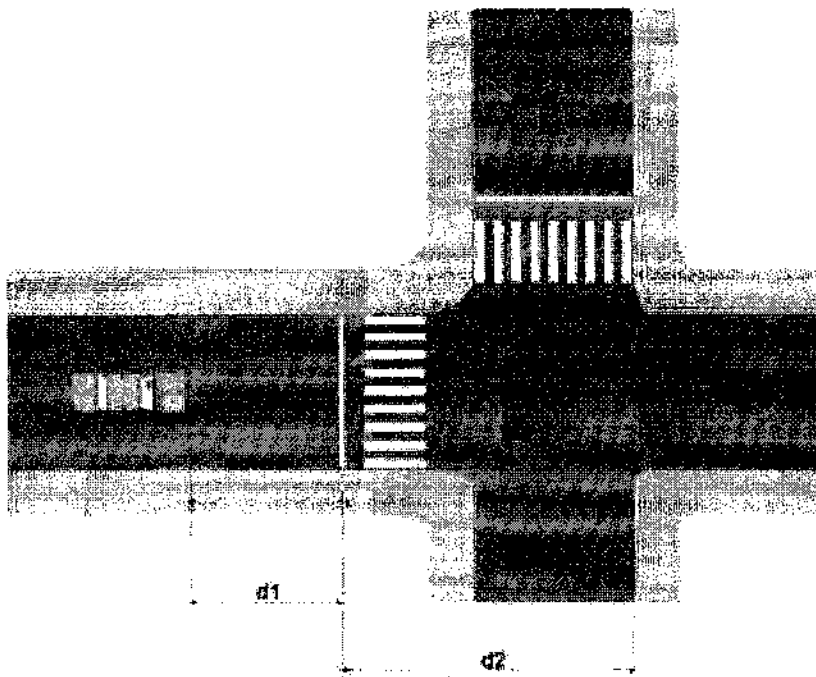


Figura 6.6: Distâncias percorridas pelo veículo junto à aproximação

A partir deste conceito a Equação 6.3 calcula o tempo de entreverdes necessário para atender o veículo que estiver na posição mais desfavorável no instante em que seu intervalo verde é encerrado.

$$t_{ent} = t_{pr} + \frac{v}{2(a_{ad} \pm ig)} + \frac{d_2 + c}{v} \quad (6.3)$$

em que,

t_{ent} – tempo de entreverdes para o grupo focal de veículos; em segundos;

t_{pr} - tempo de percepção e reação do condutor, em segundos;

v – velocidade do veículo, em m/s;

a_{ad} – máxima taxa de frenagem admissível em via plana, em m/s^2 ;

i – inclinação da via na aproximação, sendo “+” em rampas ascendentes e “-” em rampas descendentes (m/m);

g – aceleração da gravidade ($9,8 m/s^2$);

d_2 – extensão da trajetória do veículo entre a linha de retenção e o término da área de conflito, em metros;

c – comprimento do veículo, em metros.

Ao compor o tempo de entreverdes, o tempo de amarelo (t_{am}) **deve** ser igual à soma das duas primeiras parcelas da Equação 6.3 e o tempo de vermelho geral (t_{vg}) **deve** ser igual à última. Nesse caso, esses tempos serão calculados segundo as Equações 6.4 e 6.5.

$$t_{am} = t_{pr} + \frac{v}{2(a_{ad} \pm ig)} \quad (6.4)$$

$$t_{vg} = \frac{d_2 + c}{v} \quad (6.5)$$

em que t_{am} representa o tempo de amarelo enquanto t_{vg} indica o tempo de vermelho geral.

Usualmente, adotam-se os seguintes valores para as grandezas envolvidas:

$$t_{pr} = 1,0 \text{ s};$$

v = velocidade regulamentada da via, expressa em m/s;

$$a_{ad} = 3,0 \text{ m/s}^2;$$

c = 5 m (onde o fluxo é predominantemente constituído por automóveis).

Em situações em que o local apresente condições particulares de topografia ou composição do tráfego, estes valores **devem** ser substituídos por outros levantados diretamente em campo.

A máxima taxa de frenagem admissível varia em função das características dos veículos e da via. Assim, o valor usual de $3,0 \text{ m/s}^2$ representa condições médias observadas na prática. Para situações especiais, o técnico **deve** realizar estudos para definir a taxa a ser usada no projeto.

Por razões de segurança, em vias com velocidade máxima regulamentada igual ou inferior a 40 km/h, o tempo de amarelo **não deve** ser inferior a 3s, independentemente do valor do vermelho geral.

Analogamente, em vias com velocidade máxima regulamentada igual a 50 ou 60 km/h, o tempo de amarelo **não deve** ser inferior a 4s. Para vias com velocidade regulamentada igual a 70 km/h, o tempo mínimo de amarelo **deve** ser igual a 5s.

Para todas as velocidades máximas regulamentadas, o tempo de amarelo não deve ser superior a 5s. Portanto, se o valor calculado pela equação 6.4 for superior a 5s, deve ser adotado $t_{am} = 5s$ e o restante do entreverdes concedido na forma de vermelho geral.

No caso de controladores antigos, em que não seja possível adotar o vermelho geral, o tempo mínimo de amarelo **deve** corresponder ao tempo total de entreverdes, e **deve** ser calculado de acordo com a Equação 6.3. No entanto, se esse valor for superior a 5s, **deve** ser adotado $t_{am} = 5s$ e o restante do entreverdes concedido na forma de vermelho geral, mesmo que isso implique na troca do controlador.

O vermelho geral do estágio veicular deve ser acrescido de, no mínimo, 1 segundo sempre que o estágio subsequente atender travessia de pedestres.

5.7.2 Entreverdes para os pedestres

O entreverdes para os pedestres é composto basicamente pelos intervalos de vermelho intermitente e de vermelho geral. O intervalo de vermelho intermitente deve ser suficiente para que o pedestre que iniciou sua travessia no intervalo de verde possa concluí-la com segurança na velocidade normal de caminhada. O intervalo de vermelho geral deve ter duração mínima de 1 segundo.

A Equação 6.6 calcula o tempo do intervalo de vermelho intermitente necessário para atender o pedestre que estiver na posição mais desfavorável no instante em que seu intervalo verde é encerrado.

$$t_{ent} = t_{pr} + \frac{l}{v_p} \quad (6.6)$$

em que,

t_{ent} – tempo do intervalo de vermelho intermitente para o grupo focal de pedestres, em segundos;

t_{pr} - tempo de percepção e reação do pedestre, em segundos;

l – extensão da travessia, em metros;

v_p – velocidade do pedestre, em m/s.

Usualmente, adota-se o tempo de percepção e reação do pedestre igual a 1,0 s e a sua velocidade igual a 1,2 m/s.

Em situações específicas, em que o local é utilizado sistematicamente por pedestres com mobilidade reduzida ou quando, devido às características do local, são verificados deslocamentos mais lentos, estes valores devem ser substituídos por outros levantados diretamente em campo.

Considerando que o tempo de entreverdes calculado conforme a Equação 6.6 é suficiente para garantir a realização da travessia, o tempo de verde deve ser definido de acordo com o estabelecido na seção 6.14.

5.8 Grau de Saturação

Grau de saturação de um grupo de movimentos, representado pelo símbolo x , é uma grandeza obtida pela relação entre a taxa de fluxo do grupo de movimentos e a capacidade para o atendimento desse fluxo durante o período de uma hora.

O grau de saturação é um indicador que reflete se existe reserva de capacidade para o atendimento do grupo de movimentos, ou se a aproximação correspondente está próxima da saturação, e é calculado pela expressão mostrada na Equação 6.7.

$$x = \frac{F}{Cap} \quad (6.7)$$

em que,

x – grau de saturação;

F – taxa de fluxo do grupo de movimentos, em veículos por hora, ou ucp por hora;

Cap – capacidade, em veículos por hora, ou ucp por hora (ver item 6.11).

A Figura 6.7 ilustra o conceito de determinação do grau de saturação, com base na observação de um ciclo. A área hachurada representa o volume que passou durante um ciclo e, nesse exemplo, é inferior à área do retângulo, que representa o máximo volume que pode passar no ciclo (capacidade de atendimento no ciclo). Quanto maior for a relação entre o volume que passou e o máximo que pode passar, mais próxima da saturação está a aproximação correspondente no referido ciclo.

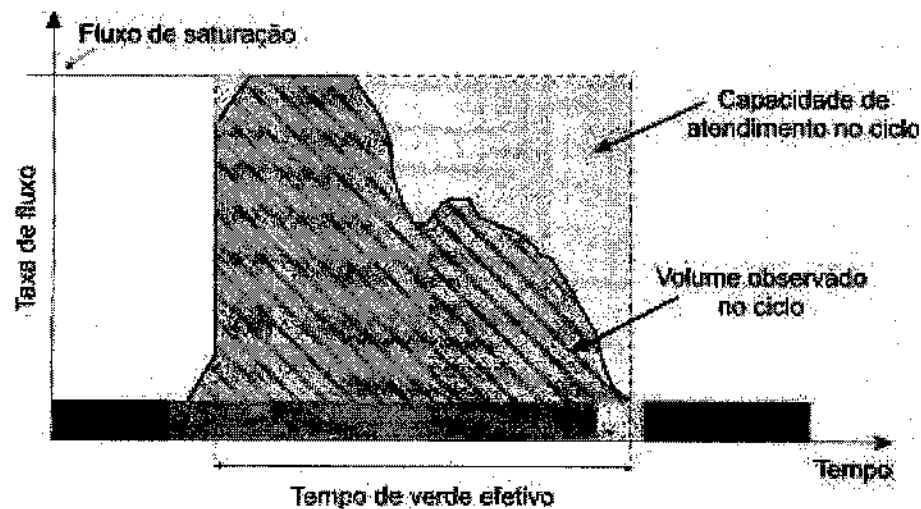


Figura 6.7: Ilustração do conceito de determinação do grau de saturação

5.9 Tempo de Ciclo

Denomina-se ciclo a sequência completa das indicações de uma sinalização semafórica. O tempo de ciclo é o tempo necessário para que um ciclo inteiro seja cumprido em uma interseção, ou seção de via, e é determinado pela soma dos tempos de todos os estágios programados para o controle do tráfego no local.

Como valores altos para o tempo de ciclo implicam em tempos de espera muito elevados, nas situações comuns de controle esse valor não deve superar 120s. Em situações excepcionais de tráfego e/ou de geometria da interseção, pode ser necessário adotar tempos de ciclo maiores. Nesses casos deve ser dada especial atenção ao tratamento para a travessia dos pedestres no local, adotando-se medidas como implantação de travessia em etapas, travessia em desnível, dentre outras soluções possíveis.

Apresenta-se a seguir dois métodos para calcular o tempo de ciclo: Método do grau de saturação máximo e Método de Webster.

5.9.1 Método do grau de saturação máximo

É baseado no grau de saturação máximo definido pelo projetista para cada grupo de movimentos no período dos 15 minutos de volume máximo, conforme indicado no item 6.3.

O método inicia pelo cálculo da fração de verde necessária para cada estágio, por meio da Equação 6.8.

$$p_i = \frac{y_i}{xm_i} \quad (6.8)$$

em que,

p_i – fração de verde requerida para o estágio i ;

y_i – taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio i ;

xm_i – grau de saturação máximo definido para o grupo de movimentos crítico do estágio i .

A partir do cálculo da fração de verde para cada estágio, o tempo de ciclo é calculado por meio da Equação 6.9.

$$t_c = \frac{T_p}{1 - \sum_{i=1}^n p_i} \quad (6.9)$$

em que,

t_c – tempo de ciclo, em segundos;

T_p – tempo perdido total, em segundos;

p_i – fração de verde requerida para o estágio i ;

n – número de estágios.

No caso particular em que se deseja adotar o mesmo grau de saturação xm para os grupos de movimentos críticos de todos os estágios, a determinação do tempo de ciclo é feita por meio da Equação 6.10, que é um caso particular da Equação 6.9.

$$t_c = \frac{xm T_p}{xm - \sum_{i=1}^n y_i} \quad (6.10)$$

Usualmente, adotam-se valores de grau de saturação compreendidos entre 0,75 e 0,90.

Valores superiores a 0,90 podem conduzir a uma reserva de capacidade insuficiente para absorver tanto a flutuação aleatória do trânsito como a redução ocasional do fluxo de saturação devido à ocorrência de incidentes. Por outro lado, valores inferiores a 0,75 podem conduzir a tempos de ciclo injustificadamente elevados.

5.9.2 Método de Webster

Calcula o tempo de ciclo, denominado pelo autor de tempo de ciclo ótimo, de forma que o tempo de espera veicular seja mínimo. Este método pressupõe chegadas aleatórias dos veículos nas aproximações e, portanto, sua utilização não é recomendada quando essa condição não se verifica. Também no caso de interseções com alto grau de saturação, a utilização desse método não é recomendável.

O tempo de ciclo ótimo é calculado por meio da Equação 6.11.

$$t_{co} = \frac{1,5 \times T_p + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i} \quad (6.11)$$

em que,

t_{co} – tempo de ciclo ótimo, em segundos;

T_p – tempo perdido total, em segundos;

y_i – taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio i ;

n – número de estágios.

De acordo com Webster, tempos de ciclo na faixa de 0,75 a 1,5 do tempo de ciclo ótimo produzem atrasos médios por veículos no máximo 20 % superiores ao valor do atraso obtido com o tempo de ciclo ótimo.

5.10 Tempo de verde real e tempo de verde efetivo

Denomina-se tempo de verde real de um estágio a duração do período em que o respectivo grupo focal permanece em verde, durante um ciclo.

Denomina-se tempo de verde efetivo de um estágio ao tempo de verde do estágio que seria efetivamente utilizado pelo fluxo do grupo de movimentos crítico, se este fosse descarregado com valor igual ao fluxo de saturação. Esse conceito somente se aplica no caso de operação saturada (ver Figura 6.4).

O tempo de verde efetivo é calculado pela Equação 6.12, quando o ciclo for determinado pelo Método do grau de saturação máximo, ou pela Equação 6.13, no caso da utilização do Método de Webster.

$$t_{v,efet,i} = p_i \times t_c \quad (6.12)$$

em que,

$t_{v,ef,i}$ – tempo de verde efetivo do estágio i , em segundos;

t_c – tempo de ciclo, em segundos;

p_i – fração de verde requerida para o estágio i .

$$t_{v,efet,i} = (t_c - T_p) \times \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (6.13)$$

em que,

$t_{v,ef,i}$ – tempo de verde efetivo do estágio i , em segundos;

t_c – tempo de ciclo, em segundos;

T_p – tempo perdido total, em segundos;

y_i – taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio i ;

n – número de estágios.

A Equação 6.14 relaciona o tempo de verde real ao tempo de verde efetivo.

$$t_{v,real} = t_{v,efet} - t_{ent} + t_{pin} + t_{pfn} \quad (6.14)$$

em que,

$t_{v,real}$ – tempo de verde real, em segundos;

$t_{v,efet}$ – tempo de verde efetivo, em segundos;

t_{ent} – tempo de entreverdes, em segundos;

t_{pin} – tempo perdido no início, em segundos;

t_{pfn} – tempo perdido no final, em segundos.

No caso de estágio de pedestres, o tempo de verde efetivo é igual ao tempo de verde real. O valor mínimo do tempo de verde do estágio de pedestres deve ser igual a quatro segundos, sendo o valor recomendado igual a sete segundos. Características específicas da travessia ou do fluxo de pedestres podem recomendar a adoção de valores superiores a sete segundos para o tempo de verde.

No caso em que a travessia de pedestres é servida durante um estágio veicular (travessia tipo carona), o tempo de verde do grupo focal do pedestre é determinado em função da duração desse estágio. O tempo de verde do grupo focal do pedestre será igual ao tempo do estágio veicular subtraído do tempo de vermelho intermitente (acrescido ou não de um tempo de vermelho geral) que deve ser igual ao tempo necessário para a travessia. Nesse caso, o tempo de verde para pedestres deve atender os valores mínimos estabelecidos no parágrafo anterior, podendo excedê-los.

Em todos os casos, o tempo de vermelho intermitente **deve** ser dimensionado de acordo com a Equação 6.6 (ver item 6.7.2), para garantir a travessia segura dos pedestres.

5.11 Capacidade

Denomina-se capacidade de um grupo de movimentos o número máximo de veículos que pode passar em uma aproximação controlada por sinalização semafórica durante uma hora, considerando-se a sua operação normal. É determinada pela Equação 6.15.

$$Cap = FS \times \frac{t_{v,efet}}{t_c} \quad (6.15)$$

em que,

Cap – capacidade, em veículos por hora ou ucp/h;

FS – fluxo de saturação, em veículos por hora ou ucp/h;

t_{v,efet} – tempo de verde efetivo, em segundos;

t_c – tempo de ciclo, em segundos.

O conceito de capacidade está representado na Figura 6.7.

5.12 Pelotões

A retenção dos veículos durante o intervalo vermelho faz com que se agrupem até serem liberados durante o verde. Quando liberados, eles iniciam a circulação em grupos compactos, denominados pelotões. À medida que o pelotão vai se afastando da linha de retenção, tende a se dispersar, processo denominado dispersão de pelotões. A Figura 6.8 ilustra esse processo ao longo de um segmento viário localizado a jusante de uma faixa de pedestres controlada por sinalização semafórica.

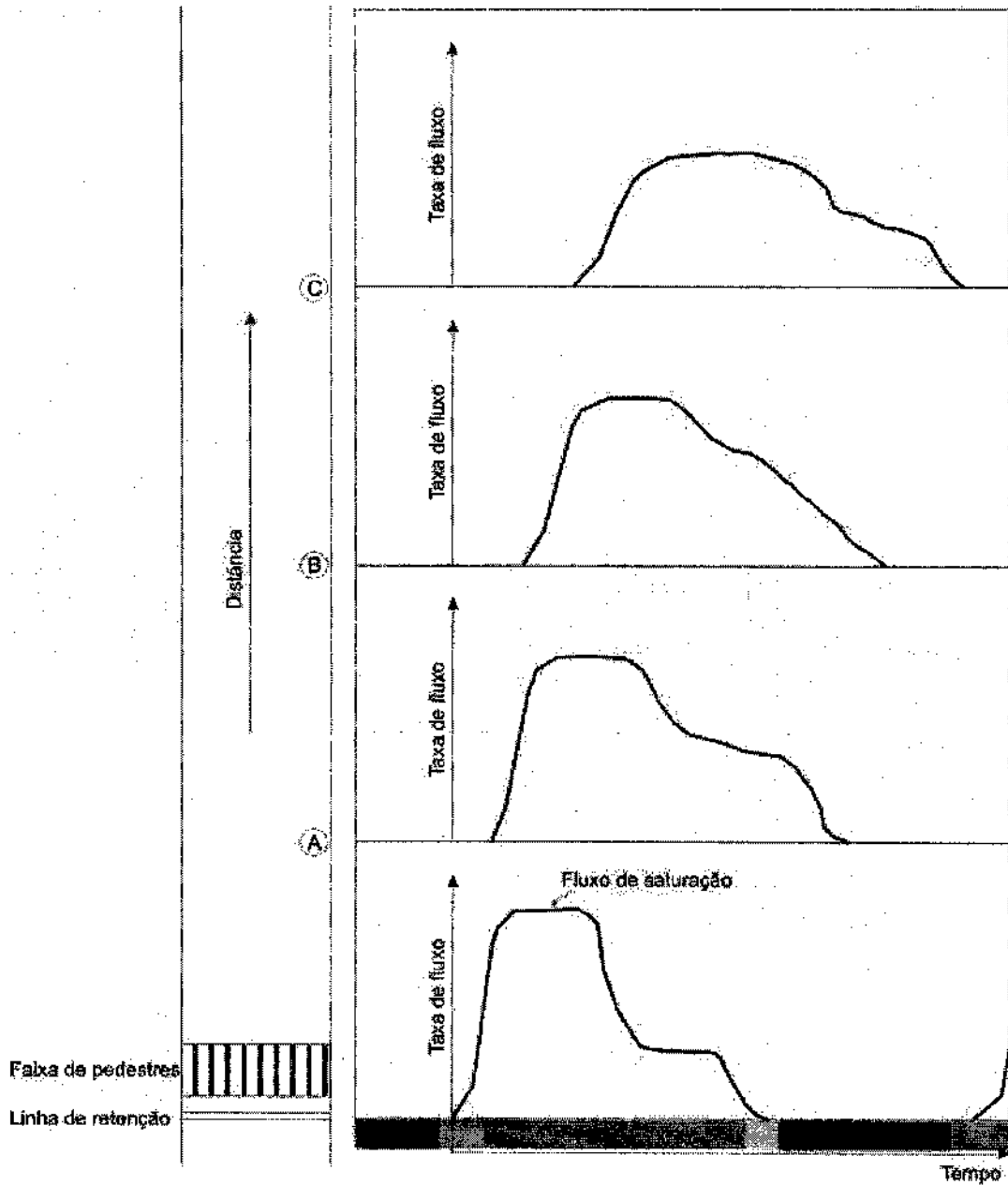


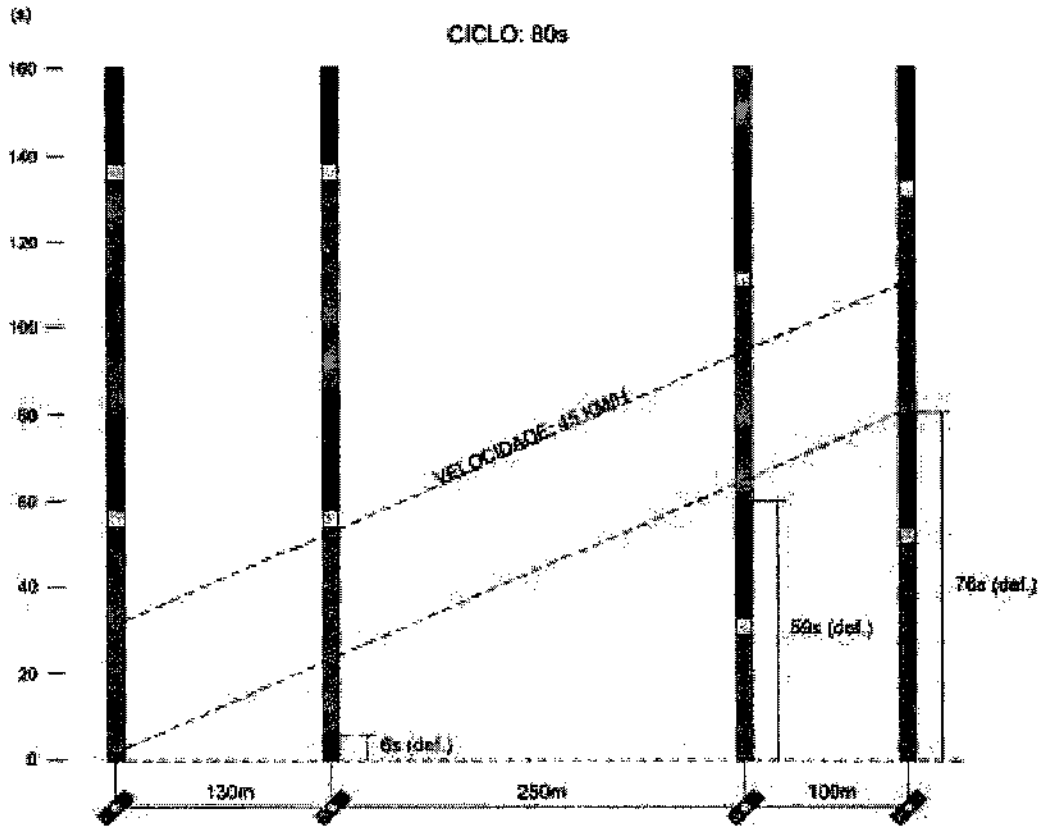
Figura 6.8: Dispersão de pelotões ao longo de um segmento viário

5.13 Defasagem

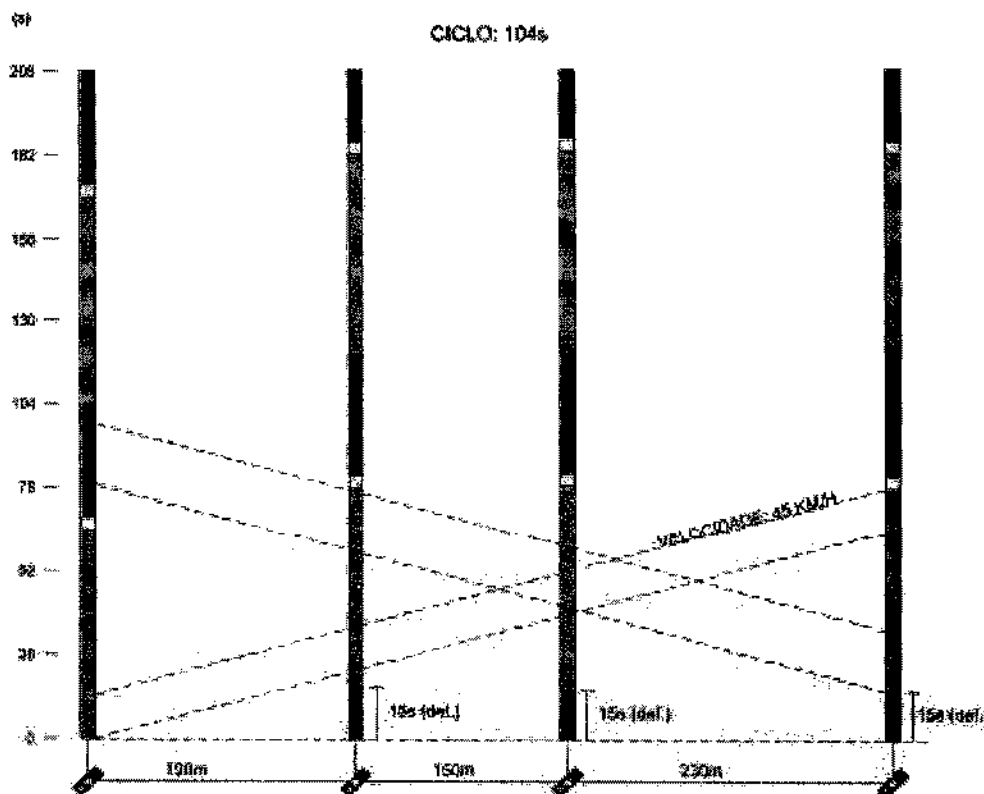
Considerando-se uma corrente de tráfego que passa por dois locais semaforizados pertencentes à mesma rede, denomina-se defasagem o intervalo de tempo decorrido entre o início do verde que essa corrente recebe nos dois locais.

Dois locais que pertencem à mesma rede **devem** operar no mesmo tempo de ciclo, ou na situação particular em que o tempo de ciclo de um local é submúltiplo do existente no outro.

A Figura 6.9 apresenta diagramas espaço-tempo, que ilustram a defasagem entre sinalizações semaforicas ao longo de uma via arterial, tendo como referência o início do verde da interseção mais à esquerda.



(a) Via de mão única



(b) Via de mão dupla

Figura 6.9: Defasagem entre sinalizações semafóricas ao longo de uma via arterial

5.14 Tempo de verde de segurança

Tempos de verde excessivamente curtos não são admissíveis, mesmo que sejam suficientes para atender a respectiva demanda, pois conduzem a situações com alto potencial de acidentes. Para evitá-los, define-se para cada grupo de movimentos, um parâmetro denominado tempo de verde de segurança, que corresponde ao valor mínimo admissível para a duração do tempo de verde que atende a esse grupo.

O dimensionamento da duração desse elemento para veículos é função da hierarquia da via, do volume de veículos, da largura da transversal, da composição do tráfego e da presença de pedestres.

Especificamente com relação à presença de pedestres, o tempo de verde de segurança para os veículos deve ter a duração necessária para garantir a travessia dos pedestres, com ou sem grupo focal para pedestres, cujo deslocamento é paralelo ao movimento para o qual está se determinando o verde de segurança veicular.

Os valores utilizados para o tempo de verde de segurança para os veículos variam usualmente entre 10 e 20 segundos, não sendo admitidos valores inferiores a 10 segundos.

O dimensionamento do tempo de verde de segurança para pedestres é função do volume de pedestres e das características específicas de cada travessia. Recomenda-se que a duração desse verde de segurança seja igual ou superior a 4 (quatro) segundos.

Deve-se ressaltar que o tempo de verde de segurança não é dimensionado em função do tempo de duração da travessia. A realização da travessia é assegurada pelo intervalo de vermelho intermitente.

A maior parte dos controladores semafóricos fabricados atualmente permite a programação do tempo de verde de segurança associado a cada grupo de movimentos. Essa programação deve refletir os valores calculados para os tempos de verde de segurança na etapa de dimensionamento da sinalização semafórica.

5.14.1 Recálculo da programação

Quando o tempo de verde para certo grupo de movimentos resultar inferior ao correspondente verde de segurança, deve-se recalculá-la a programação a fim de permitir que essa condição passe a ser satisfeita.

Em primeiro lugar, impõe-se que o tempo de verde do grupo de movimentos para o qual ocorreu a insuficiência seja igual ao correspondente tempo de verde de segurança; isso é realizado ajustando o(s) tempo(s) de verde do(s) estágio(s) em que tal grupo de movimentos é liberado. O próximo passo consiste em recalculá-lo o tempo de ciclo para, em seguida, redimensionar os tempos de verde dos estágios.

Apresentam-se, a seguir, os dois métodos mais utilizados para recalculá-lo o tempo de ciclo em função da necessidade de impor, para o estágio j , um tempo de verde real igual ao seu tempo de verde de segurança.

O Método 1 conduz à condição de que todos os grupos de movimentos críticos possuam o mesmo grau de saturação. Entretanto, para garantir tal igualdade, o tempo de ciclo, usualmente, atinge valores muito elevados causando atrasos indesejáveis. Por isso, em geral, se utiliza o Método 2, onde o usuário adota os valores de grau de saturação desejados, exceto para o estágio que teve seu tempo de verde fixado como igual ao tempo de verde de segurança.

No subitem 7.2.4 é apresentado um exemplo numérico de recálculo da programação, para o caso em que o verde calculado é inferior ao verde de segurança, levando em conta os dois métodos.

5.14.2 Método 1

A partir do cálculo do tempo de verde efetivo (Equação 6.13) e do tempo de verde real (Equação 6.14), chega-se à seguinte expressão para a obtenção do tempo de ciclo:

$$t_c = \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)}{y_j} \times (t_{v,real} + t_{ent} - t_{pin} - t_{pfn}) + T_p$$

Impondo nessa expressão a condição de que o tempo de verde do estágio j é igual ao seu tempo de verde de segurança ($t_{v,seg,j}$), chega-se à Equação 6.16.

$$t_c = \left(\frac{\sum_{i=1}^n y_i}{y_j} \right) \times (t_{v,seg,j} + t_{ent,j} - t_{pin,j} - t_{pfn,j}) + T_p \quad (6.16)$$

O cálculo dos tempos de verde é realizado utilizando a Equação 6.13.

5.14.3 Método 2

A Equação 6.9 pode ser escrita na forma:

$$t_c = t_c \times p_1 + t_c \times p_2 + \dots + t_c \times p_i + \dots + t_c \times p_n + T_p$$

Consideremos que o estágio j tenha seu tempo de verde real igualado ao seu tempo de verde de segurança ($t_{v,seg,j}$). Aplicando essa condição à Equação 6.14, vem:

$$t_{v,efet,j} = t_{v,seg,j} + t_{ent,j} - t_{pin,j} - t_{pfn,j}$$

Combinando as duas equações anteriores e considerando a Equação 6.12, chega-se à seguinte expressão para a obtenção do tempo de ciclo:

$$t_c = t_c \times p_1 + \dots + (t_{v,seg,j} + t_{ent,j} - t_{pin,j} - t_{pfn,j}) + \dots + t_c \times p_n + T_p \quad (6.17)$$

A fim de obter as frações de verde p_i utilizadas na Equação 6.17, o usuário deve impor o correspondente grau de saturação desejado e recorrer à Equação 6.8.

O cálculo dos tempos de verde é realizado utilizando a Equação 6.12, exceto para o estágio cuja duração do tempo de verde real foi imposta como sendo igual ao tempo de verde de segurança.

5.15 Verde mínimo veicular

Verde mínimo veicular é um elemento da programação de uma sinalização semafórica, operando no tipo de controle atuado. Tem por objetivo garantir a passagem de um número mínimo de veículos durante o período de verde de um estágio. Sua duração deve ser igual ou maior do que a do verde de segurança.

5.16 Extensão de verde

Extensão de verde é um elemento da programação do tipo de controle atuado. É o intervalo que se acresce ao tempo de verde veicular quando um veículo é detectado durante o verde mínimo veicular ou durante a extensão de verde anterior.

5.17 Tempo de verde máximo

Verde máximo é um elemento da programação do tipo de controle atuado. Tem por objetivo impedir que o tempo de verde se prolongue além de determinado valor, mesmo se ocorrerem ininterruptas solicitações de extensões de verde.

É utilizado para limitar o tempo de espera máximo dos pedestres ou dos veículos que pertençam a movimentos conflitantes com aquele que está sendo atendido pelo verde corrente.

O dimensionamento da duração do tempo de verde máximo depende das características do tráfego e da via. Sugere-se que esse valor seja 50% maior do que o tempo de verde que seria programado se o controle fosse feito por sinalização semafórica de tempo fixo.

5.18 Medidas de desempenho

É essencial avaliar continuamente o desempenho da operação do tráfego em decorrência da programação semafórica. Esta necessidade é maior quando uma nova programação é implementada, mas continua a ser necessária posteriormente, devido ao caráter dinâmico do trânsito.

Existem várias medidas de desempenho que podem ser empregadas nesta avaliação, dentre as quais as mais utilizadas são fila máxima, velocidade média, número de paradas, atraso, consumo de combustível, emissão de poluentes e custo monetário.

As medidas podem ser determinadas indiretamente por meio de programas de computador, denominados simuladores de trânsito. Algumas dessas medidas podem ser obtidas diretamente por meio de pesquisas em campo usando, por exemplo, os métodos indicados nos Apêndices 2 e 4.

A partir de algumas hipóteses simplificadoras, algumas das medidas de desempenho mais empregadas, como o atraso total e a fila máxima podem ser estimadas por expressões matemáticas (ver itens 6.18.2 e 6.18.3).

É importante ressaltar que é necessário avaliar o desempenho do trânsito tanto para os ocupantes dos veículos como para os pedestres.

5.18.1 Número de paradas

O número de paradas é um dos principais indicadores da qualidade da operação do trânsito podendo ser caracterizado pelo número total de paradas, número médio de paradas por veículo, ou porcentagem de veículos que param devido à sinalização semafórica.

A programação semafórica deve visar a minimização do número de paradas que, além de gerar desconforto ao usuário, aumenta o consumo de combustível e a emissão de determinados poluentes.

O número de paradas n_p , no caso de operação não saturada e taxas de fluxo de chegada e partida constantes (ver Figura 6.10) pode ser calculado pela Equação 6.18.

$$n_p = \frac{F \times FS}{FS - F} \times \frac{(t_c - t_{v,efet})}{3600} \quad (6.18)$$

em que,

n_p – número de veículos, ou ucp, que sofrem parada por ciclo;

F – taxa de fluxo, em veículo por hora ou ucp por hora;

FS – fluxo de saturação, em veículo por hora ou ucp por hora.

5.18.2 Fila máxima

Define-se fila como o número total de veículos aguardando em uma aproximação para transpor um local semaforizado. Veículos aproximando-se devagar do final de uma fila usualmente também são considerados como integrantes da mesma.

O indicador “fila máxima” é um dos mais utilizados devido à facilidade com que pode ser observado diretamente em campo e ao fato de que reflete adequadamente os outros indicadores.

A obtenção em campo do indicador “fila máxima” é feita pela observação, ao longo de vários ciclos, do número máximo de veículos na fila por ciclo. O valor do indicador é calculado como a média das filas máximas observadas.

A Figura 6.10 representa uma situação hipotética em que tanto a taxa de fluxo de chegada dos veículos (segmento AD) como a de saída (segmento BC) são constantes, sem aleatoriedade e sem sobredemanda. A cota f_1 exemplifica a fila em um instante durante o período de vermelho enquanto f_2 corresponde a um instante durante o período de verde. A fila f_{max} representa a fila máxima, que ocorre no instante de abertura do verde.

Na Figura 6.10, “ n_p ” é o número de veículos que pararam no ciclo, o ponto C corresponde ao instante em que a fila é zerada, e “ n_c ” é o número total de veículos que chegaram no ciclo.

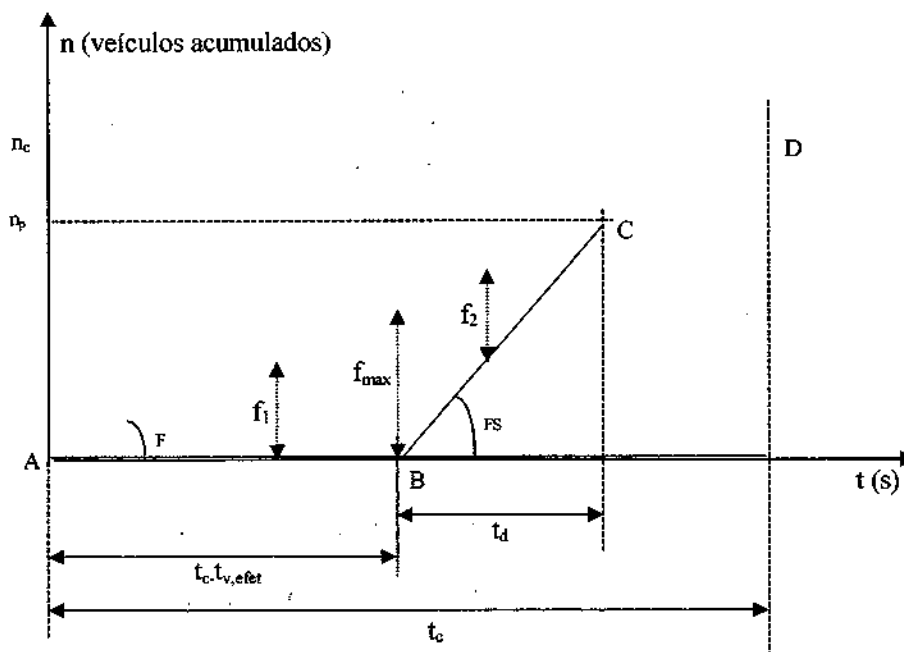


Figura 6.10: Processo de formação e dissipação de fila

A partir da Figura 6.10 pode-se deduzir as expressões da fila máxima e do tempo necessário para sua dissipação (Equações 6.19 e 6.20).

$$f_{max} = F \times \frac{(t_c - t_{vefet})}{3600} \quad (6.19)$$

e

$$t_d = \frac{F}{FS - F} \times (t_c - t_{vefet}) \quad (6.20)$$

em que,

f_{max} – fila máxima, em veículo ou ucp;

t_d – tempo necessário para dissipação da fila, em segundos;

F – taxa de fluxo, em veículo por hora ou ucp por hora;

FS – fluxo de saturação, em veículo por hora ou ucp por hora.

Situações onde o tempo necessário para dissipação da fila é superior ao tempo de verde resultam em congestionamento, com o crescimento da fila residual ciclo a ciclo, como pode ser observado na Figura 6.11.

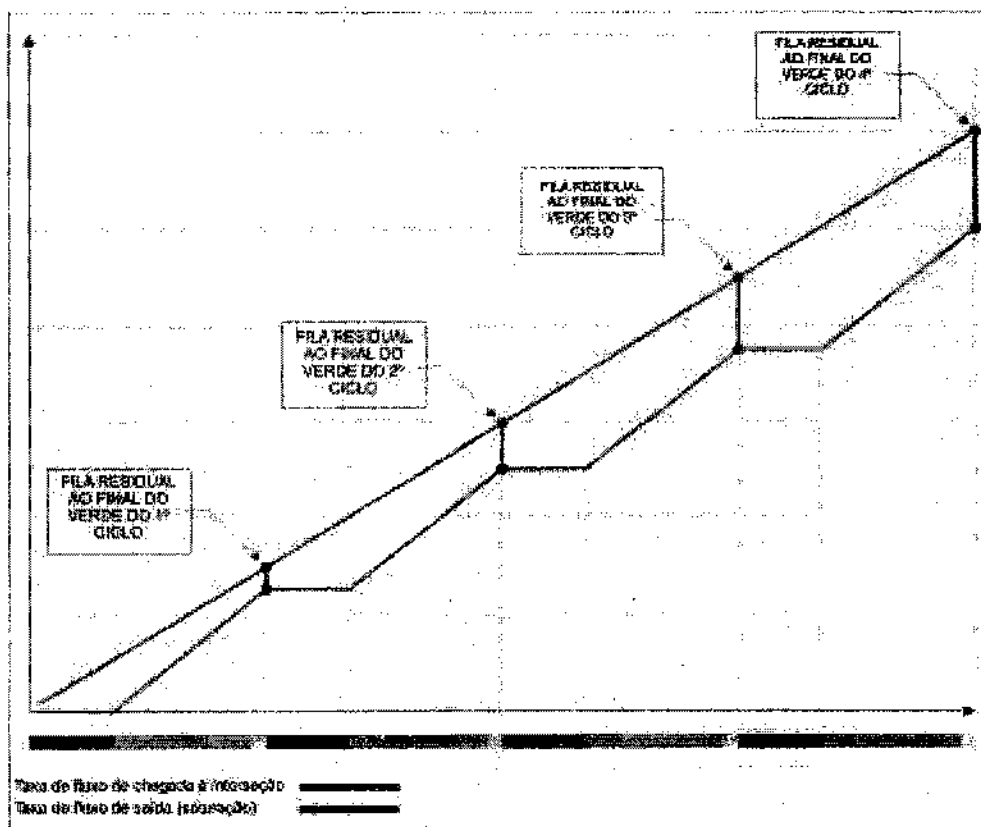


Figura 6.11: Ilustração do crescimento da fila ao longo de mais de um ciclo

5.18.3 Atraso

O indicador "atraso" visa medir a espera causada aos veículos pela sinalização semafórica.

O atraso representa a diferença entre o tempo gasto por um veículo para percorrer um determinado trecho sob o controle semafórico e o tempo que gastaria se percorresse o mesmo trecho em regime de fluxo ininterrupto, na velocidade desejada.

Nas situações de trânsito livre, em que todos os veículos conseguem passar no primeiro período de verde, o atraso é composto pelas parcelas atraso uniforme e atraso aleatório. À medida que o trânsito vai ficando mais saturado, surge também uma terceira parcela que é o atraso por sobredemanda. Quando a operação atinge o congestionamento total, o atraso aleatório desaparece, permanecendo os outros dois.

Na Figura 6.10, a área do triângulo ABC corresponde ao somatório dos atrasos dos veículos durante um ciclo. Como nesse exemplo hipotético a taxa de fluxo de chegada dos veículos é constante, sem aleatoriedade e sobredemanda, este valor é formado somente pelo atraso uniforme.

O valor da área do triângulo, dividido pelo número de veículos durante um ciclo (n_c na Figura 6.10), equivale ao atraso uniforme médio de um veículo e pode ser determinado pela Equação 6.21.

$$a_u = \frac{t_c(1-p)^2}{2(1-px)} \quad (6.21)$$

em que

a_u – atraso uniforme médio de um veículo, em segundos;

t_c – tempo de ciclo, em segundos;

p – fração de verde (relação entre o tempo de verde efetivo e o tempo de ciclo);

x – grau de saturação.

A expressão da Equação 6.22, elaborada por Webster, pode ser usada para calcular o atraso médio de um veículo, em situações não congestionadas, desde que a chegada dos veículos obedeça a uma distribuição aleatória em torno de um mesmo valor médio, o que significa que a chegada não deve ser influenciada por sinalizações semafóricas a montante ou quaisquer outras condições que causem a alteração do valor médio de chegada ao longo do tempo.

Nessa equação, a primeira parcela corresponde ao atraso uniforme, a segunda ao atraso aleatório e a terceira consiste num termo de ajuste da formulação teórica aos resultados práticos registrados.

$$a_{u+al} = \frac{t_c(1-p)^2}{2(1-px)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0,65 \left(\frac{t_c}{q^2}\right)^{1/3} x^{(2+5p)} \quad (6.22)$$

em que,

a_{u+al} – atraso médio de um veículo, composto pelas parcelas atraso uniforme e atraso aleatório, em segundos;

t_c – tempo de ciclo, em segundos;

p – fração de verde (relação entre o tempo de verde efetivo e o tempo de ciclo);

q – taxa de fluxo expresso em veículo por segundo ou ucp por segundo;

x – grau de saturação

Na maioria dos casos práticos, não se pode considerar que a chegada dos veículos obedeça a um padrão de aleatoriedade em torno de um mesmo valor médio. Interferências a montante, tais como interseções semaforizadas ou não, tornam o padrão de chegada por demais complexo para ser modelado analiticamente com a devida precisão. Além disso, situações sujeitas à sobredemanda, como aquela exemplificada na Figura 6.11, apresentam, evidentemente, dificuldade adicional de modelagem.

Existem algumas expressões analíticas propostas, como por exemplo, as apresentadas no *HCM – Highway Capacity Manual* (TRB, 2000), que procuram tratar os casos práticos. Entretanto, existem vários programas de computador (simuladores da operação do tráfego) que são capazes de oferecer respostas muito mais acuradas do que aquelas obtidas pelas expressões analíticas devido à possibilidade que têm de retratarem mais fielmente as particularidades de cada situação.

6 PROGRAMAÇÃO DE SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA ISOLADA DE TEMPO FIXO

6.1 Etapas de programação

A programação da sinalização semafórica deve ser elaborada de acordo com as etapas apresentadas a seguir.

A elaboração da programação semafórica de tempos fixos de uma interseção semaforizada é composta por quatro etapas principais:

Etapa I - Definição das condições em que a programação irá operar. No caso de reprogramação de sinalização semafórica existente, muitas vezes essa etapa não é realizada, pois são adotadas as condições pré-existentes.

Etapa II - Determinação das características operacionais do tráfego.

Etapa III - Cálculo da programação semafórica.

Etapa IV - Implementação da programação e avaliação dos resultados. Esta é uma etapa que deve ser cumprida sempre, mesmo que seja através da simples avaliação visual caso não existam recursos para efetivar uma avaliação mais elaborada.

A seguir, apresenta-se o detalhamento de cada uma dessas etapas. Nas Figuras 7.1 a 7.3 são apresentados, respectivamente, os fluxogramas das Etapas I, III e IV.

6.1.1 Etapa I - Definição das condições em que a programação deverá operar

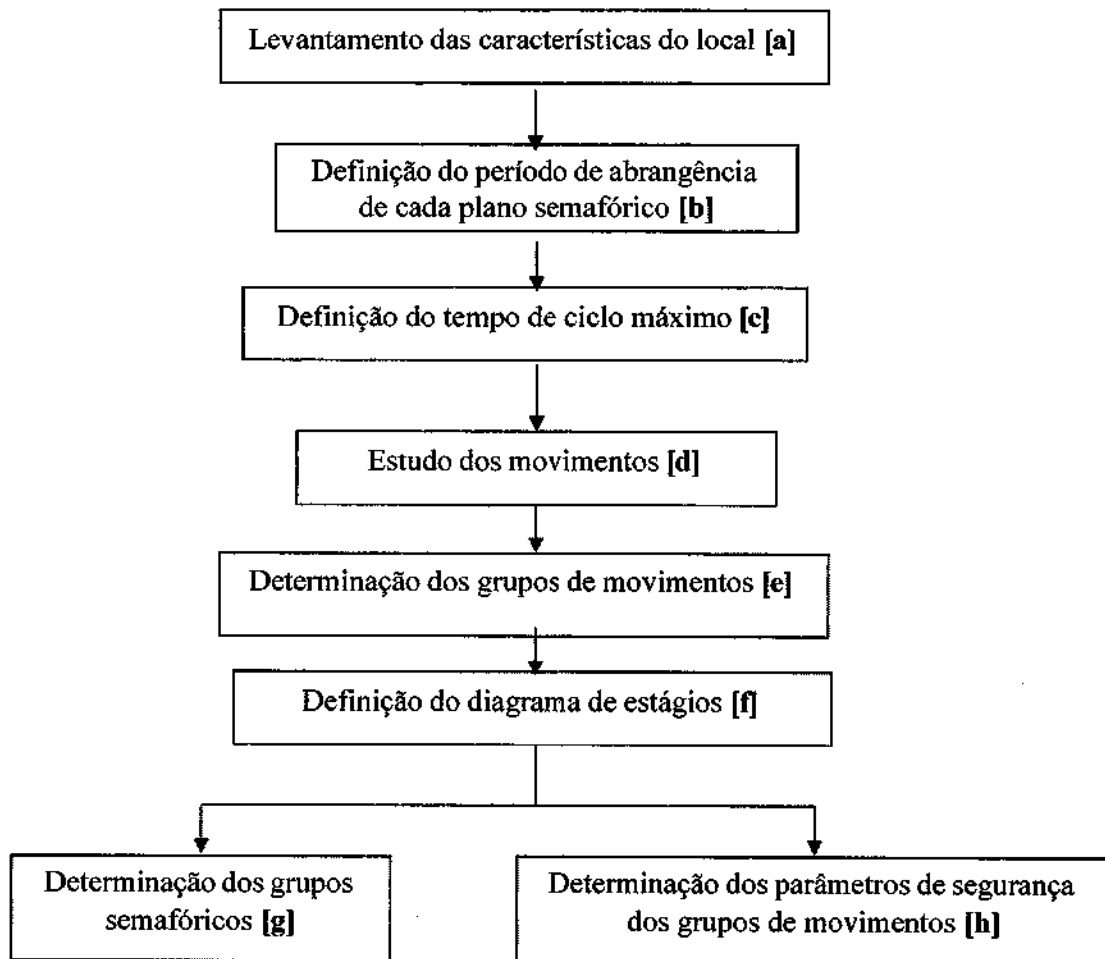


Figura 7.1: Sequência de atividades da Etapa I

Descrição dos blocos do fluxograma:

[a] Levantamento das características do local

O levantamento de campo deve contemplar, pelo menos, a observação das seguintes características:

- ✓ Geometria e topografia;
- ✓ Medição do tempo de percepção e reação dos pedestres;
- ✓ Medição da distância de travessia dos pedestres;
- ✓ Medição da velocidade dos pedestres;

- ✓ Velocidade regulamentada;
- ✓ Movimentos permitidos/proibidos;
- ✓ Regulamentação de estacionamento;
- ✓ Localização de ponto de ônibus;
- ✓ Localização de pólos geradores próximos;
- ✓ Observação de risco de acidentes no local;
- ✓ Histórico de acidentes;
- ✓ Histórico de sugestões e solicitações;
- ✓ Histórico de intervenções no local;
- ✓ Programação semafórica, no caso de sinalização semafórica existente, especialmente quanto a:
 - Sequência de estágios;
 - Tempo de verde ocioso;
 - Tempo de verde insuficiente para veículos e pedestres;
 - Análise dos tempos de entreverdes para veículos e pedestres;

[b] Definição do período de abrangência de cada plano semafórico

- ✓ Levantamento dos volumes ao longo do dia (ver Apêndice 3).
- ✓ Definição do período de operação da programação (horários de entrada e saída de cada plano, dias da semana e datas especiais).

[c] Definição do tempo de ciclo máximo

- ✓ Verificar as orientações apresentadas no item 6.9.

[d] Estudo dos movimentos (veículos e pedestres)

- ✓ Movimentos não-conflitantes.
- ✓ Movimentos conflitantes que podem ser atendidos simultaneamente.
- ✓ Movimentos conflitantes que não podem ser atendidos simultaneamente.

[e] Determinação dos grupos de movimentos

- ✓ Determinação dos grupos de movimentos que chegam à sinalização semafórica em cada aproximação.

[f] Definição do diagrama de estágios

- ✓ Definição de quais grupos de movimentos circularão em cada estágio em função dos conflitos entre eles.
- ✓ No caso de haver mais de dois estágios, definição da sua sequência em função, principalmente, de aspectos de segurança.

[g] Determinação dos grupos semaforicos

- ✓ Definição dos grupos semaforicos que atenderão os grupos de movimentos que recebem as mesmas indicações luminosas ao longo do ciclo.

[h] Determinação dos parâmetros de segurança dos grupos de movimentos

- ✓ Definição do tempo de verde de segurança para cada grupo de movimentos.
- ✓ Determinação do tempo de entreverdes:
 - Amarelo para cada grupo de movimentos veiculares;
 - Vermelho intermitente para os movimentos de pedestres;
 - Vermelho geral para cada grupo de movimentos.

6.1.2 Etapa II – Determinação das características operacionais do tráfego

- ✓ Determinação do valor do taxa de fluxo de cada grupo de movimentos, a partir das contagens volumétricas, para o período de abrangência do plano considerado.
- ✓ Determinação do valor do fluxo de saturação de cada grupo de movimentos durante o período de abrangência do plano.
- ✓ Determinação dos tempos perdidos inicial e final de cada grupo de movimentos durante o período de abrangência do plano (para sinalização semaforica existente).

6.1.3 Etapa III - Cálculo da programação semaforica

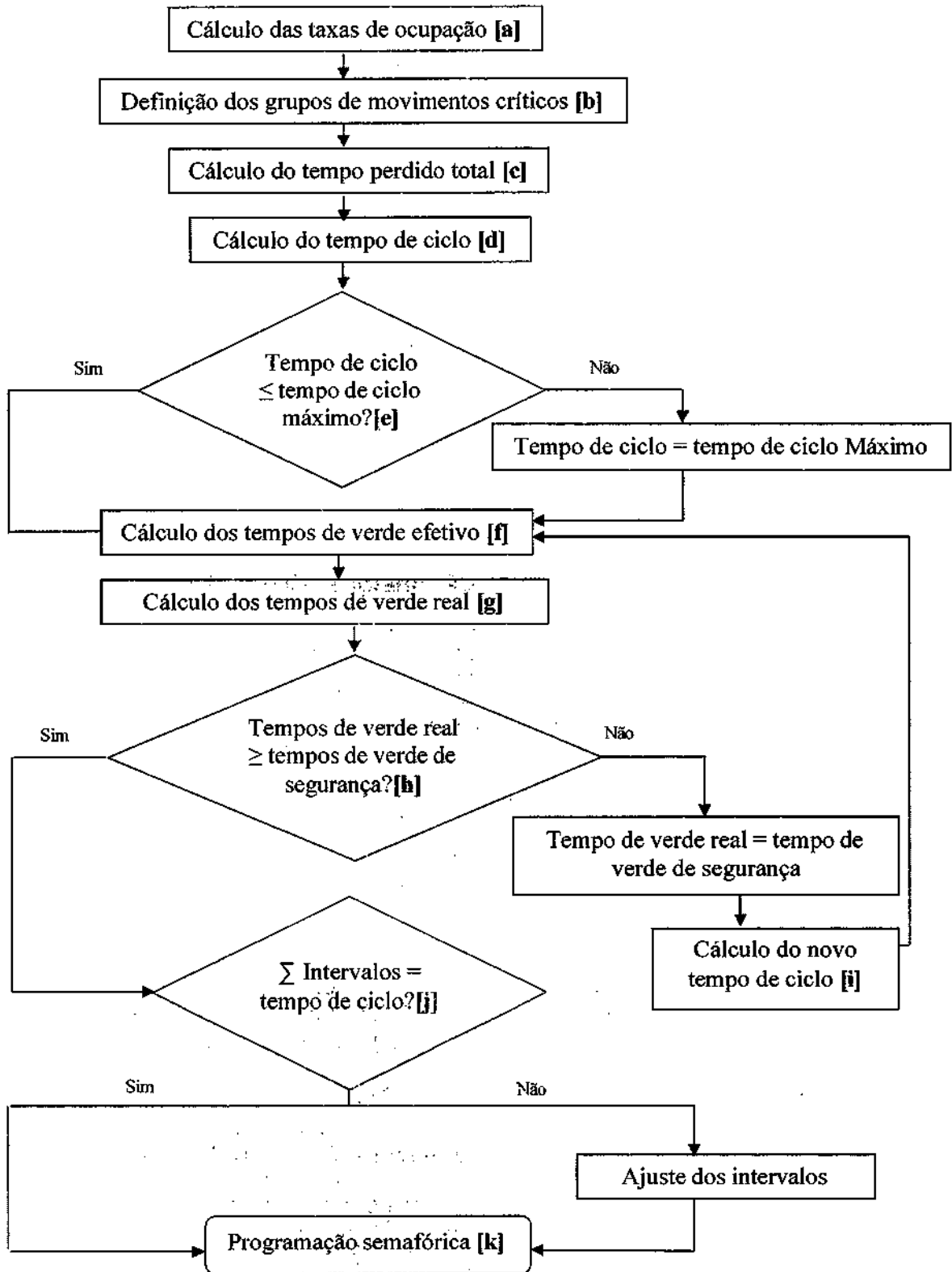


Figura 7.2: Sequência de atividades da Etapa III

[a] Cálculo das taxas de ocupação

- ✓ Cálculo da taxa de ocupação de cada grupo de movimentos (ver item 6.5)

[b] Definição dos grupos de movimentos críticos

- ✓ Definição do grupo de movimentos crítico representativo de cada estágio ou de um conjunto de estágios para casos mais complexos (ver item 6.6).

[c] Cálculo do tempo perdido total (ver item 6.4)**[d] Cálculo do tempo de ciclo (ver item 6.9)****[e] Tempo de ciclo \leq tempo de ciclo máximo?**

Verificação da condição de que o tempo de ciclo deve ser igual ou inferior ao tempo de ciclo máximo. Caso isso não ocorra, o tempo de ciclo adotado é igual ao tempo de ciclo máximo.

[f] Cálculo dos tempos de verde efetivo de cada estágio (ver item 6.10)**[g] Cálculo dos tempos de verde real de cada estágio (ver item 6.10)****[h] Tempos de verde real \geq tempos de verde de segurança?**

Verificação da condição de que os tempos de verde atribuídos a cada grupo de movimentos, definidos a partir dos tempos de verde de cada estágio, **devem** ser iguais ou superiores aos respectivos tempos de verde de segurança.

Caso isso não ocorra, o tempo do estágio que redundou na insuficiência do verde para algum grupo de movimentos tem que ser aumentado para que o referido grupo passe a dispor de um verde igual ao seu tempo de verde de segurança (ver item 6.14).

[i] Cálculo do novo tempo de ciclo

O tempo de ciclo deve ser recalculado, através de métodos específicos (ver item 6.14.1), para atender o(s) novo(s) tempo(s) de verde imposto(s).

[j] \sum Intervalos = tempo de ciclo?

Verificação da condição de que a soma de todos os intervalos luminosos de um ciclo deve ser igual ao tempo de ciclo. Devido à questão dos arredondamentos nos cálculos intermediários, pode ser que tal condição não seja cumprida.

Caso isso não ocorra, o(s) tempo(s) de algum(ns) intervalo(s) **deve(m)** ser ajustados a fim de coincidir sua soma com o tempo de ciclo, garantindo-se a não alteração dos tempos de entreverdes.

[k] Programação semafórica

Os passos anteriores culminaram na programação semafórica pretendida que é, normalmente, apresentada na forma do diagrama de intervalos luminosos.

6.1.4 Etapa IV - Implementação da programação e avaliação dos resultados

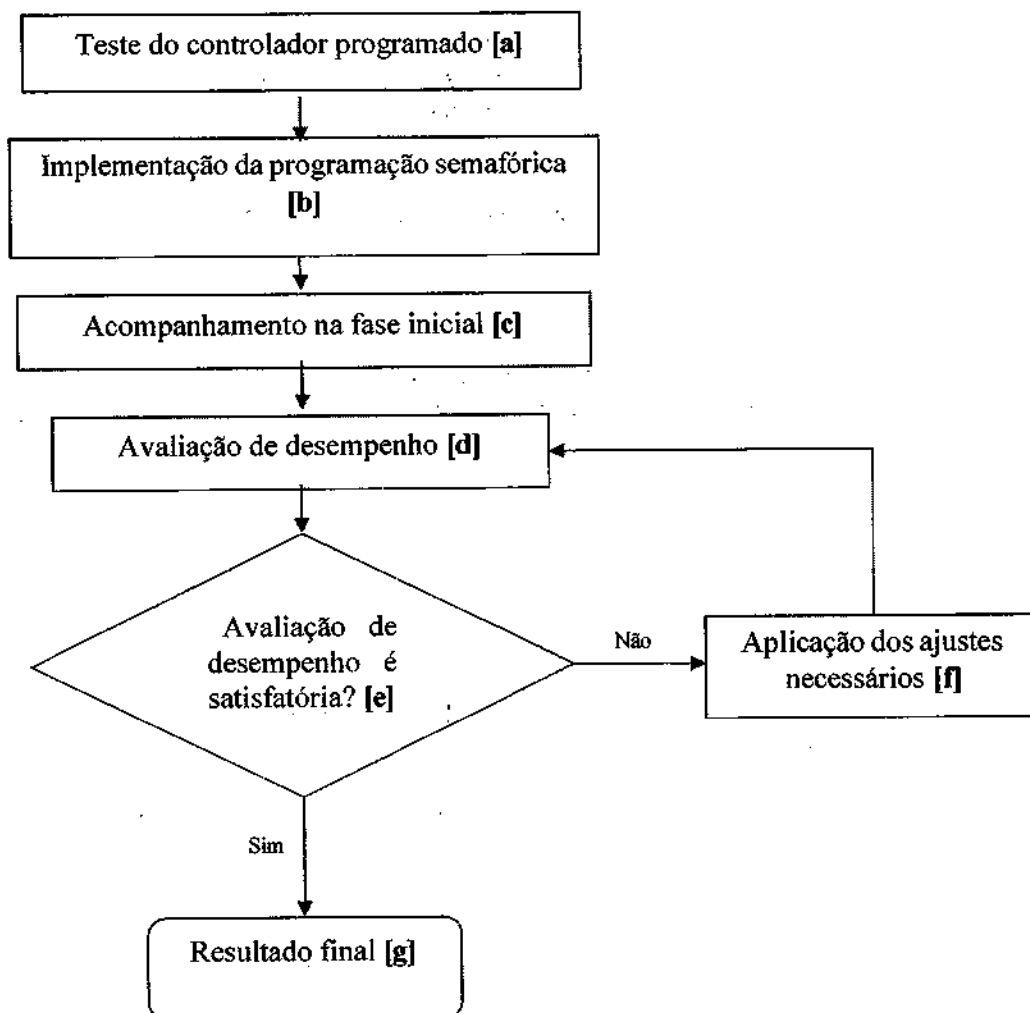


Figura 7.3: Sequência de atividades da Etapa IV

[a] Teste do controlador programado

A programação dimensionada é implementada no controlador responsável pela operação da sinalização semafórica.

O controlador programado **deve** ser testado, de modo a verificar se a programação nele implementada reflete o controle desejado, sobretudo com relação aos parâmetros de segurança.

Este teste contempla, também, o funcionamento de todos os recursos operacionais do equipamento.

[b] Implementação da programação semafórica

Após todos os testes finalizados de modo satisfatório, a programação do controlador é efetivamente implementada em campo.

[c] Acompanhamento na fase inicial

Devem ser realizadas vistorias durante os primeiros dias de operação, iniciadas logo após a implantação do plano no controlador local, para a realização de ajustes, caso necessário.

[d] Avaliação de desempenho

Consiste na avaliação da situação do tráfego depois da implementação da nova programação, com relação à situação anterior. **Devem** ser avaliados aspectos de segurança, tamanho de filas, atraso, número de paradas, grau de saturação, bloqueio de cruzamentos, etc.. Tal avaliação, em função da importância do local e da disponibilidade de recursos, pode ser feita visualmente ou através de pesquisas de campo.

[e] Avaliação de desempenho é satisfatória?

Caso o técnico conclua que os resultados não foram satisfatórios, ele **deve** realizar os ajustes necessários à redução dos problemas detectados.

[f] Aplicação dos ajustes necessários

Deve ser feita a adequação da programação do plano que apresentou desempenho insatisfatório.

[g] Resultado final

O resultado final do trabalho consiste no plano semafórico devidamente testado e ajustado às condições do local.

Todos os levantamentos de campo iniciais, os parâmetros de segurança e tempo de ciclo máximo adotados, a memória de cálculos, a programação semafórica em si, os ajustes finos efetuados e a avaliação de desempenho **devem** ser arquivados para subsidiar futuras reprogramações do local.

6.2 Exemplos de cálculo

A seguir são apresentados exemplos de aplicação numérica dos métodos vistos no Capítulo 6 para cálculo dos tempos semafóricos.

Foi calculado apenas um plano semafórico nos exemplos a seguir (exceto o 7.2.1), como simplificação. Programações multiplanos seguem a mesma metodologia, apenas sendo gerados diferentes planos conforme as faixas horárias em que ocorrem as variações de fluxo (e correspondentes taxas de fluxo) e fluxo de saturação.

6.2.1 Exemplo de cálculo do fluxo de saturação e tempo perdido

Em uma aproximação de uma interseção semaforizada operando em regime de saturação foram aplicadas as técnicas apresentadas no Método 2 do Apêndice 6, obtendo-se o histograma reproduzido na Figura 7.4.

A programação semaforizada dessa aproximação, durante a coleta de dados, tinha os seguintes tempos: 66 segundos de verde; 3 segundos de amarelo e 1 segundo de vermelho geral. Esses tempos estão reproduzidos no diagrama de barras abaixo do histograma da Figura 7.4. Com base no apresentado no item 6.4, seguem os cálculos dos tempos perdidos no início e no final do estágio.

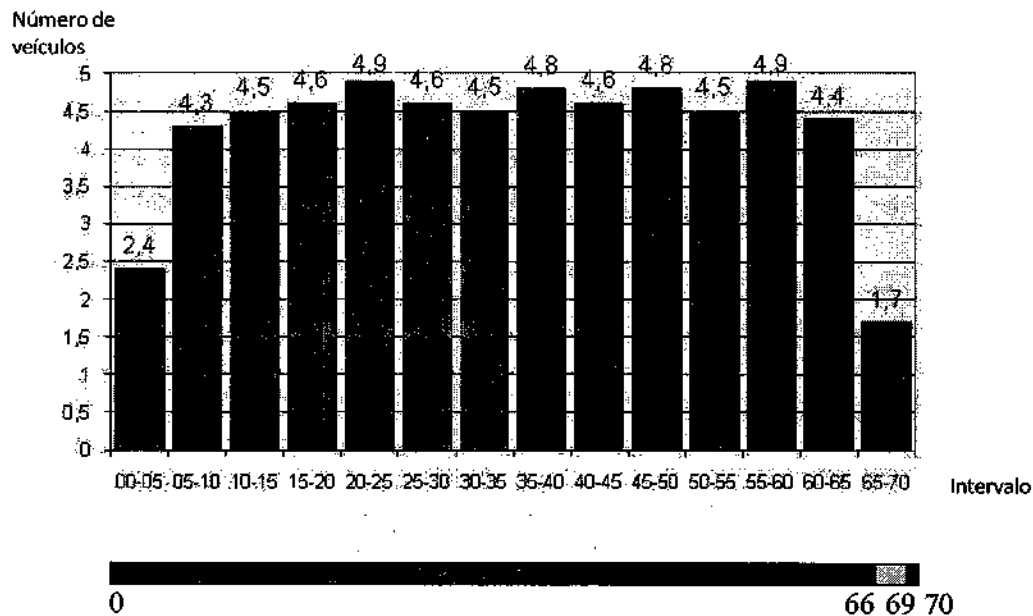


Figura 7.4: Histograma de fluxo

O primeiro passo consiste no cálculo do fluxo de saturação dessa aproximação. Foram registrados 14 intervalos, cada um com 5 segundos de duração. Descartam-se o primeiro e o último, pois eles não representam a condição de fluxo máximo que poderia ser escoado pela via. A média aritmética dos demais intervalos é 4,6 veículos em 5 segundos, o que equivale a 0,92 veíc/s ou 3.312 veíc/h. Esse é o fluxo de saturação: $FS = 3.312 \text{ veíc/h}$.

Cálculo do tempo perdido no início do estágio (t_{pi})

No primeiro intervalo, foram observados 2,4 veículos. Seriam necessários $2,4 / 0,92 = 2,6s$ para escoar esses veículos, se esse intervalo estivesse no regime de saturação. Portanto, o tempo perdido no início foi determinado com o uso da Equação 16 do Apêndice 6.

$$t_{pi} = 5,0 - 2,6 = 2,4s$$

Cálculo do tempo perdido no final do estágio (t_{pfn})

O intervalo 65-70 é o único em que o aparecimento do entreverdes causa redução do fluxo em relação ao fluxo de saturação. Portanto, utilizando diretamente a Equação 17 do Apêndice 6, vem:

$$t_{pfn} = 5 - \frac{1,7}{0,92} = 3,15s$$

Portanto, o tempo perdido total (T_p), nesse estágio, é igual a:

$$T_p = t_{pin} + t_{pfn} = 2,40 + 3,15 = 5,55s$$

6.2.2 Exemplo do cálculo dos tempos de uma interseção semaforizada

ETAPA I:

Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa I da programação semaforizada, mostrada no item 7.1.

[a] Levantamento das características do local:

A interseção considerada é mostrada na Figura 7.5.

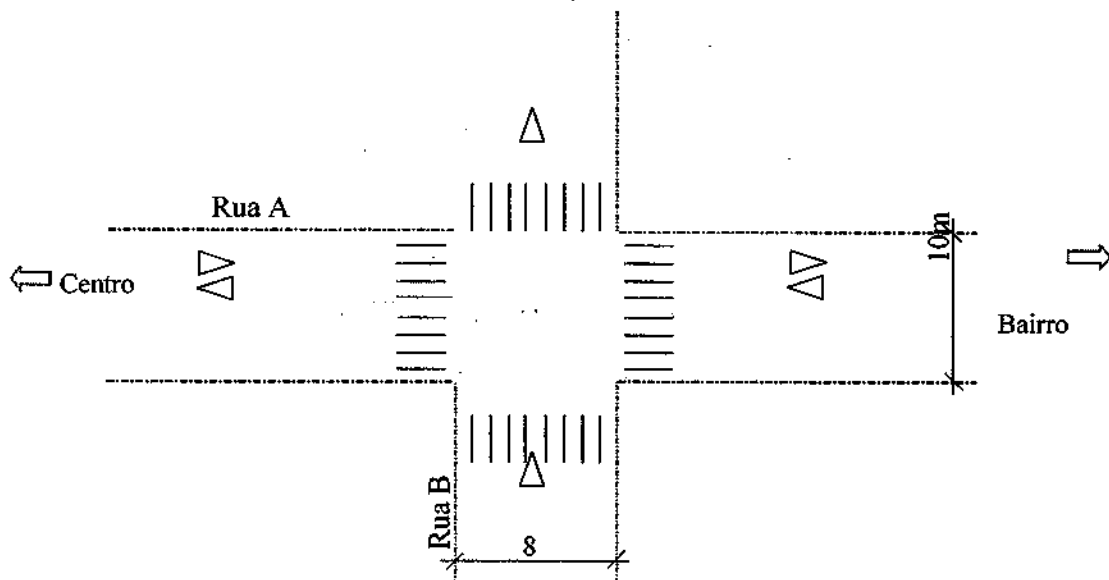


Figura 7.5: Cruzamento da Rua A com a Rua B

[b] Período de abrangência:

o plano a ser programado entrará em operação no período das 7h às 9h, dos dias úteis.

[c] Tempo de ciclo máximo: 120s

[d] Estudo dos movimentos:

A representação dos movimentos (MV) e das aproximações é apresentada na Figura 7.6, onde:

- Aproximação 1 = Rua A, sentido centro/bairro;
- Aproximação 2 = Rua A, bairro/centro;
- Aproximação 3 = Rua B.

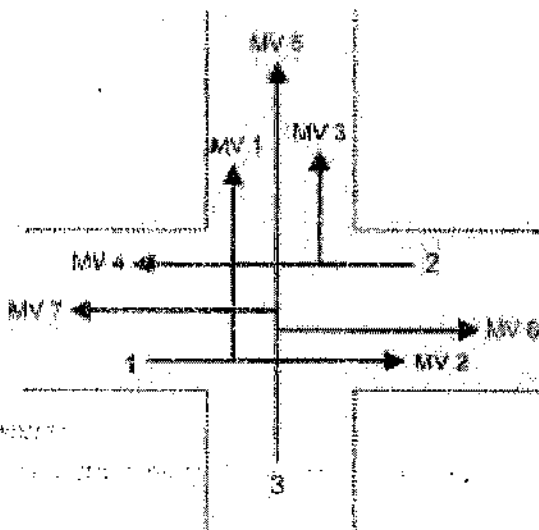


Tabela de movimentos conflitantes

	MV1	MV2	MV3	MV4	MV5	MV6	MV7
MV1			x	x	x		x
MV2					x	x	x
MV3	x				x		
MV4	x				x		x
MV5	x	x	x	x			
MV6		x					
MV7	x	x		x			

Figura 7.6: Representação esquemática dos movimentos e aproximações

[e] Determinação dos grupos de movimentos

Grupo de movimentos 1 (GM1), inclui os movimentos MV1 e MV2;

Grupo de movimentos 2 (GM2), inclui os movimentos MV3 e MV4;

Grupo de movimentos 3 (GM3), inclui os movimentos MV5, MV6 e MV7.

[f] Definição do diagrama de estágios

Considerou-se que, embora conflitantes, os movimentos MV1, MV3 e MV4 podem receber verde simultaneamente, por conta de características peculiares deste exemplo. Neste caso, admitiu-se que os fluxos dos movimentos MV3 e MV4 apresentam brechas em número e duração suficientes para permitir a realização do MV1 e, também, que há boas condições de intervisibilidade. Para situações reais, o técnico deve avaliar se as condições operacionais do local permitem esse tipo de arranjo.

Para a situação considerada, portanto, é adotado o diagrama de estágios mostrado na Figura 7.7.

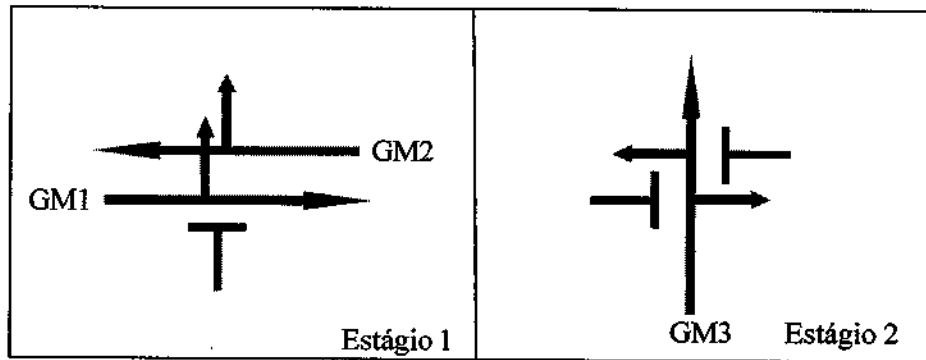


Figura 7.7: Diagrama de estágios

[g] Definição dos grupos semafóricos

A Figura 7.8 mostra a distribuição dos grupos semafóricos G1 e G2, para os três semáforos (grupos focais) que serão utilizados na interseção.

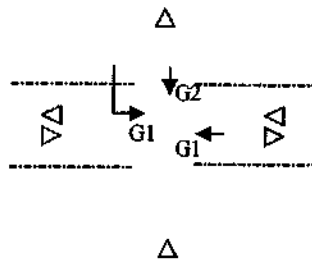


Figura 7.8: Distribuição dos grupos semafóricos

Grupo semafórico 1 (G1) = Rua A, ambos os sentidos, que indica a sinalização para os grupos de movimentos 1 (MV1 e MV2) e 2 (MV3 e MV4);

Grupo semafórico 2 (G2) = Rua B (sentido único), que indica a sinalização para o grupo de movimentos 3 (MV5, MV6 e MV7).

[h] Determinação dos parâmetros de segurança dos grupos de movimentos

Tempo de verde de segurança: 12s para todos os grupos de movimentos.

Determinação do tempo de entreverdes

Antes do cálculo, cabe uma discussão sobre os critérios de arredondamento. A maioria dos controladores semafóricos tem resolução de um segundo. Ou seja, não aceitam a inserção de valores decimais para os tempos semafóricos. Sendo assim, os valores calculados **devem** ser arredondados. O critério usual é o do arredondamento para o número inteiro anterior, quando o valor decimal for menor do que 5. Quando o valor decimal for maior ou igual a 5, o arredondamento **deve** ser para o inteiro superior.

Em relação aos entreverdes, uma especial atenção **deve** ser tomada na questão do arredondamento. Normalmente, em casos que envolvem tempos de segurança, como os entreverdes, a tendência é sempre arredondar para o inteiro superior. Portanto, 3,4 segundos seriam arredondados para 4s, por conta da segurança. Como a obtenção do entreverdes prevê a soma de duas parcelas calculadas separadamente, **deve-se** tomar o cuidado de não realizar o arredondamento nas parcelas, sob o risco de elevar excessivamente o valor total. Por exemplo: se no cálculo das duas parcelas foram obtidos os valores 3,6s e 2,1s, o total de entreverdes deveria ser 5,7s e arredondando, ter-se-ia 6s, sendo 4s de amarelo e 2s de vermelho geral. Caso se optasse pelo arredondamento nas parcelas, ter-se-ia 4s e 3s, em um total de 7s de entreverdes. Tal cuidado é importante porque entreverdes excessivos pode ser um fator de risco de acidentes, com os condutores utilizando esse tempo como verde.

Para o cálculo do amarelo foi utilizada a Equação 6.4 (item 6.7.1).

$$t_{am} = t_r + \frac{v}{2(a_{ad} \pm ig)}$$

Neste exemplo o tempo de amarelo para todos os grupos de movimento é o mesmo, porque as duas vias têm as mesmas características de velocidade e declividade, quais sejam:

$$t_{pr} = 1,0s;$$

$$v = 40 \text{ km/h} = 11,1 \text{ m/s (vias coletoras);}$$

$$a_{ad} = 3,0 \text{ m/s}^2;$$

$$i = 0 \text{ (vias planas);}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2.$$

Portanto,

$$t_{am} = 1,0 + \frac{11,1}{2(3,0 + 0 \times 9,8)} = 2,9s$$

Para o cálculo do vermelho geral (t_{vg}), foi adotada a Equação 6.5.

$$t_{vg} = \frac{d_2 + c}{v}$$

Então, para os grupos GM1 e GM2, atendidos no Estágio 1:

$$d_{21} = 6m^* + 8m^{**} = 14m$$

*(distância entre a linha de retenção e o alinhamento da guia da via transversal);

** (largura da Rua B).

Para o grupo GM3, atendido no Estágio 2:

$$d_{22} = 6m + 10m = 16m$$

$c = 5m$ (predominância de automóveis no local).

Portanto:

Para o Estágio 1,

$$t_{vg1} = \frac{14 + 5}{11,1} = 1,7s$$

Para o Estágio 2,

$$t_{vg2} = \frac{16 + 5}{11,1} = 1,9s$$

Prosseguindo no cálculo dos tempos deste exemplo, o entreverdes será dado pela soma do tempo de amarelo (t_{am}) e do tempo de vermelho geral (t_{vg}). Assim:

$$t_{ent,1} = 2,9 + 1,7 = 4,6s$$

$$t_{ent,2} = 2,9 + 1,9 = 4,8s$$

Em ambos os casos, será adotado tempo de entreverdes igual a 5s, sendo:

$$t_{am} = 3s$$

$$t_{vg} = 2s$$

ETAPA II:

Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa II da programação semaforica, mostrada no item 7.1. Esses dados foram obtidos a partir de levantamentos de campo.

Taxa de fluxo de cada grupo de movimentos

Rua A: $F_1 = 700$ veíc/h (sentido centro/bairro); $F_2 = 600$ (bairro/centro);

Rua B: $F_3 = 900$ veíc/h.

Fluxo de saturação (FS)

Rua A: $FS_1 = 1.800$ veíc/h (centro/bairro); $FS_2 = 1.700$ (bairro/centro);

Rua B: $FS_3 = 3.000$ veíc/h.

Tempo perdido inicial e final de cada grupo de movimentos

Neste exemplo, admitiu-se que não foi feito levantamento em campo dos tempos perdidos e, portanto, considerou-se o tempo perdido de cada grupo de movimentos como sendo igual ao seu tempo de entreverdes.

ETAPA III:

A seguir são apresentados os cálculos previstos na Etapa III da programação semaforica, mostrada no item 7.1.

[a] Cálculo das taxas de ocupação: realizado com o uso da Equação 6.2.

$$y = \frac{F}{FS}$$

- taxa de ocupação do grupo de movimentos 1 (y_1):

$$y_1 = \frac{F_1}{FS_1}$$

$$y_1 = \frac{700}{1.800} = 0,38$$

- taxa de ocupação do grupo de movimentos 2 (y_2):

$$y_2 = \frac{600}{1.700} = 0,35$$

- taxa de ocupação do grupo de movimentos 3 (y_3):

$$y_3 = \frac{900}{3.000} = 0,30$$

[b] Definição dos grupos de movimentos críticos

No estágio 1 há dois grupos de movimentos recebendo verde simultaneamente (grupos de movimentos 1 e 2). Como esses dois grupos de movimentos recebem verde durante exatamente o mesmo período, a taxa de ocupação a ser considerada no cálculo deve ser a maior entre os dois grupos de movimentos. No caso, será adotada y_1 , por ser maior que y_2 . O grupo de movimentos 1 será, portanto, o grupo de movimentos crítico do estágio 1.

O somatório das taxas de ocupação para a interseção é igual a:

$$\sum y_i = y_1 + y_3 = 0,38 + 0,30 = 0,68$$

[c] Cálculo do tempo perdido total (T_p)

O tempo perdido total (T_p) será igual a 10s (soma dos entreverdes dos dois estágios).

[d] Cálculo do tempo de ciclo

A seguir a continuidade dos cálculos inclui a determinação dos tempos de ciclo com aplicação dos métodos do grau de saturação máximo e de Webster.

Cálculo do tempo de ciclo pelo método do grau de saturação máximo

O cálculo a seguir é baseado no item 6.9.1. O primeiro passo consiste em calcular a fração de verde (p_i) para cada estágio, usando a Equação 6.8.

$$p_i = \frac{y_i}{x_{mi}}$$

Neste exemplo, considera-se que os graus de saturação desejados são:

- para a Rua A: $x_{m1} = 0,85$.

- para a Rua B: $x_{m2} = 0,90$.

Vale lembrar que os valores utilizados como grau de saturação são decisões do técnico, baseadas nas peculiaridades operacionais de cada interseção.

Desse modo,

Para o estágio 1:

$$p_1 = \frac{y_1}{x_{m1}} = \frac{0,38}{0,85} = 0,45$$

Para o estágio 2:

$$p_2 = \frac{y_2}{x_{m2}} = \frac{0,30}{0,90} = 0,33$$

O que resulta:

$$\sum p_i = 0,45 + 0,33 = 0,78$$

Cálculo do tempo de ciclo (t_c), de acordo com a Equação 6.9:

$$t_c = \frac{1 - \sum_{i=1}^n p_i}{T_p}$$

Portanto:

$$t_c = \frac{10}{1 - 0,78} = 45,5s$$

Será adotado t_c = 46s.

[e] A comparação entre o tempo de ciclo calculado e tempo de ciclo máximo mostra que a condição foi atendida.

[f] Cálculo dos tempos de verde efetivos

O cálculo dos tempos de verde neste método é dado pela Equação 6.12:

$$t_{v,efet,i} = p_i \times t_c$$

Então, tem-se que, para o Estágio 1:

$$t_{v,efet,1} = p_1 \times t_c = 0,45 \times 46 = 20,7s$$

Será adotado 21s, para o Estágio 1.

Cálculo para o Estágio 2:

$$t_{v,efet,2} = p_2 \times t_c = 0,33 \times 46 = 15,2s$$

Será adotado 15s, para o Estágio 2.

[g] Cálculo do tempo de verde real

O tempo de verde real é obtido por meio da Equação 6.14

$$t_{v,real} = t_{v,efet} - t_{ent} + t_{pim} + t_{pfn}$$

Neste caso, como o tempo perdido por estágio foi assumido como igual ao entreverdes correspondente, então, o verde real é igual ao verde efetivo.

[h] A comparação entre os tempos de verde real e os correspondentes verdes de segurança (12s) mostra que a condição foi atendida.

[i] Cálculo do novo tempo de ciclo

Não se aplica a este exemplo, em função do resultado de [h]

[j] Soma dos intervalos = tempo de ciclo?

É importante assegurar que, após os arredondamentos efetuados, a soma dos tempos de verde real com os entreverdes seja igual ao tempo de ciclo calculado. Isto é:

$$t_c = T_{v,real,i} + T_{v,real,2} + t_{ent} = 21 + 15 + 10 = 46s$$

$$t_{\text{verf.}} = (t_c - T_p) \times \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{y_i}$$

Para esse cálculo, será utilizada a Equação 6.13.

[m] Cálculo dos tempos de verde efetivos

foi atendida.

[j] A comparação entre o tempo de ciclo calculado e tempo de ciclo máximo mostra que a condição

Será adotado $t_c = 63s$.

$$t_c = \frac{1,5 \times 10 + 5}{1 - (0,38 + 0,3)} = 62,5s$$

No somatório das taxas de ocupação serão parte as parcelas referentes ao estágio 1 (representado por y_1) e ao estágio 2 (y_2). Então, tem-se:

$$t = \frac{1,5 \times T_p + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i}$$

O cálculo a seguir é baseado no item 6.9.2. Para determinação do tempo de ciclo, é utilizada a Equação 6.11 e parte dos dados obtidos anteriormente:

Retorno ao bloco [d] do fluxograma da Etapa III.

Cálculo do tempo de ciclo pelo Método de Webster

Figura 7.9: Diagrama de intervalos luminosos para o tempo de ciclo de 46s

Onde: valor de $a = 6,5\%$ e $b = 4,4\%$

ESTÁGIOS	1		2	
	a	b	a	b
% CICLO	45,6		32,8	
DURAÇÃO (s)	21	3	15	2
INTERVALOS	1	2	4	5
Rua B (g2)				
Rua A (g1)				
INSTANTE (s)	0	21	24	26
			41	44
				46

A Figura 7.9 mostra o diagrama de intervalos luminosos (diagrama de barras) para os tempos calculados.

[k] Programação semaforica

A Figura 7.10 mostra o diagrama de intervalos luminosos (diagrama de barras) para os tempos calculados.

[r] Programação semafórica

$$t_c = T_{v,real,1} + T_{v,real,2} + t_{ent} = 30 + 23 + 10 = 63s$$

Conforme feito para o caso anterior:

[q] Soma dos intervalos = tempo de ciclo?

Não se aplica a este exemplo, em função do resultado de [h]

[p] Cálculo do novo tempo de ciclo

(12s) mostra que a condição foi atendida.

[o] A comparação entre os tempos de verde real e os correspondentes verdes de segurança

Pela mesma razão citada no caso da determinação do tempo de ciclo pelo método do grau de saturação máximo, os cálculos dos tempos de verde apresentarão o mesmo valor para o verde efetivo e o real.

[n] Cálculo do tempo de verde real

Será adotado $t_{v,efet,2} = 23s$

$$t_{v,efet,2} = (63 - 10) \times \frac{0,3}{0,68} = 23,4s$$

Analogamente, para o Estágio 2:

Será adotado $t_{v,efet,1} = 30s$.

$$t_{v,efet,1} = (63 - 10) \times \frac{0,38}{0,68} = 29,6s$$

Para o Estágio 1, tem-se:

Vale notar que os tempos de ciclo resultaram em valores diferentes para cada um dos métodos utilizados. No primeiro cálculo, os graus de saturação impostos de 0,90 e 0,85 resultaram em tempo de ciclo igual a 63s. No segundo cálculo, o tempo de ciclo ótimo calculado pelo método de Webster foi igual a 63s, levando a graus de saturação em torno de 0,82 (a diferença entre x_1 e x_2 deve-se aos arredondamentos efetuados nos valores dos verdes efetivos). Cabe ao técnico, com base nas avaliações dos graus de saturação obtidos, definir qual o tempo de ciclo a ser adotado para a situação sob estudo, levando em conta as recomendações apresentadas no item 6.9.1.

$$x_1 = \frac{y_1}{p_1} = \frac{0,38}{0,47} = 0,81$$

$$x_2 = \frac{y_2}{p_2} = \frac{0,30}{0,36} = 0,83$$

- cálculo dos graus de saturação (x_i), usando a Equação 6.8:

$$p_1 = \frac{t_c}{t_{ver,1}} = \frac{63}{30} = 0,47$$

$$p_2 = \frac{t_c}{t_{ver,2}} = \frac{63}{23} = 0,36$$

Análise complementar
 Para comparar os resultados obtidos pelos dois métodos, foram calculados os graus de saturação associados aos tempos resultantes da aplicação do método de Webster: - cálculo das porcentagens de verde (p_i), usando a Equação 6.12:

Figura 7.10: Diagrama de intervalos luminosos para o tempo de ciclo de 63s

Onde: valor de $a = 4,75\%$ e $b = 3,2\%$

INSTANTE (s)	Rua A (G1)	Rua B (G2)	INTERVALOS	DURAÇÃO (s)	% CICLO	ESTÁGIOS
0			1	30	47,6	1
30			2	3		2
33			3	23	36,5	3
36			4	3		4
39			5	2		5
41			6	3		6
44						
47						
50						
51						
53						

6.2.3 Exemplo do cálculo dos tempos de uma interseção semaforizada, com conversão à esquerda

ETAPA I: Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa I da programação semaforizada, mostrada no item 7.1.

[a] *Levantamento das características do local:* A interseção considerada é mostrada na Figura 7.11. A Avenida C é arterial e plana. A Rua D é coletora e com inclinação de 5%, configurando uma rampa ascendente na aproximação com a Avenida C.

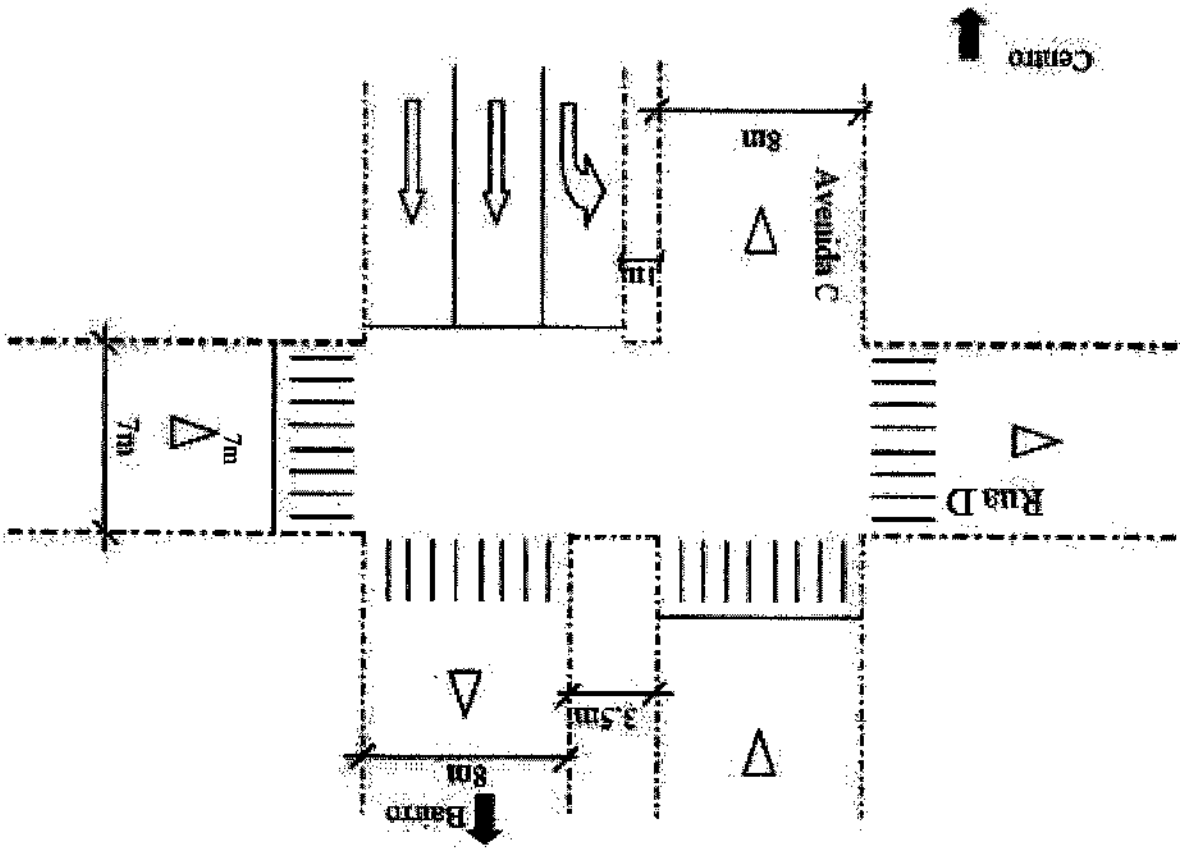


Figura 7.11: Cruzamento da Avenida C com a Rua D

[b] *Período de abrangência:* o plano a ser programado deverá entrar em operação no período das 10h às 12h, dos dias úteis.

[c] *Tempo de ciclo máximo:* 120s

[d] *Estudo dos movimentos:* a representação dos movimentos (MV) e das aproximações é apresentada na Figura 7.12, onde:

- Aproximação 1 = Rua C, centro/bairro;
- Aproximação 2 = Rua C, bairro/centro;
- Aproximação 3 = conversão à esquerda;
- Aproximação 4 = Rua D.

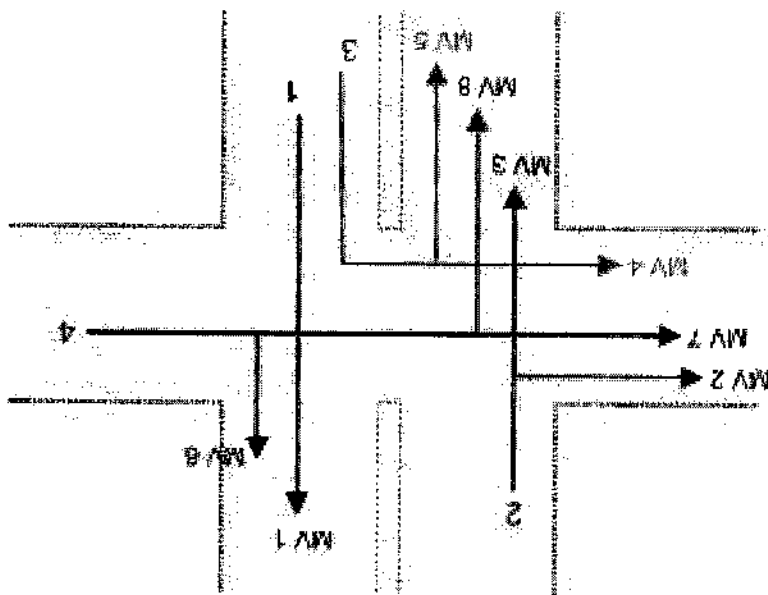
Grupo de movimentos 2 (GM2), inclui os movimentos MV2 e MV3;
 Grupo de movimentos 1 (GM1), inclui o movimento MV1;

[e] Determinação dos grupos de movimentos:

Figura 7.12: Representação esquemática dos movimentos e aproximações

	MV1								
MV1									
MV2				X	X				
MV3				X	X				
MV4						X	X		
MV5						X	X		X
MV6								X	
MV7									
MV8									

Tabela de movimentos conflitantes

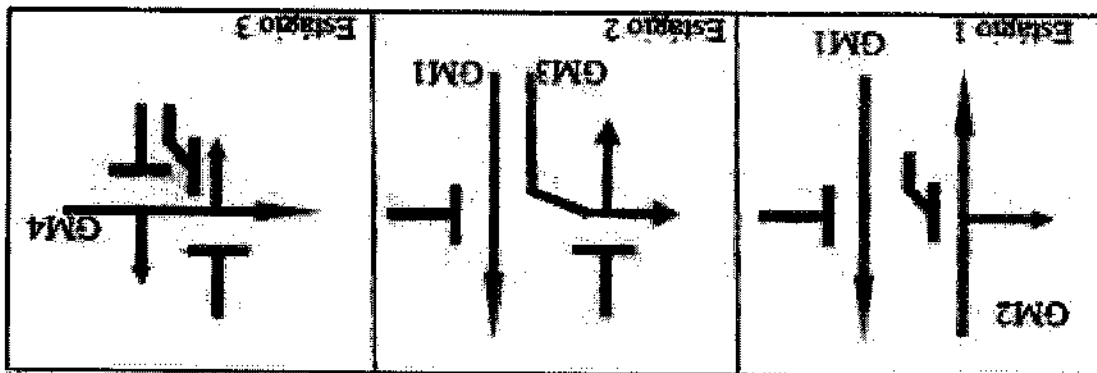


A Figura 7.14 mostra a distribuição dos grupos semaforicos G1, G2, G3 e G4 para os quatro semaforos (grupos focais) que serão utilizados na interseção. Esta distribuição foi feita com base na tabela de movimentos conflitantes.

[g] Definição dos grupos semaforicos

Vale notar que com três estágios é possível estabelecer duas sequências diferentes: 1-2-3, como está no diagrama de estágios mostrado na Figura 7.13, ou 1-3-2. A escolha de uma ou outra sequência deve ser feita pelo técnico, baseada nas condições físicas e de fluxo de cada local, visando promover a segurança e a fluidez do tráfego. Destaca-se que a utilização de diferentes sequências de estágios em diferentes planos, para um mesmo local, só deve ser empregada em situações especiais, pois essas alterações podem confundir condutores e pedestres que habitualmente passam pelo local.

Figura 7.13: Diagrama de estágios



7.13. Para a situação considerada, portanto, é adotado o diagrama de estágios mostrado na Figura

[f] Definição do diagrama de estágios:

- Grupo de movimentos 3 (GM3), inclui os movimentos MV4 e MV5;
- Grupo de movimentos 4 (GM4), inclui os movimentos MV6, MV7 e MV8.

$$t_{am} = \psi + \frac{Z(\alpha_{ad} \pm t_g)}{v}$$

Determinação do tempo de entreverdes

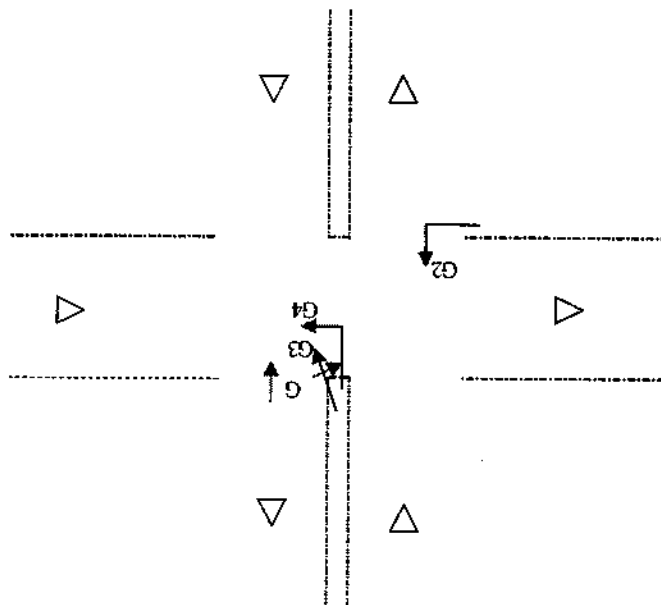
- Verde de segurança de GM4: 15 s
- Verde de segurança de GM3: 10 s
- Verde de segurança de GM2: 20 s
- Verde de segurança de GM1: 20 s

Tempo de verde de segurança:

[h] Determinação dos parâmetros de segurança de grupos de movimentos

- Grupo semafórico 1 (G1) = Avenida C, centro/baixo, que indica a sinalização para o grupo de movimentos 1 (MV1);
- Grupo semafórico 2 (G2) = Avenida C, baixo/centro, que indica a sinalização para o grupo de movimentos 2 (MV2 e MV3);
- Grupo semafórico 3 (G3) = Avenida C, converso à esquerda, que indica a sinalização para o grupo de movimentos 3 (MV4 e MV5);
- Grupo semafórico 4 (G4) = Rua D, que indica a sinalização para o grupo de movimentos 4 (MV6, MV7 e MV8).

Figura 7.14: Distribuição dos grupos semafóricos



Tem-se:

$$t_{pr} = 1s;$$

Estágios $v_{e2} = 60 \text{ Km/h} = 16,6 \text{ m/s}$ (via arterial);

Estágio $v_{e3} = 40 \text{ Km/h} = 11,1 \text{ m/s}$ (via coletora);

$$a_{ad} = 3 \text{ m/s}^2;$$

$i = 0$ para a Avenida C (via plana);

$i = 0,05$ (declividade de 5%) para a Rua D.

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2.$$

Portanto, para os grupos de movimentos GM1, GM2 e GM3, atendidos nos estágios v_{e2} e v_{e3} tempos de amarelo são:

$$t_{am1 e 2} = 1 + \frac{2(3+0)}{16,6} = 3,76s$$

Para o grupo de movimentos GM4, atendido no estágio v_{e3} , tem-se:

$$t_{am3} = 1 + \frac{2(3+0,05 \cdot 9,8)}{11,1} = 2,59s$$

Cálculo do vermelho geral (t_{vg}):

$$t_{vg} = \frac{d_2 + c}{v}$$

Para o Estágio 1: $d_{2,1} = 6m$ (faixa de pedestres = $4m + 2m$ de faixa de retenção e afastamento) + $7m$ (largura da Rua D) = $13m$.

Para o Estágio 2, tem-se duas distâncias, uma percorrida pelos veículos que fazem a conversão ($d_{2,2a}$) e outra pelos que utilizam a Avenida C centro/bairro ($d_{2,2b}$).

Sendo:

$d_{2,2a} = 2,5m$ (parte do canteiro central) + $8m$ (largura da pista bairro/centro da Avenida C) + $4m$ (faixa de pedestres) = $14,5m$.

$d_{2,2b} = 7m$ (largura da Rua D) + $4m$ (faixa de pedestres) = $11m$.

Portanto, para o Estágio 2 será usado $d_{2,2a}$, por ter a maior extensão entre os dois.

Para o Estágio 3: $d_{2,3} = 6m$ (faixa de pedestres = $4m + 2m$ de faixa de retenção e afastamento) + $2 \times 8m$ (largura de cada pista da Avenida C) + $3,5m$ (canteiro central) + $4m$ (faixa de pedestres) = $29,5m$.

$c = 5m$ (predominância de automóveis no local).

Rua D: $FS_4 = 1.800$ veic/h.

Avenida C, conversão à esquerda: $FS_3 = 1.300$ veic/h

Avenida C, bairro/centro: $FS_2 = 4.700$ veic/h

Avenida C, centro/bairro, em frente: $FS_1 = 3.400$ veic/h

Fluxos de Saturação (FS)

Rua D: $F_4 = 400$ veic/h

Avenida C, conversão à esquerda: $F_3 = 300$ veic/h

Avenida C, bairro/centro: $F_2 = 1.150$ veic/h

Avenida C, centro/bairro, em frente: $F_1 = 1.200$ veic/h

Taxa de fluxo de cada grupo de movimentos:

ETAPA II: Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa II da programação semafórica, mostrada no item 7.1. Esses dados foram obtidos a partir de levantamentos de campo.

Estágio 3: $t_{ent,3} = t_{am,3} + t_{vg,3} = 2,59 + 3,11 = 5,7s$. Será adotado $6s$, sendo $t_{am,3} = 3s$ e $t_{vg,3} = 3s$

Estágio 2: $t_{ent,2} = t_{am,2} + t_{vg,2} = 3,76 + 1,17 = 4,93s$. Será adotado $5s$, sendo $t_{am,2} = 4s$ e $t_{vg,2} = 1s$

Estágio 1: $t_{ent,1} = t_{am,1} + t_{vg,1} = 3,76 + 1,08 = 4,84s$. Será adotado $5s$, sendo $t_{am,1} = 4s$ e $t_{vg,1} = 1s$

Portanto, os entretempos serão:

$$t_{vg,3} = \frac{11,1}{29,5 + 5} = 3,11s$$

Para o Estágio 3:

$$t_{vg,2} = \frac{16,6}{14,5 + 5} = 1,17s$$

Para o Estágio 2:

$$t_{vg,1} = \frac{16,6}{13 + 5} = 1,08s$$

Para o Estágio 1:

Alternativa 1 - o conjunto GM2/GM3 é mais crítico do que GM1 isoladamente. Neste caso, a programação semafórica **deverá** ser calculada para atender os grupos de movimentos 2, 3 e 4, numa configuração de três estágios: 1, 2 e 3. Enquanto GM2 e GM3 são atendidos, GM1 receberá verde suficiente para atendê-lo já que ele é menos crítico do que o conjunto GM2/GM3. Nesta alternativa, portanto, os grupos de movimentos críticos são: GM2, GM3 e GM4.

Podem ocorrer duas alternativas:

Neste exemplo, o grupo de movimentos 1 (GM1) recebe verde nos estágios 1 e 2. Enquanto isso, GM2 é liberado somente no estágio 1 e GM3 utiliza apenas o estágio 2. Portanto, não são considerados neste tipo de análise.

Destaca-se que quando um grupo de movimentos é denominado crítico para um estágio, ele **deverá** ser considerado crítico para todos os estágios onde for atendido. Além disso, cada estágio só pode conter um único grupo de movimentos crítico. Estágios exclusivos de pedestres

Entretanto, há casos em que o mesmo grupo de movimentos é atendido em dois ou mais estágios subsequentes, o que torna mais complexa a identificação dos grupos de movimentos críticos. Na maioria das situações práticas, cada grupo de movimentos recebe verde em apenas um estágio, o que permite identificar facilmente quais são os grupos de movimentos críticos, como aconteceu no exemplo 7.2.2.

[b] Definição dos grupos de movimentos críticos

$$y_1 = \frac{FS_1}{F_1} = \frac{3.400}{1.200} = 0,35$$

$$y_2 = \frac{FS_2}{F_2} = \frac{4.700}{1.150} = 0,24$$

$$y_3 = \frac{FS_3}{F_3} = \frac{1.300}{300} = 0,23$$

$$y_4 = \frac{FS_4}{F_4} = \frac{1.800}{400} = 0,22$$

[a] Cálculo das taxas de ocupação: realizado com o uso da Equação 6.2.

ETAPA III: A seguir são apresentados os cálculos previstos na Etapa III da programação semafórica, mostrada no item 7.1.

Neste exemplo, admitiu-se que não foi levantado em campo dos tempos perdidos e, portanto, considerou-se o tempo perdido de cada grupo de movimentos como sendo igual ao seu tempo de entreverdes.

Tempo perdido inicial e final de cada grupo de movimentos

$$p_2 = \frac{Y_3}{x_{m3}} = \frac{0,23}{0,80} = 0,29$$

Para o estágio 2:

$$p_1 = \frac{Y_2}{x_{m2}} = \frac{0,24}{0,80} = 0,30$$

Para o estágio 1:

Alternativa 1:

GM4: $x_{m4} = 0,85$

GM3: $x_{m3} = 0,80$

GM2: $x_{m2} = 0,80$

GM1: $x_{m1} = 0,80$

Será calculado o tempo de ciclo para cada alternativa, usando o método do grau de saturação máximo. Neste exemplo, considera-se que os graus de saturação desejados são:

[d] Cálculo do tempo de ciclo

$T_p = 5 + 6 = 11s$

Alternativa 2: Estágios "1-2" e 3

$T_p = 5 + 5 + 6 = 16s$

Alternativa 1: Estágios 1, 2 e 3

O tempo perdido total (T_p) para cada alternativa, será igual a soma dos entretardes dos seus estágios.

[c] Cálculo do tempo perdido total (T_p)

A fim de determinar qual alternativa que será utilizada para a programação da sinalização semafórica, deve-se calcular o tempo de ciclo para cada uma delas, conforme módulo [d] a seguir. A alternativa que resultar no maior tempo de ciclo será adotada.

Alternativa 2 - GM1 é mais crítico do que o conjunto GM2/GM3. Neste caso, a programação semafórica deverá ser calculada para atender aos grupos de movimentos 1 e 4, numa configuração equivalente a apenas dois estágios: "1-2" e 3. Enquanto GM1 é atendido, os grupos de movimentos 2 e 3 poderão ser atendidos perfeitamente, já que o conjunto GM2/GM3 é menos crítico do que GM1. Vale lembrar que o tempo de verde calculado para GM1 em "1-2" deverá, ainda, ser repartido em três parcelas: verde para GM2 (estágio 1), entretardes de GM2 (estágio 1) e verde para GM3 (estágio 2). Nesta alternativa, portanto, os grupos de movimentos críticos são: GM1 e GM4.

Conclusão: como o tempo de ciclo da Alternativa 1 é maior do que o da Alternativa 2, a programação será calculada para a primeira alternativa.

$$t_c = \frac{11}{1 - 0,70} = 37 s$$

$$t_c = \frac{1 - \sum_{i=1}^n p_i}{T_p}$$

Calculo do tempo de ciclo (t_c):

$$\sum p_i = 0,44 + 0,26 = 0,70$$

o que totaliza:

$$p_3 = \frac{Y_4}{X_{M4}} = \frac{0,22}{0,85} = 0,26$$

Para o estágio 3

$$p_{"1-2"} = \frac{Y_1}{X_{M1}} = \frac{0,35}{0,80} = 0,44$$

Para o estágio "1-2":

Alternativa 2:

$$t_c = \frac{16}{1 - 0,85} = 107 s$$

$$t_c = \frac{1 - \sum_{i=1}^n p_i}{T_p}$$

Calculo do tempo de ciclo (t_c):

$$\sum p_i = 0,30 + 0,29 + 0,26 = 0,85$$

o que totaliza:

$$p_3 = \frac{Y_4}{X_{M4}} = \frac{0,22}{0,85} = 0,26$$

Para o estágio 3:

A Figura 7.15 mostra o diagrama de intervalos luminosos (diagrama de barras) para os tempos calculados.

[k] Programação semafórica

$$t_c = t_{v,real,1} + t_{v,real,2} + t_{v,real,3} + t_{ent} = 32 + 31 + 28 + 16 = 107 \text{ s}$$

É importante assegurar que, após os arredondamentos efetuados, a soma dos tempos de verde efetivo com os entreverdes seja igual ao tempo de ciclo calculado. Isto é:

[l] Soma dos intervalos = tempo de ciclo?

Não se aplica a este exemplo, em função do resultado de [h].

[i] Cálculo do novo tempo de ciclo

que a condição foi atendida.

[h] A comparação entre os tempos de verde real e os correspondentes verdes de segurança mostra

Neste caso, como o tempo perdido por estágio foi assumido como igual ao entreverdes correspondente, então, o verde real é igual ao verde efetivo.

$$t_{v,real} = t_{v,efet} - t_{ent} + t_{pm} + t_{pn}$$

[g] Cálculo do tempo de verde real

$$t_{v,efet,3} = 0,26 \times 107 = 28 \text{ s}$$

Para o estágio 3:

$$t_{v,efet,2} = 0,29 \times 107 = 31 \text{ s}$$

Para o estágio 2:

$$t_{v,efet,1} = 0,30 \times 107 = 32 \text{ s}$$

Então, tem-se para o estágio 1:

$$t_{v,efet,1} = p_1 \times t_c$$

[j] Cálculo dos tempos de verde efetivos

[j] A comparação entre o tempo de ciclo calculado e tempo de ciclo máximo mostra que a condição foi atendida.

Instante (s)	0	32	36	37	68	72	73	101	104	107
Avenida C (C/B)										
Avenida C (B/C)										
Conversão										
Rua D										
Intervalos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Duração (s)	32	4	1	31	4	1	28	3	3	
% do Ciclo	29,9	3,75	0,9	29	3,75	0,9	26,2	2,8	2,8	
Estágios	1			2			3			

Onde: $b = 0,9$

Figura 7.15: Diagrama de intervalos luminosos para o tempo de ciclo de 107s

Cálculo do tempo de ciclo pelo Método de Webster

Durante o desenvolvimento do cálculo da programação pelo Método do Grau de Saturação concluiu-se que os grupos de movimentos críticos são GM2, GM3 e GM4. Pode-se, então, assumir diretamente essa condição para o presente método.

A aplicação do Método de Webster produziu os resultados a seguir apresentados, que resultaram no diagrama de barras da Figura 7.16:

Tempo de ciclo = 94s

$$t_{v,ef,1} = 27s$$

$$t_{v,ef,2} = 26s$$

$$t_{v,ef,3} = 25s$$

Instante (s)	0	27	31	32	68	62	63	88	91	94
Avenida C (C/B)										
Avenida C (B/C)										
Conversão										
Rua D										
Intervalos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Duração (s)	27	4	1	26	4	1	25	3	3	
% do Ciclo	28,7	4,3	b	27,7	4,3	b	26,6	3,2	3,2	
Estágios	1	2			3					

Onde: $b = 1,0$

Figura 7.16: Diagrama de intervalos luminosos para o tempo de ciclo de 94s

Análise complementar

Para comparar os resultados obtidos pelos dois métodos, foram calculados os graus de saturação associados aos tempos resultantes da aplicação do método de Webster:

- cálculo das porcentagens de verde (p_i)

$$p_1 = t_{v,1} / t_c = 27 / 94 = 0,29;$$

$$p_2 = t_{v,2} / t_c = 26 / 94 = 0,28;$$

$$p_3 = t_{v,3} / t_c = 25 / 94 = 0,27.$$

- cálculo dos graus de saturação (x_i)

$$x_1 = y_2 / p_1 = 0,24 / 0,29 = 0,83;$$

$$x_2 = y_3 / p_2 = 0,23 / 0,28 = 0,82;$$

$$x_3 = y_4 / p_3 = 0,22 / 0,27 = 0,81.$$

Cabe ao técnico, com base nas avaliações dos graus de saturação obtidos, definir qual o tempo de ciclo a ser adotado para a situação sob estudo, levando em conta as recomendações apresentadas no item 6.9.1.

6.2.4 Exemplo da situação em que o tempo de verde calculado pelo método do grau de saturação é inferior ao respectivo tempo de verde de segurança

ETAPA I: Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa I da programação semafórica, mostrada no item 7.1.

[a] Levantamento das características do local: A interseção considerada é mostrada na Figura 7.17.

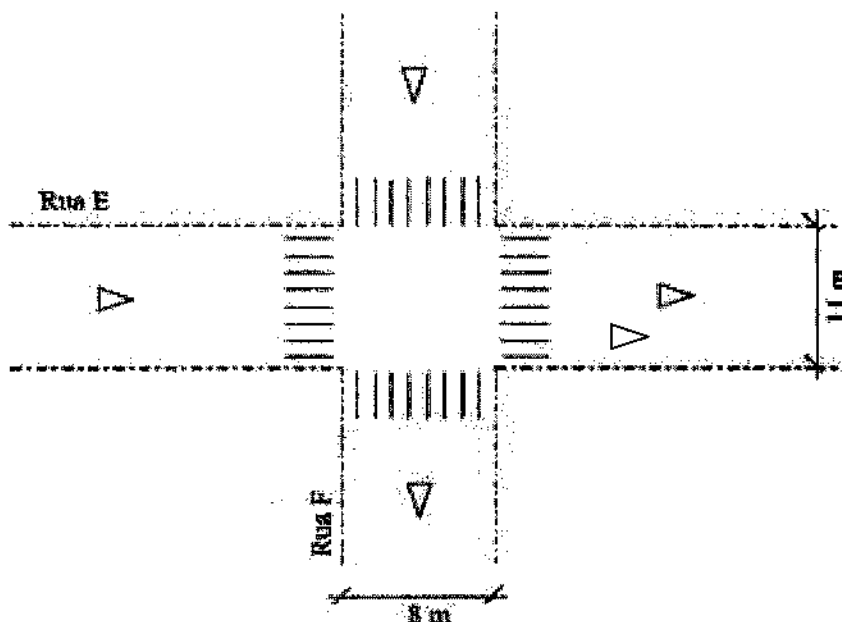


Figura 7.17: Croquis do cruzamento

[b] Período de abrangência: o plano a ser programado irá entrar em operação no período das 12h às 14h, dos dias úteis.

[c] Tempo de ciclo máximo: 100s

[d] Estudo dos movimentos: a representação dos movimentos (MV) e das aproximações é apresentada na Figura 7.18, onde:

- Aproximação 1 = Rua E, sentido único;
- Aproximação 2 = Rua F, sentido único.

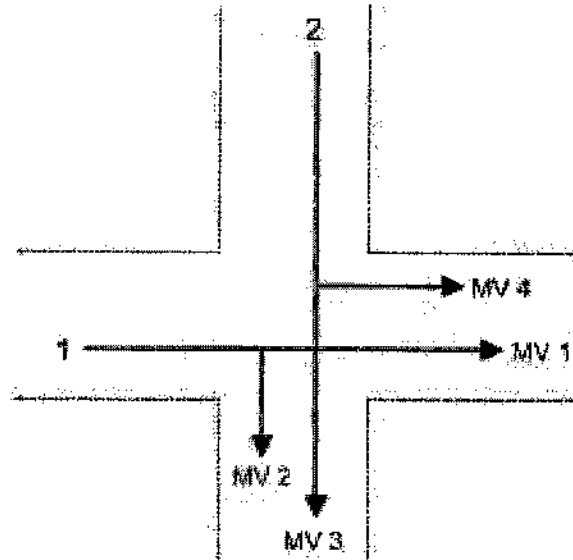


Tabela de movimentos conflitantes

	MV1	MV2	MV3	MV4
MV1			x	x
MV2			x	
MV3	x	x		
MV4	x			

Figura 7.18: Representação esquemática dos movimentos e aproximações

[e] Determinação dos grupos de movimentos:

Grupo de movimentos 1 (GM1), inclui os movimentos MV1 e MV2;

Grupo de movimentos 2 (GM2), inclui os movimentos MV3 e MV4.

[f] Definição do diagrama de estágios

Para a situação considerada, portanto, é adotado o diagrama de estágios mostrado na Figura 7.19.

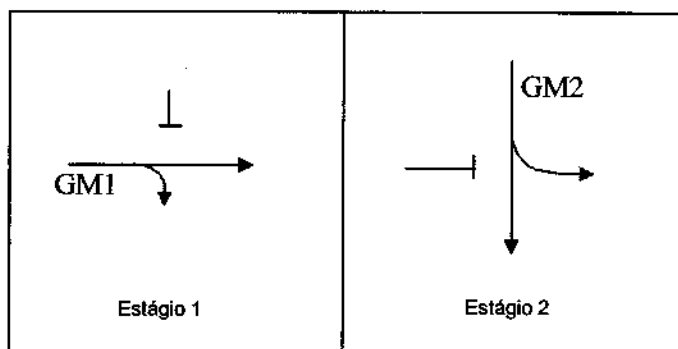


Figura 7.19: Diagrama de estágios

[g] Definição dos grupos semaforicos

A Figura 7.20 mostra a distribuição dos grupos semaforicos G1 e G2, para os dois semaforos (grupos focais) que serão utilizados na interseção.

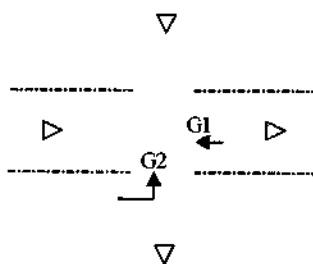


Figura 7.20: Distribuição dos grupos semaforicos

Grupo semaforico 1 (G1) = Rua E (sentido único), que indica a sinalização para o grupo de movimentos 1 (MV1 e MV2);

Grupo semaforico 2 (G2) = Rua F (sentido único), que indica a sinalização para o grupo de movimentos 2 (MV3 e MV4).

[h] Determinação dos parâmetros de segurança dos grupos de movimentos**Tempo de verde de segurança:**

$$t_{v\text{seg},1} = 16 \text{ s};$$

$$t_{v\text{seg},2} = 12 \text{ s}.$$

Determinação do tempo de entreverdes

Neste exemplo, os tempos de amarelo e vermelho geral são fornecidos como dados do problema

$$t_{am,1} = 4 \text{ s}; t_{am,2} = 3 \text{ s};$$

Tempos de vermelho geral:

$$t_{vg,1} = 0; t_{vg,2} = 1 \text{ s};$$

ETAPA II: Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa II da programação semafórica, mostrada no item 7.1. Esses dados foram obtidos a partir de levantamentos de campo.

Taxa de fluxo de cada grupo de movimentos:

$$\text{Rua E: } F_1 = 1200 \text{ veíc/h};$$

$$\text{Rua F: } F_2 = 360 \text{ veíc/h}$$

Fluxo de saturação (FS)

$$\text{Rua E: } FS_1 = 2400 \text{ veíc/h};$$

$$\text{Rua F: } FS_2 = 2700 \text{ veíc/h}$$

Tempo perdido inicial e final de cada grupo de movimentos

Neste exemplo, considerou-se que os tempos perdidos inicial e final foram medidos em campo e resultaram nos seguintes valores:

$$t_{pin,1} = 2 \text{ s}; t_{pfn,1} = 2 \text{ s}; t_{pin,2} = 3 \text{ s}; t_{pfn,2} = 1 \text{ s};$$

ETAPA III: A seguir são apresentados os cálculos previstos na Etapa III da programação semafórica, mostrada no item 7.1.

[a] Cálculo das taxas de ocupação: realizado com o uso da Equação 6.2.

$$y_1 = \frac{1200}{2400} = 0,50$$

$$y_2 = \frac{360}{2700} = 0,13$$

O somatório das taxas de ocupação do cruzamento é igual, portanto, a 0,63.

[b] Definição dos grupos de movimentos críticos

Como cada estágio só atende a um grupo de movimentos, os movimentos críticos são:

Estágio 1: GM1

Estágio 2: GM2

[c] Cálculo do tempo perdido total (T_p): é realizado mediante a Equação 6.1.

$$T_p = t_{ep} + \sum_{i=1}^n (t_{pin,i} + t_{pfni,i})$$

$$T_p = 0 + (2 + 2) + (3 + 1) = 8 \text{ s}$$

[d] Cálculo do tempo de ciclo

Neste exemplo, a determinação dos tempos de ciclo é feita pelo método do grau de saturação máximo, adotado como 0,82 para os movimentos críticos dos dois estágios.

$$p_1 = \frac{0,50}{0,82} = 0,61$$

$$p_2 = \frac{0,13}{0,82} = 0,16$$

Como os graus de saturação impostos são os mesmos para os dois estágios, o tempo de ciclo pode ser calculado diretamente por meio da Equação 6.10.

$$t_c = \frac{0,82 \times 8}{0,82 - 0,63} = 35 \text{ s}$$

[e] A comparação entre o tempo de ciclo calculado e tempo de ciclo máximo mostra que a condição foi atendida.

[f] Cálculo dos tempos de verde efetivos

$$t_{v,efet,1} = 0,61 \times 35 = 21 \text{ s}$$

$$t_{v,efet,2} = 0,16 \times 35 = 6 \text{ s}$$

[g] Cálculo do tempo de verde real

O tempo de verde real é obtido por meio da Equação 6.14.

$$t_{v,real} = t_{v,efet} - t_{ent} + t_{ptn} + t_{pfn}$$

$$t_{v,real,1} = 21 - (4 + 0) + 2 + 2 = 21 \text{ s}$$

$$t_{v,real,2} = 6 - (3 + 1) + 3 + 1 = 6 \text{ s}$$

[h] Comparação entre os tempos de verde real e os correspondentes verdes de segurança

Como o tempo de verde real do estágio 2 implicou num tempo de verde para GM2 inferior ao correspondente verde de segurança, igual a 12 segundos, deve-se recalculá-lo de forma que o novo verde do estágio 2 seja exatamente igual a esse valor.

[i] Cálculo do novo tempo de ciclo (Método 1 do item 6.14.2.)

Segundo a Equação 6.16:

$$t_c = \left(\frac{0,63}{0,13} \right) \times (12 + 3 + 1 - 3 - 1) + 8$$

$$t_c = 66 \text{ s}$$

O tempo de verde efetivo do estágio 1 é calculado por:

$$t_{v,efet,1} = (66 - 8) \times \frac{0,50}{0,63} = 46 \text{ s}$$

E o correspondente tempo de verde real, obtido por meio da Equação 6.14.

$$t_{v,real,1} = 46 - (4 + 0) + 2 + 2 = 46 \text{ s}$$

[j] Soma dos intervalos = tempo de ciclo?

É importante assegurar que, após os arredondamentos efetuados, a soma dos tempos de verde efetivo com os entreverdes seja igual ao tempo de ciclo calculado. Isto é:

$$t_c = t_{v,real,1} + t_{v,real,2} + t_{ent} = 12 + 46 + 8 = 66 \text{ s}$$

[k] Programação semafórica

A Figura 7.21 mostra o diagrama de intervalos luminosos para os tempos calculados.

Instante (s)	0	46	50	62	65	66
Rua E	[Diagrama de barras representando o tempo verde para a Rua E]					
Rua F	[Diagrama de barras representando o tempo verde para a Rua F]					
Intervalos	1	2	3	4	5	
Duração (s)	46	4	12	3	1	
% do Ciclo	69,7	6,1	18,2	4,5	1,5	
Estágios	1		2			

Figura 7.21: Diagrama dos intervalos luminosos para o tempo de ciclo de 66s

É importante observar a forte elevação do tempo de ciclo, de 35 para 66 segundos, causada pela necessidade de atender o verde de segurança e, simultaneamente, manter a condição de que os dois movimentos críticos têm que estar sujeitos ao mesmo grau de saturação. Neste caso, os graus de saturação (Equação 6.7) passam a ser $x_1 = 0,72$ e $x_2 = 0,73$. Tal aumento do tempo de ciclo, de quase 100%, implicará em, aproximadamente, a mesma elevação no atraso do cruzamento.

Por isso, é conveniente considerar alternativas quando se faz necessário refazer o tempo de ciclo devido ao verde de segurança.

Uma possível opção é abrir mão da igualdade dos graus de saturação entre os movimentos críticos. Por exemplo, mantém-se a imposição do grau de saturação original para o grupo de movimentos que não sofreu a restrição do verde de segurança (0,82), o que implica em que a fração de verde original também é mantida. Tal encaminhamento corresponde ao Método 2 apresentado no item 6.14.3 e será aplicado, a seguir, no presente exemplo utilizando a Equação 6.17.

[l] Cálculo do novo tempo de ciclo (Método 2 do item 6.14.3.)

Segundo a Equação 6.17:

$$t_c = t_c \times 0,61 + (12 + 3 + 1 - 3 - 1) + 8$$

$$t_c = 51 \text{ s}$$

A partir do tempo de ciclo, o tempo de verde real (ver item 6.10) do Estágio 1 é calculado como segue:

O tempo de verde real é obtido por meio da Equação 6.14.

$$t_{v,real} = t_{v,efet} - t_{ent} + t_{ptn} + t_{pfn}$$

$$t_{v,real,1} = 0,61 \times t_c - (4 + 0) + 2 + 2 = 31 \text{ s}$$

$$t_{v,real,2} = 12 \text{ s}$$

Neste caso, os graus de saturação (Equação 6.7) serão:

$$x_1 = \frac{1200}{2400 \times 0,61} = 0,82$$

$$x_2 = \frac{360}{2700 \times \frac{12}{51}} = 0,57$$

Observa-se que os dois movimentos críticos apresentam graus de saturação diferentes, ao contrário do Método 1.

[m] Programação semafórica

A Figura 7.22 mostra o diagrama de intervalos luminosos para os tempos calculados.

Instante (s)	0	31	35	47	50	51
Rua E		█	█	█	█	█
Rua F	█	█	█	█	█	█
Intervalos	1	2	3	4	5	
Duração (s)	31	4	12	3	1	
% do Ciclo	60,8	7,8	23,5	5,9	2	
Estágios	1		2			

Figura 7.22: Diagrama dos intervalos luminosos para o tempo de ciclo de 51s

Análise complementar

Para avaliar o impacto do tempo de ciclo de 66s sobre o desempenho do tráfego na interseção são apresentadas a seguir as medidas de desempenho abordadas no item 6.18.

Número de paradas

Assumindo que os fluxos de chegada e saída são constantes, pode-se utilizar a equação 6.18 para calcular o número de paradas.

$$n_{p,1} = \frac{1200 * 2400}{2400 - 1200} \times \frac{20}{3600}$$

Portanto, $n_{p,1} = 13,33$ veículos/ciclo ou 727 veículos/h

$$n_{p,2} = \frac{360 * 2700}{2700 - 360} \times \frac{54}{3600}$$

Portanto, $n_{p,2} = 6,23$ veículos/ciclo ou 340 veículos/h

Assim, o número de veículos parados por hora no cruzamento, será igual a 1067 veículos, o que corresponde a 68% do total de 1560 veículos que passam pelo local.

Fila máxima

Assumindo que as taxas de fluxo de chegada e saída apresentam as características descritas no item 6.18.2, pode-se utilizar a Equação 6.19 para estimar as filas máximas.

$$f_{max,1} = 1200 \times \frac{20}{3600} = 7 \text{ veículos}$$

$$f_{max,2} = 360 \times \frac{54}{3600} = 6 \text{ veículos}$$

Atraso

Assumindo que os fluxos de chegada e saída apresentam as características descritas no item 6.18.3, pode-se utilizar a Equação 6.22 para calcular o atraso médio de um veículo para cada um dos grupos de movimento.

Inicialmente, calcula-se os valores das frações de verde e do grau de saturação.

$$p_1 = \frac{46}{66} = 0,70$$

$$p_2 = \frac{12}{66} = 0,18$$

$$x_1 = \frac{1200}{2400 \times 0,70} = 0,71$$

$$x_2 = \frac{360}{2700 \times \frac{12}{66}} = 0,73$$

Teoricamente, os valores de x_1 e x_2 deveriam ser idênticos. A pequena diferença observada se justifica devido ao arredondamento nos cálculos intermediários.

$$a_{u+at,1} = \frac{t_c(1-p)^2}{2(1-px)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0,65 \left(\frac{t_c}{q^2} \right)^{1/3} x^{(2+5p)}$$

$$a_{u+at,1} = \frac{66(1-0,70)^2}{2(1-0,70 \times 0,71)} + \frac{0,71^2}{2 \times \frac{1200}{3600}(1-0,71)} - 0,65 \left(\frac{66}{\left(\frac{1200}{3600}\right)^2} \right)^{1/3} 0,71^{(2+5 \times 0,70)}$$

$$a_{u+at,1} = 5,90 + 2,61 - 0,83 = 7,68 \text{ s}$$

$$a_{u+at,2} = \frac{66(1-0,18)^2}{2(1-0,18 \times 0,73)} + \frac{0,73^2}{2 \times \frac{360}{3600}(1-0,73)} - 0,65 \left(\frac{66}{\left(\frac{360}{3600}\right)^2} \right)^{1/3} 0,73^{(2+5 \times 0,18)}$$

$$a_{u+at,2} = 25,55 + 9,87 - 4,89 = 30,53 \text{ s}$$

O atraso total do cruzamento, A_t , será igual a:

$$A_t = 1200 \times 7,68 + 360 \times 30,53 = 20207 \frac{[veic]}{h} \times s \text{ ou } 5,61 \frac{[veic]}{h} \times h$$

6.2.5 Cruzamento com estágio de pedestres em que o tempo de ciclo calculado inicialmente supera o tempo de ciclo máximo adotado – solução pelo método do grau de saturação

ETAPA I: Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa I da programação semafórica, mostrada no item 7.1.

[a] Levantamento das características do local: A interseção considerada é mostrada na Figura 7.23.

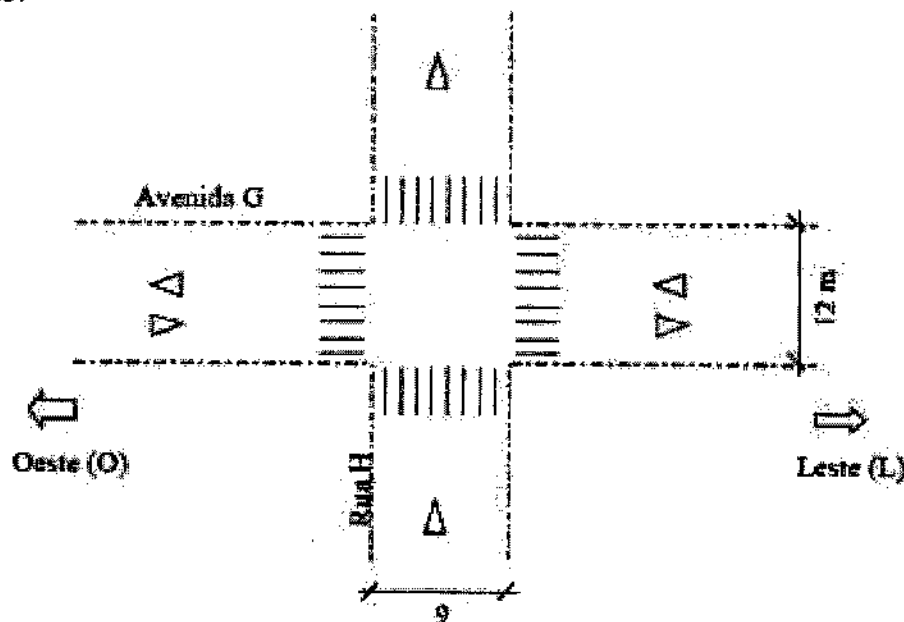


Figura 7.23: Croquis do cruzamento

Observação de risco de acidentes no local

Vistorias ao local indicaram que é necessário prever um estágio exclusivo para os pedestres. Em função dessa necessidade, mediram-se os seguintes parâmetros relativos à travessia de pedestres mais crítica (Ver Apêndice 2), que, neste exemplo, consiste na travessia da Avenida G, do lado Oeste.

$$t_{pr,ped} = 1 \text{ s};$$

$$\text{Comprimento da travessia crítica} - l_{travessia} = 12 \text{ m};$$

$$\text{Velocidade do pedestre} - v_{ped} = 1,2 \text{ m/s};$$

[b] Período de abrangência: o plano a ser programado entrará em operação no período das 17:30h às 20:00h, dos dias úteis.

[c] Tempo de ciclo máximo: 140s

Neste exemplo adotou-se tempo de ciclo máximo superior ao usualmente recomendado de 120s devido às características do trânsito no local.

[d] Estudo dos movimentos: a representação dos movimentos (MV) e das aproximações é apresentada na Figura 7.24, onde:

- Aproximação 1 = Avenida G, sentido oeste/leste
- Aproximação 2 = Avenida G, sentido leste/oeste
- Aproximação 3 = Rua H, sentido único
- Pedestres = Movimentos MP1, MP2, MP3 e MP4

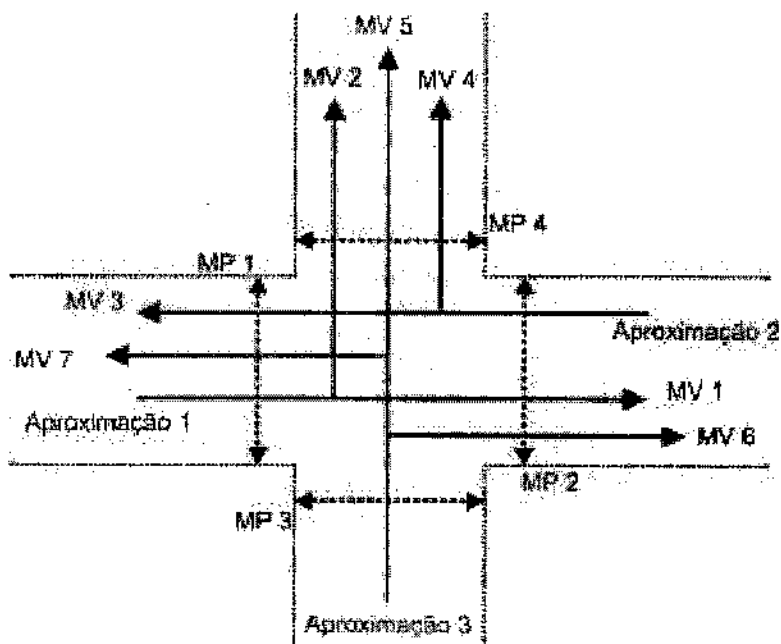


Tabela de movimentos conflitantes

	MV1	MV2	MV3	MV4	MV5	MV6	MV7	MP1	MP2	MP3	MP4
MV1					x	x	x	x	x		
MV2			x	x	x		x	x			x
MV3		x			x		x	x	x		
MV4		x			x				x		x
MV5	x	x	x	x						x	x
MV6	x								x	x	
MV7	x	x	x					x		x	
MP1	x	x	x				x				
MP2	x		x	x		x					
MP3					x	x	x				
MP4		x		x	x						

Figura 7.24: Representação esquemática dos movimentos e aproximações

[e] Determinação dos grupos de movimentos

Grupo de movimentos 1 (GM1), inclui os movimentos MV1 e MV2;

Grupo de movimentos 2 (GM2), inclui os movimentos MV3 e MV4;

Grupo de movimentos 3 (GM3), inclui os movimentos MV5, MV6 e MV7.

[f] Definição do diagrama de estágios

Para a situação considerada, adotou-se o diagrama de estágios mostrado na Figura 7.25.

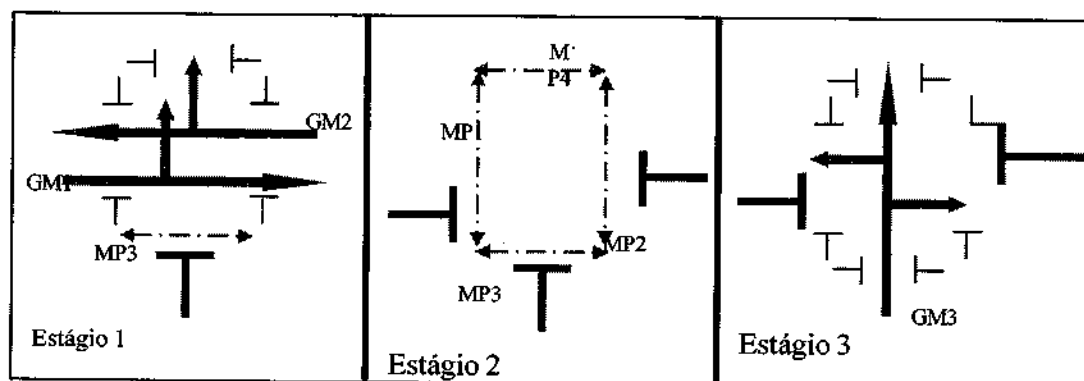


Figura 7.25: Diagrama de estágios

Nas situações em que há estágio exclusivo de pedestres, como é o caso do estágio 2 no exemplo presente, é importante analisar, sob o ponto de vista da segurança viária, em que posição do ciclo que o mesmo deve ocorrer. Para isso, **deve-se** identificar, inicialmente, qual é o movimento de pedestres cuja travessia é mais perigosa. O estágio de pedestres **deverá** ocorrer logo após o estágio em que se forma um volume maior de pedestres que desejam realizar a travessia mais perigosa. Usualmente, quando se trata da interseção de uma avenida com uma transversal de menor classificação viária, é conveniente que o estágio de pedestres ocorra após o estágio veicular que libera a avenida. Entretanto, mesmo nesses casos, podem existir condições particulares que acarretem que a travessia mais perigosa é a da transversal e não a da avenida, levando, portanto, a que o estágio de pedestres ocorra após o estágio veicular que libera a transversal.

[g] Definição dos grupos semafóricos

A Figura 7.26 mostra a distribuição dos grupos semafóricos veiculares G1 e G2 e dos grupos semafóricos de pedestre G3 e G4, que serão utilizados na interseção.

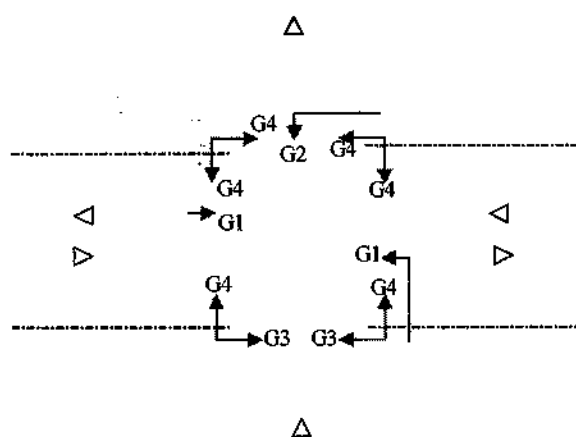


Figura 7.26: Distribuição dos grupos semafóricos

Grupo semafórico 1 (G1) = Avenida G, ambos os sentidos, que indica a sinalização para os grupos de movimentos 1 (MV1 e MV2) e 2 (MV3 e MV4);

Grupo semafórico 2 (G2) = Rua H (sentido único), que indica a sinalização para o grupo de movimentos 3 (MV5, MV6 e MV7).

Grupo semafórico 3 (G3) = Pedestres que indica a sinalização para o movimento MP3.

Grupo semafórico 4 (G4) = Pedestres que indica a sinalização para os movimentos MP1, MP2 e MP4.

[h] Determinação dos parâmetros de segurança dos grupos de movimentos

Tempo de verde de segurança: 12s para todos os grupos de movimentos.

Determinação do tempo de entreverdes

Neste exemplo, os tempos de amarelo e vermelho geral são fornecidos como dados do problema. Os tempos de amarelo e vermelho geral dos grupos de movimentos 1 e 2, neste exemplo, são idênticos.

$$t_{am,1} \text{ e } t_{am,2} = 4 \text{ s}; t_{am,3} = 3 \text{ s};$$

$$t_{vg,1} \text{ e } t_{vg,2} = 1 \text{ s}; t_{vg,3} = 2 \text{ s};$$

ETAPA II: Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa II da programação semafórica, mostrada no item 7.1. Esses dados foram obtidos a partir de levantamentos de campo.

Taxa de fluxo de cada grupo de movimentos

Avenida G: $F_1 = 1770$ veíc/h (sentido oeste/leste); $F_2 = 1280$ veíc/h (sentido leste/oeste);

Rua H: $F_3 = 1230$ veíc/h.

Fluxo de saturação (FS)

Avenida G: $FS_1 = 3400$ veíc/h (sentido oeste/leste); $FS_2 = 3400$ veíc/h (sentido leste/oeste);

Rua H: $FS_3 = 4400$ veíc/h.

Tempo perdido inicial e final de cada grupo de movimentos

Neste exemplo, considerou-se que os tempos perdidos inicial e final foram medidos em campo e resultaram nos seguintes valores:

$$t_{pin,1} = 2\text{s}; t_{pfn,1} = 4\text{s}; t_{pin,2} = 1\text{s}; t_{pfn,2} = 4\text{s}; t_{pin,3} = 1\text{s}; t_{pfn,3} = 3\text{s};$$

ETAPA III: A seguir são apresentados os cálculos previstos na Etapa III da programação semafórica, mostrada no item 7.1.

[a] Cálculo das taxas de ocupação: realizado com o uso da Equação 6.2.

$$y = \frac{F}{FS}$$

- taxa de ocupação do Grupo de Movimentos 1 (y_1):

$$y_1 = \frac{1770}{3400} = 0,52$$

$$T_p = 16 + (2 + 4) + (1 + 3) = 26 \text{ s}$$

$$T_p = t_{ep} + \sum_{i=1}^n (t_{dni} + t_{dfni})$$

Pode-se calcular, com esses dados, o tempo perdido total T_p através da equação 6.1:

Portanto, o estágio 2 **deverá** ter duração de $4 + 11 + 1 = 16 \text{ s}$.

de 1,0 s para o vermelho geral.

Após o vermelho intermitente e antecedendo o início do estágio 3, deve ser previsto um intervalo de vermelho geral, conforme consta no item 6.7.2. Neste exemplo, adotou-se o valor

$$t_{ent} = 1 + \frac{12}{1,2} = 11 \text{ s}$$

$$t_{ent} = \phi + \frac{a_p}{l}$$

Equação 6.6:

O estágio 2, que atende a travessia de pedestres, é composto por um tempo de verde cujo valor, neste exemplo, será adotado como 4s e por um tempo de vermelho intermitente, que **deverá** ser suficiente para que o pedestre realize a travessia crítica da Avenida G, sendo calculado pela

[c] Cálculo do tempo perdido total (T_p): é realizado mediante a Equação 6.1.

$$\sum \gamma_i = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 = 0,52 + 0,28 = 0,80$$

A taxa de ocupação do cruzamento é de

movimentos crítico do estágio 1.

No estágio 1 há dois grupos de movimentos recebendo verde simultaneamente (GMI e GM2). Como esses dois grupos de movimentos recebem verde durante exatamente o mesmo período, a taxa de ocupação a ser considerada no cálculo deve ser a maior entre os dois grupos de movimentos. No caso, será adotada γ_1 , por ser maior que γ_2 . O GMI será, portanto, o grupo de

[b] Definição dos grupos de movimentos críticos

$$\gamma_3 = \frac{1230}{4400} = 0,28$$

- taxa de ocupação do Grupo de Movimentos 3 (γ_3):

$$\gamma_2 = \frac{3400}{1280} = 0,38$$

- taxa de ocupação do Grupo de Movimentos 2 (γ_2):

[d] Cálculo do tempo de ciclo

Neste exemplo, a determinação dos tempos de ciclo é feita pelo método do grau de saturação máximo, adotado como 0,85 para os movimentos críticos dos dois estágios.

Como os graus de saturação impostos são os mesmos para os dois estágios, o tempo de ciclo pode ser calculado diretamente por meio da Equação 6.10.

$$t = \frac{xm T_p}{xm - \sum_{i=1}^n y_i}$$

$$t_c = \frac{0,85 \times 26}{0,85 - 0,80} = 442 \text{ s}$$

[e] A comparação entre o tempo de ciclo calculado e tempo de ciclo máximo mostra que a condição não foi atendida, pois o valor calculado ultrapassa o tempo de ciclo máximo permitido. Deve-se impor, portanto, que o tempo de ciclo seja igual a 140 s.

[f] Cálculo dos tempos de verde efetivos

Como o tempo de ciclo foi alterado em relação àquele indicado pelo Método do Grau de Saturação, é necessário, inicialmente, calcular quais os novos graus de saturação decorrentes desta alteração. Como foi adotada a condição de que todos os movimentos críticos devam ter o mesmo grau de saturação, pode-se utilizar a Equação 6.10:

$$140 = \frac{xm \times 26}{xm - 0,80}$$

De onde, determina-se $xm = 0,98$.

O próximo passo é calcular a fração de verde (p) para cada estágio, usando a Equação 6.8. Para

o estágio 1:

$$p_1 = \frac{0,52}{0,98} = 0,53$$

Para o estágio 3:

$$p_3 = \frac{0,28}{0,98} = 0,29$$

O cálculo dos tempos de verde neste método é dado pela Equação 6.12:

Para o estágio 1:

$$t_{v,efct,1} = 0,53 \times 140 = 74 \text{ s}$$

A Figura 7.27 mostra o diagrama de intervalos luminosos para os tempos calculados.

[h] Programação semafórica

estágio 2 para 39.

Como a soma superou o tempo de ciclo em 1 segundo, alteramos o tempo de verde real do

$$\text{Soma} = (75 + 5) + (4 + 11 + 1) + (40 + 5) = 141 \text{ s}$$

Verificação:

igual ao tempo de ciclo.

A soma dos tempos de verde reais e respectivos entreverdes, para todos os estágios deve ser

[i] Soma dos intervalos = tempo de ciclo?

Não se aplica a este exemplo, em função do resultado de [h].

[j] Cálculo do novo tempo de ciclo

(12s) mostra que a condição foi atendida.

[h] A comparação entre os tempos de verde real e os correspondentes verdes de segurança

$$t_{\text{verde}3} = 41 - 5 + 1 + 3 = 40 \text{ s}$$

Para o estágio 3:

$$t_{\text{verde}1} = 74 - 5 + 2 + 4 = 75 \text{ s}$$

Para o estágio 1:

O tempo de verde real é obtido por meio da Equação 6.14.

[g] Cálculo do tempo de verde real

$$t_{\text{verde}3} = 0,29 \times 140 = 41 \text{ s}$$

Para o estágio 3:

A Tabela 7.1 permite verificar o aumento do atraso e do número de paradas provocado pela programação do estágio de pedestres. É interessante observar que o tempo de espera médio de um pedestre é igual a 65 s até conseguir atravessar em seu estágio exclusivo.

É importante ressaltar que devem ser observados os critérios para a implantação de um estágio de pedestres apresentados no Capítulo 4.

	Atraso (veículos*h/h)	Espera média por veículo (s)	Número de Paradas (veículos/h)
Situação com estágio de pedestres	77,1	65	3928
Situação sem estágio de pedestres	34	29	3444

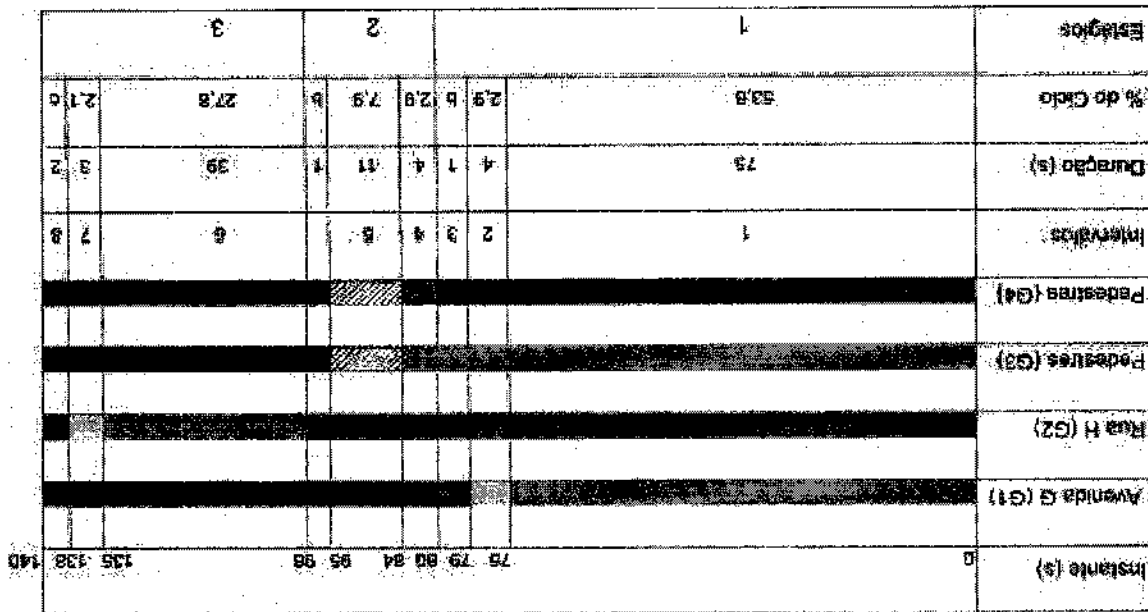
Tabela 7.1: Indicadores de desempenho

A Tabela 7.1 apresenta os indicadores de desempenho que foram calculados a partir das equações 6.18 e 6.22 para as situações com e sem estágio de pedestres. Fixou-se o tempo de ciclo máximo de 140 s para as duas situações.

Análise complementar

Onde: $b = 0,7$; $c = 1,4$

Figura 7.27: Diagrama de intervalos luminosos para o tempo de ciclo de 140s



7 PROGRAMAÇÃO DE SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA ISOLADA ATUADA

7.1 Conceitos básicos

O controle de uma sinalização semafórica é considerado do tipo atuado quando a ocorrência de um ou mais estágios e/ou sua respectiva duração dependem do reconhecimento efetuado por equipamentos detectores de veículos e pedestres que a demandam.

O controle é definido como totalmente atuado quando todos os estágios dependem do reconhecimento da demanda de veículos e/ou pedestres.

O controle é definido como semiatuado quando pelo menos um dos estágios não depende do reconhecimento da demanda dos veículos ou pedestres.

Neste capítulo é considerado apenas o controle baseado no princípio clássico da extensão do tempo verde. Sistemas atuados que trabalham com outras técnicas de programação não são abordados.

Os três parâmetros básicos de um estágio para a programação semafórica do tipo atuado são: verde mínimo, extensão de verde e verde máximo, conforme definições contidas no Capítulo 6.

O verde de um estágio atuado nunca será inferior ao seu verde mínimo mesmo que as demandas cessem antes do seu término.

Cada veículo detectado gera uma solicitação para que o verde seja alongado de um intervalo igual ao valor programado para a extensão de verde do estágio correspondente. Essa solicitação somente é atendida sob determinadas condições que são tratadas ao longo deste capítulo.

A duração do verde não poderá superar o valor programado para o verde máximo, mesmo que continuem ocorrendo novas demandas após o seu término.

A Figura 8.1 exemplifica a sistemática de funcionamento de um estágio atuado em função de solicitações que ocorrem em determinados instantes, de acordo com o princípio clássico da extensão do tempo verde.

Neste item são abordados os elementos a considerar quando da execução do projeto de detecção de veículos. O projeto de detecção de pedestres é apresentado no Capítulo 10. Os diferentes tipos de dispositivos de detecção são apresentados no Capítulo 3.

No projeto de detecção para sinalização semafórica totalmente atuada só devem ser mantidos ativos os detectores associados aos movimentos críticos de cada estágio no plano vigente.

7.2 Projeto de detecção de veículos

Na Figura 8.1, cada solicitação S_n provoca o prolongamento do intervalo de verde de um tempo igual a t_{ev} (tempo de extensão de verde). Dessa forma, o verde continua enquanto existir uma solicitação que incida dentro da extensão de verde gerada pela solicitação anterior. Como a solicitação S_5 ocorreu após o término da extensão provocada pela S_4 , o intervalo de verde termina no fim dessa extensão, redundando numa duração igual a t_{vd} .

Figura 8.1: Funcionamento de um estágio atuado em função de solicitações de veículos

S_n – solicitação de um veículo;

$t_{vd\ min}$ - tempo de verde mínimo;

t_{ev} - tempo de extensão de verde;

$t_{vd\ max}$ - tempo de verde máximo;

t_{vd} - tempo de verde real.

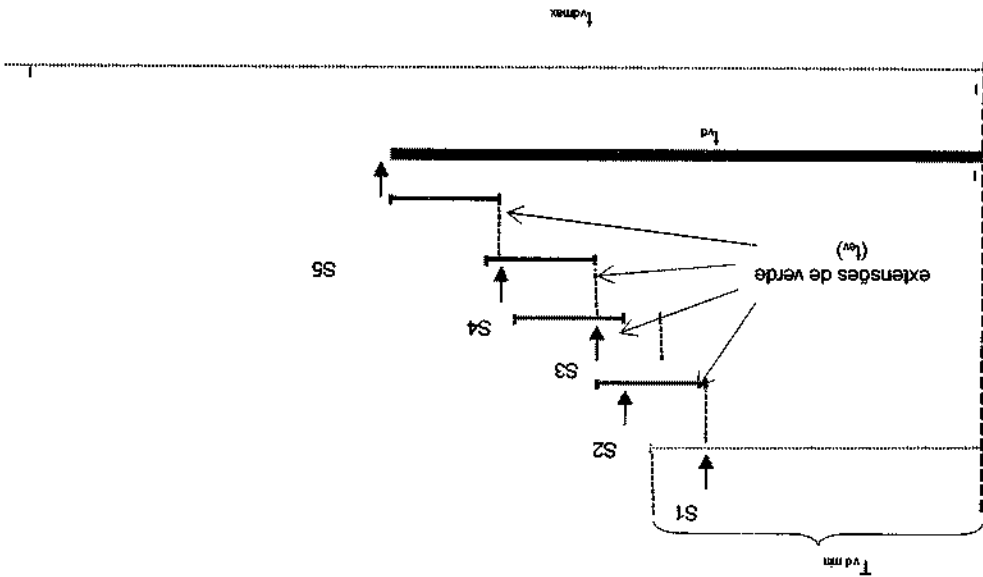
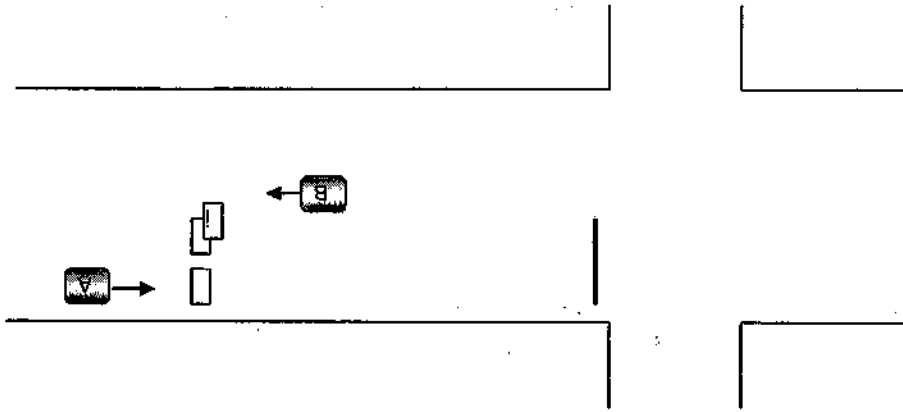


Figura 8.2: Posicionamento de lago detector inibidor



No caso do uso de lagos detectores indutivos, a fim de coibir a falsa atuação, costuma-se projetar um lago detector, chamado inibidor, posicionado conforme mostrado na Figura 8.2.

Nos casos em que se tem mão-dupla e as correntes de trânsito opostas não estão isoladas por separação física pode ocorrer que um veículo que acabou de passar pela sinalização semafórica atione inadvertidamente o detector da corrente de trânsito oposta. Uma solução é utilizar o recurso de detectores direcionais, em que o próprio detector se encarrega de registrar apenas os veículos que trafegam na direção e sentido para o qual foi instalado.

O projeto deve prever que não exista possibilidade de que veículos, principalmente motocicletas, passem entre as áreas detectadas por dois detectores vizinhos ou entre um detector e o meio-fio, deixando de ser captados.

7.2.2 Configuração da seção detectada

No caso de estágio atuado dispensável (item 8.5.3), a seção de detecção deve ser posicionada próxima da linha de retenção, de modo que a distância entre elas seja inferior ao comprimento de um veículo de passeio.

A posição da seção de detecção em relação à linha de retenção é definida em função da estratégia adotada para a determinação do valor do tempo verde.

Convem que o trecho compreendido entre a seção de detecção e a linha de retenção seja livre de interferências tais como pontos de ônibus, acessos de pólos geradores de viagens, etc. Neste trecho não pode existir nenhuma via transversal, para assegurar que os veículos que chegam à linha de retenção sejam os mesmos que foram detectados.

É preferível posicionar a seção de detecção em um trecho retilíneo, onde o comportamento do trânsito é sempre mais homogêneo. É preferível, também, evitar o posicionamento da seção de detecção em local com estacionamento irregular e/ou eventual.

O sucesso da atuação depende da leitura correta da demanda, o que recomenda que o local escolhido para a detecção possua características físicas semelhantes às da aproximação semafórica correspondente, por exemplo, mesmo número de faixas.

7.2.1 Posicionamento longitudinal

Toda vez que o laço inibidor é acionado pelo veículo B, o sistema desativa por alguns décimos de segundo o laço detector normal que está mais próximo da linha divisória dos fluxos.

7.2.3 Problemas no sistema de detecção

Como o tipo atuado depende totalmente da detecção, qualquer defeito nesta última pode prejudicar o desempenho da sinalização semafórica. Um cuidado essencial é o de parametrizar o controlador para que, no caso de que um detector fique inoperante, o modo atuado seja desativado e a sinalização semafórica passe a operar com tempos fixos, utilizando uma programação especificamente dimensionada para esse fim.

7.3 Parâmetros da programação de estágio atuado por veículos

Os três parâmetros básicos de um estágio para a programação semafórica do tipo atuado por veículo são: verde mínimo, extensão de verde e verde máximo, conforme definições contidas no Capítulo 6.

No caso de estágio atuado por veículo, um parâmetro adicional pode ser utilizado, que é o tempo de retardo.

7.3.1 Verde mínimo

O verde mínimo deverá ser igual ao maior dentre os dois valores calculados nas alíneas a e b:

a) O verde mínimo de um estágio deve ser igual ou superior aos verdes de segurança dos grupos de movimentos correspondentes.

$$t_{vmin} \geq t_{vseg} \quad (8.1)$$

em que:

t_{vmin} – verde mínimo, em segundos;

t_{vseg} – verde de segurança em segundos.

b) O verde mínimo deve ser longo o suficiente para assegurar a passagem de todos os veículos que se encontrem entre a linha de retenção e a seção de detecção no princípio do estágio, obtido por meio da Equação 8.2.

$$t_{vmin} = t_{pm} + \frac{dse}{d} * t_{fs} \quad (8.2)$$

em que:

t_{vmin} – tempo de verde mínimo, em segundos;

t_{pm} – tempo perdido no início, em segundos;

Na Figura 8.3, o produto da velocidade "v" pela extensão de verde solicitada pelo veículo 1 é igual à distância entre a seção de detecção e a linha de retenção.

Qualquer veículo, com velocidade maior ou igual a "v" que se encontrar no trecho entre os pontos A e B, chegará a seção de detecção antes do fim da extensão de verde provocada pelo veículo anterior e solicitará nova extensão. O veículo 2, por exemplo, será obrigado a parar, pois se encontra a montante do ponto A.

Isto é, na estratégia de passagem o valor da extensão de verde depende da localização da seção de detecção.

v = velocidade do fluxo de tráfego na aproximação, em m/s.

d_{det} = distância entre a seção de detecção e a linha de retenção, em metros;

t_{ev} = tempo da extensão de verde, em segundos;

em que:

$$t_{ev} = \frac{d_{det}}{v} \quad (8.3)$$

Na estratégia de passagem, o valor da extensão de verde é determinado pela Equação 8.3.

- ii) Minimizar o atraso total da interseção a partir da identificação do melhor instante de corte do verde (estratégia de corte ótimo).
- i) Possibilitar que todo veículo detectado durante o verde de seu estágio consiga passar pela sinalização semafórica ainda nesse mesmo verde, enquanto o verde máximo do estágio não é atingido (estratégia de passagem).

A determinação da extensão de verde pode visar um dos seguintes propósitos:

7.3.2 Extensão de verde

Em geral, considera-se o tempo perdido no início igual a 3 segundos e o espaçamento médio entre as frentes dos automóveis em fila igual a 6 metros.

i_{fs} - intervalo entre veículos correspondente ao fluxo de saturação, em segundos (i_{fs} = 3600/FS^{por faixa}).

esp - espaçamento médio entre as frentes dos automóveis em fila, em metros;

d - distância entre a linha de retenção e a seção de detecção, em metros;

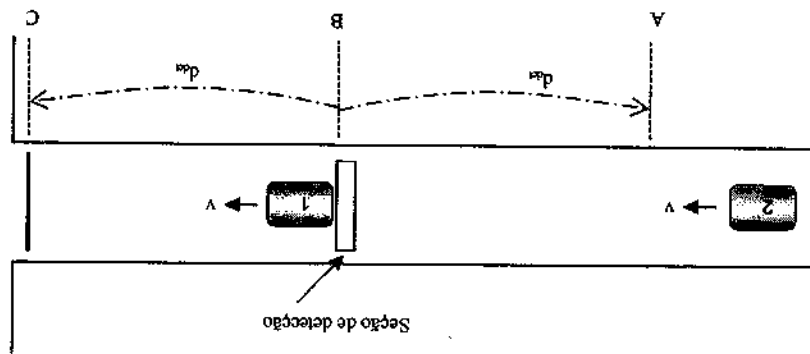
Na Tabela 8.1, são apresentados valores recomendados para o tempo de extensão de verde (TEV) na estratégia de corte ótimo. Esses valores aplicam-se, em geral, a situações típicas nas quais o fluxo de saturação é igual a 1800 ucp/h por faixa, ou seja, FS = 0,5 ucp/s por faixa, o comprimento da seção detectada é igual a 1,5 metros, o comprimento médio dos veículos é igual a 5 metros e a velocidade de projeto está em torno de 40 km/h.

Para a estratégia de corte ótimo, no caso do estágio atuado controlar mais de uma aproximação, é importante que seja considerada exclusivamente a detecção do movimento crítico para esse estágio durante o período de abrangência de cada plano. Podem ser definidos diferentes movimentos críticos ao longo do dia, associados a diferentes planos.

- ✓ Usualmente, o tempo ocioso do detector é identificado para toda a seção de detecção e não para cada faixa isoladamente, ou seja, os veículos detectados podem estar circulando em faixas diferentes.
- ✓ Os detectores medem o tempo entre o final da passagem de um veículo sobre a seção de detecção e o início da passagem do veículo subsequente sobre a mesma área; este tempo é denominado de "tempo ocioso do detector";

Na estratégia de corte ótimo considera-se que:

Figura 8.3: Relação entre o posicionamento longitudinal da seção de detecção e a extensão de verde



Para o dimensionamento do verde máximo, deve ser calculada inicialmente a programação que trata do cálculo da programação semafórica para sinalização semafórica isolada de tempo fixo.

7.3.3 Verde máximo

Este procedimento evita a existência de verde ocioso e, ao mesmo tempo, permite levar o último veículo do pelotão detectado até a linha de retenção.

Em algumas situações, entretanto, as condições da via e do tráfego não permitem a localização da seção de detecção exatamente no local definido. Neste caso, ela deve ser colocada o mais próximo possível desse local.

Na estratégia de corte ótimo, é necessário determinar a extensão de verde antes da definição do posicionamento da seção de detecção. A posição da seção de detecção é definida de forma que o tempo de percurso até a retenção seja igual ao valor desta extensão.

A programação das extensões de verde deve ser implementada em passos de um décimo de segundo a fim de assegurar a sensibilidade e acurácia para ajuste da temporização em função das variações do volume de tráfego.

Podem, também, ser utilizados programas computacionais para esse propósito. A apresentação desses programas está fora do escopo deste Manual.

Nas situações muito diferentes das pressupostas para a Tabela 8.1, deverá ser calculado o valor de TEV, considerando: distribuição da chegada dos veículos enquanto a taxa de descarga se manter no fluxo de saturação; valor do fluxo de saturação; comprimento da seção detectada no sentido do fluxo; comprimento médio dos veículos e velocidade do fluxo de tráfego na aproximação.

NÚMERO DE FAIXAS	FS [(UCP/S) POR APROXIMAÇÃO]	TEV[S]
5	2,5	0,4
4	2,0	0,6
3	1,5	1,0
2	1,0	1,8
1	0,5	4,1

Tabela 8.1: Exemplos de cálculo de extensão de verde para corte ótimo

$$t_r = \frac{d_{det}}{v}$$

(8.11)

Quando adotado, o tempo de retardo é determinado pela Equação 8.11.

O tempo de retardo é o tempo transcorrido entre o instante da detecção e o instante em que esta detecção é efetivamente considerada pelo controlador. Sua função é promover a segurança viária, evitando que, nas situações em que regularmente não haja fila na aproximação controlada pelo estágio atuado, o primeiro veículo atendido adentre a interseção sem ter a oportunidade de verificar se a mesma está totalmente liberada dos movimentos conflitantes (veicular ou de pedestre).

7.3.4 Tempo de retardo

Deve-se enfatizar que ao utilizar a Equação 8.10 pode ser que ocorram tempos de ciclos superiores ao tempo de ciclo máximo estabelecido de acordo com as recomendações do item 6.9. Neste caso, o tempo de ciclo adotado deve ser igual ao tempo de ciclo máximo. A seguir, utilizando a Equação 6.14, calcula-se para cada estágio o respectivo tempo de verde real, que será adotado como o "verde máximo" do estágio.

t_{c} – Tempo de ciclo adotado para o cálculo do verde máximo, em segundos;
 t_{fixo} – tempo de ciclo calculado para operação em tempo fixo, em segundos.

em que,

$$t_c = 1,4 * t_{cfixo}$$

(8.10)

O tempo de ciclo calculado para a programação de tempo fixo deve ser majorado para permitir que a sinalização semafórica atuada atenda variações do fluxo de tráfego que ocorrem ao longo do período de abrangência do plano. Propõe-se adotar um valor igual a 1,4 para esse fator de majoração, o que conduz à Equação 8.10:

b) Verde máximo na estratégia de corte ótimo

No caso da presença de estágios não associados à detecção, não existe um valor limite máximo para o tempo de verde.

No caso dos estágios associados à detecção, o tempo de verde máximo será o próprio valor encontrado para o correspondente verde de referência.

operação em tempo fixo.

6.14. Isto é, o verde máximo corresponde ao tempo de verde real do estágio considerado na calculado e permite a determinação dos tempos de referência utilizando a Equação

a) Verde máximo na estratégia de passagem

A duração do tempo de retardo depende das características locais, recomendando-se que sejam adotados tempos em torno de cinco segundos.

O tempo de retardo é o tempo transcorrido entre o instante do acionamento da botoeira e o instante em que a detecção é efetivamente considerada pelo controlador.

7.4.4 Tempo de retardo

Em se tratando de uma interseção, as durações dos estágios veiculares serão calculadas conforme procedimento apresentado no Capítulo 6.

Nas travessias de pedestres de meio de quadra, o tempo do estágio veicular será simplesmente a diferença entre o tempo de ciclo e o tempo dedicado ao estágio de pedestres.

7.4.3 Tempos de duração dos estágios veiculares

A determinação do tempo de ciclo deve ser realizada de acordo com um dos métodos descritos no Capítulo 6.

7.4.2 Tempo de ciclo

O tempo de verde é definido de acordo com os critérios estabelecidos no item 6.10, e o tempo de vermelho intermitente é determinado de acordo com a Equação 6.6.

O estágio de pedestres é formado pelo tempo de verde e pelo tempo de vermelho intermitente. Em alguns casos específicos o vermelho intermitente pode ser seguido de um tempo de vermelho geral.

7.4.1 Tempo do estágio de pedestres

Os parâmetros básicos de um estágio para a programação semafórica do tipo atuado por pedestres são: tempo do estágio de pedestres e tempo de retardo.

A programação da sinalização semafórica que possui um estágio atuado por pedestres é concluída com a determinação do tempo de ciclo e dos tempos de duração dos estágios veiculares.

7.4 Parâmetros da programação de estágio atuado por pedestres

v = velocidade do fluxo de tráfego na aproximação, em m/s.

d_{det} = distância entre a seção de detecção e a linha de retenção, em metros;

t_r = tempo de retardo, em segundos;

em que,

7.5 Características gerais da programação de sinalização semafórica atuada

Além da definição dos parâmetros referidos nos itens 8.3 e 8.4, a programação de sinalização semafórica atuada inclui a definição de outros elementos que afetam diretamente o controle do tráfego.

7.5.1 Sequência de estágios

É possível programar o controlador de forma que a sequência de estágios não seja sempre a mesma. Neste caso, a ordem em que os estágios ocorrem vai depender da ordem em que aparecem as respectivas demandas.

Geralmente, por questões de segurança, tal flexibilidade não é conveniente, pois pode gerar confusão nos usuários, aumentando a possibilidade de acidentes. A sequência fixa de estágios é mais segura, pois tanto os condutores como os pedestres acostumam-se com esta sequência.

7.5.2 Estágio atuado de duração fixa

É possível configurar determinado estágio atuado para que tenha duração fixa. Para esta situação não cabe a determinação do parâmetro "extensão de verde".

7.5.3 Estágio dispensável

Estágio dispensável é aquele que não ocorre durante um ciclo caso não tenha sido demandado. Tal recurso pode ser utilizado, por exemplo, nos casos de estágios de pedestres e saídas de terminais de ônibus.

7.5.4 Demanda prioritária

Demanda prioritária é a demanda provocada por veículos cuja circulação seja considerada prioritária sobre a dos demais veículos.

Quando a demanda prioritária é detectada durante a vigência de um estágio que não a atende (estágio concorrente), ela solicita o início imediato do seu estágio.

Neste caso, a detecção do veículo com prioridade deve ocorrer a uma distância da linha de retenção que lhe permita chegar na sinalização semafórica durante a indicação verde.

No caso da demanda prioritária ocorrer durante a vigência de um estágio que a atende, o verde concorrente é acrescido de uma extensão de verde.

Quando o veículo com prioridade é detectado no início do verde de um estágio concorrente, deverá haver tempo suficiente para que o verde de segurança e o entreverdes desse estágio sejam cumpridos, enquanto o veículo prioritário percorre o trecho até a linha de retenção.

A estratégia de prioridade pode ser utilizada, por exemplo, para o atendimento de veículos de emergência e/ou transporte público. Sua utilização deve ser precedida de uma completa avaliação do impacto que a mudança inesperada da programação corrente da sinalização semafórica pode trazer à segurança de todos os usuários da via.

7.6 Etapas da programação atuada

A programação da sinalização semafórica isolada segue as mesmas quatro etapas detalhadas no Capítulo 7 para a sinalização semafórica isolada de tempo fixo.

Etapa I - Definição das condições em que a programação deverá operar - que é composta pelas mesmas atividades que compõem essa etapa para a programação de tempos fixos (7.1.1).

Etapa II - Determinação das características operacionais do tráfego - que é composta pelas mesmas atividades que compõem essa etapa para a programação de tempos fixos (7.1.2).

Etapa III - Cálculo da programação semafórica - que é específica para a programação atuada. Os parâmetros e características gerais foram apresentados nos itens 8.3, 8.4 e 8.5, e a sequência das atividades envolvidas no cálculo da programação semafórica para estágio atuado por veículo é apresentada no fluxograma da Figura 8.4 (item 8.6.1). As atividades para a programação de estágio atuado por pedestres são apresentadas no item 8.6.2.

Etapa IV - Implementação da programação e avaliação dos resultados - que é composta pelas mesmas atividades dessa etapa para a programação de tempos fixos (7.1.4).

7.6.1 Atividades da Etapa III para atuação por veículos

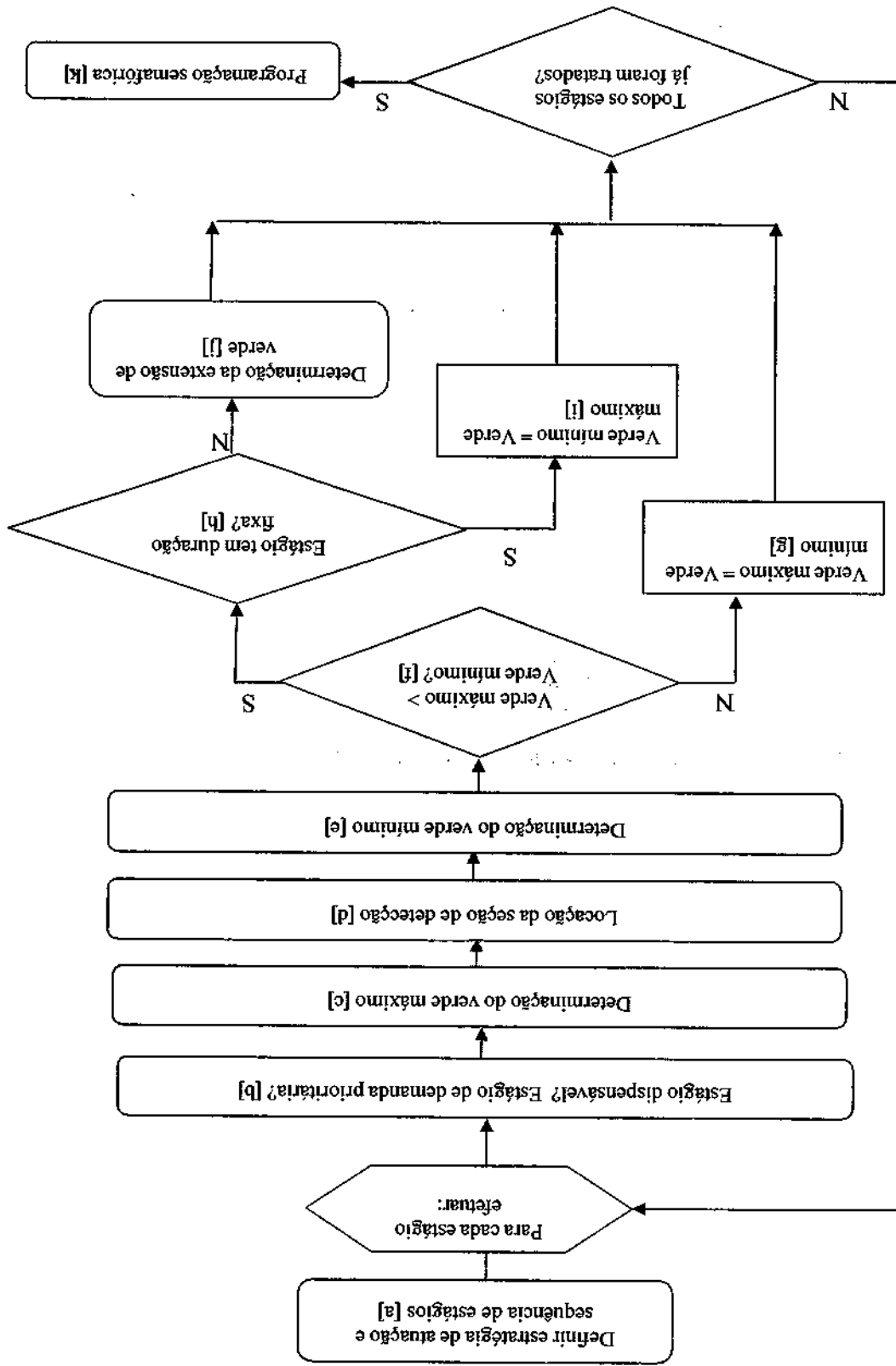


Figura 8.4: Fluxograma da Etapa III: atuação por veículos

A metodologia utilizada no cálculo do tempo de extensão de verde depende se a estratégia é de passagem ou de corte ôtimo (item 8.3.2).

[f] Determinação da extensão de verde

Se o estágio em questão for de duração fixa, adota-se o verde mínimo igual ao verde máximo. Usualmente, é o caso de estágios de pedestres (item 8.4.1).

[h] e [i] Estágio tem duração fixa?

Comparação entre os valores encontrados para os tempos de verde máximo e verde mínimo. Se o valor calculado para o verde máximo resultar inferior ao do verde mínimo, adota-se o verde máximo igual ao verde mínimo.

[j] e [g] Verde máximo > Verde mínimo

Cálculo do tempo de verde mínimo em função dos tempos de verde de segurança e da distância entre a linha de retenção e a seção de detecção (item 8.3.1).

[e] Determinação do verde mínimo

Determinação da posição em que será instalada a seção de detecção em função da estratégia de atuação adotada e das características geométricas e de trânsito do local (item 8.2.1). No caso da estratégia de corte ôtimo, a atividade [f] tem que preceder a atividade [d].

[d] Localização da seção de detecção

Cálculo do tempo de verde máximo a partir da programação que a sinalização semaforica teria se operasse em tempos fixos (item 8.3.3).

[c] Determinação do verde máximo

Verificar se o volume de veículos ou pedestres é suficientemente baixo a ponto de justificar que o estágio atuado somente ocorra quando houver a respectiva demanda, ou seja, se o estágio será de caráter dispensável (item 8.5.3).

Verificar se este estágio atende movimentos com veículos de emergência (bombeiros, ambulâncias, etc.) para os quais seja conveniente estabelecer estratégia de prioridade, ou seja, se o estágio será de demanda prioritária (item 8.5.4).

[b] Estágio dispensável? Estágio de demanda prioritária?

Definir, com base nas características do local e no objetivo que se pretende alcançar, se os parâmetros da programação do(s) estágio(s) atuado(s) serão) determinado(s) segundo a estratégia de passagem ou de corte ôtimo (item 8.3.2). Definir se a sequência de estágios será fixa ou flexível (8.5.1).

[a] Definir estratégia de atuação

Uma vez aplicados os passos do fluxograma para todos os estágios, obtêm-se a programação da sinalização semafórica analisada. Quando necessário, a programação semafórica pode incluir o cálculo do tempo de retardo (8.3.4).

7.6.2 Atividades da Etapa III para atuação por pedestres

O cálculo da programação semafórica para estágio atuado por pedestres consiste na realização das atividades a seguir indicadas:

[a] Determinação do tempo de verde

O tempo de verde do estágio para pedestres é determinado em função das características do local e do fluxo de pedestres, de acordo com o item 6.10.

[b] Cálculo do tempo de vermelho intermitente

O tempo de vermelho intermitente é calculado de acordo com a Equação 6.6 (item 6.7.2).

[c] Cálculo do tempo de ciclo

O tempo de ciclo é determinado conforme critérios estabelecidos no item 6.9..

[d] Cálculo dos tempos dos estágios veiculares

A duração dos estágios veiculares é determinada com base nos critérios definidos no item 6.10.

[e] Definição do tempo de retardo

O tempo de retardo é definido de acordo com as recomendações apresentadas no item 8.4.4.

7.7 Exemplos de programação de sinalização semafórica atuada

7.7.1 Sinalização semafórica totalmente atuada

Apresenta-se a seguir um exemplo de programação semafórica para o controle da interseção mostrada na Figura 8.5 com o uso de sinalização semafórica totalmente atuada.

No levantamento, observou-se que preponderaram veículos com comprimento igual a 4 metros, com espaçamento médio entre as frentes dos veículos em fila (*esp*) igual a 6,0 metros. A velocidade regulamentada da Rua I é de 60 km/h (16,7m/s) e da Rua J é de 40 km/h (11,1m/s).

8.5. A Rua I apresenta três faixas de trânsito em cada sentido e a Rua J possui duas faixas. As faixas de trânsito nas duas vias têm largura igual a 3,2 metros, e a largura do canteiro central é igual a 1,5 metros.

ETAPA I: Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa I da programação semafórica, detalhada no item 7.1.1.

Figura 8.5: Interação das ruas I e J

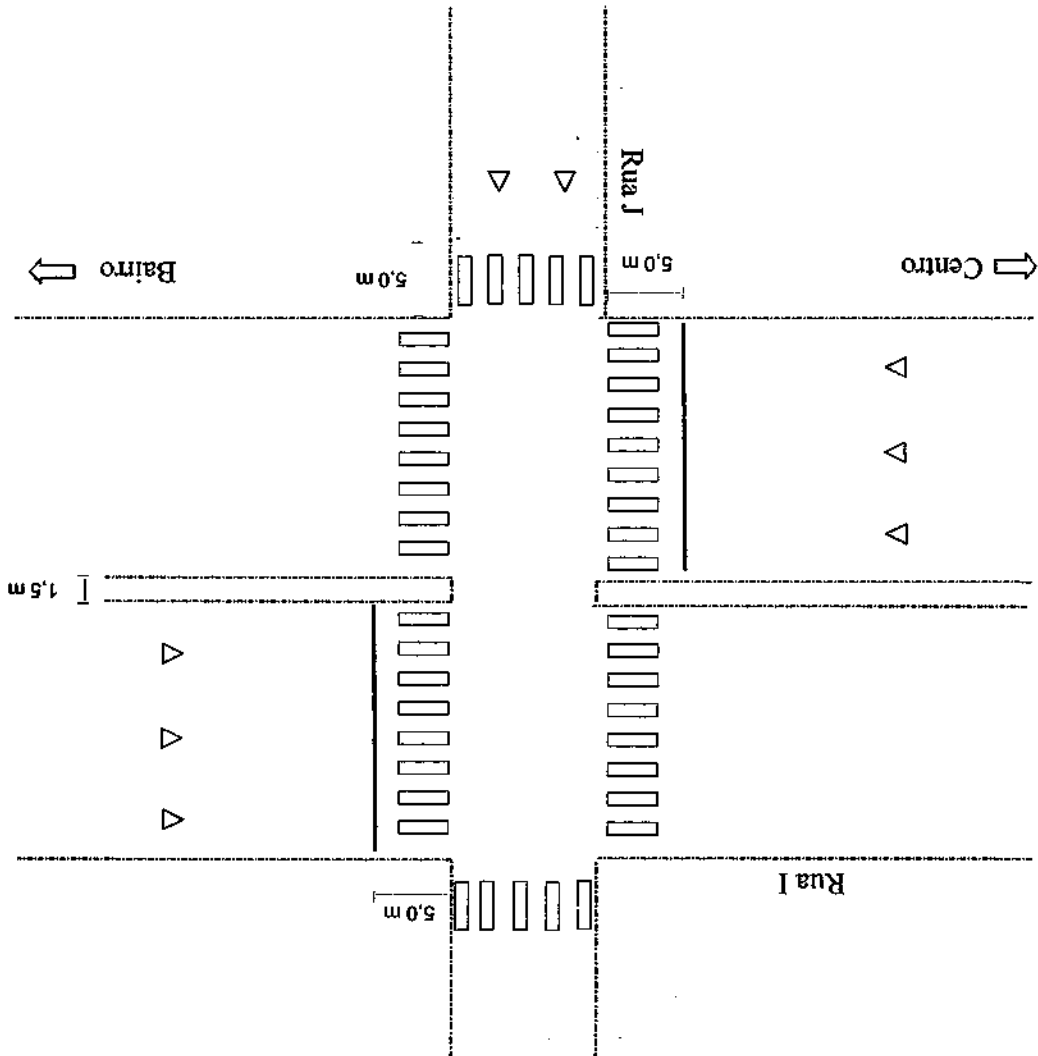
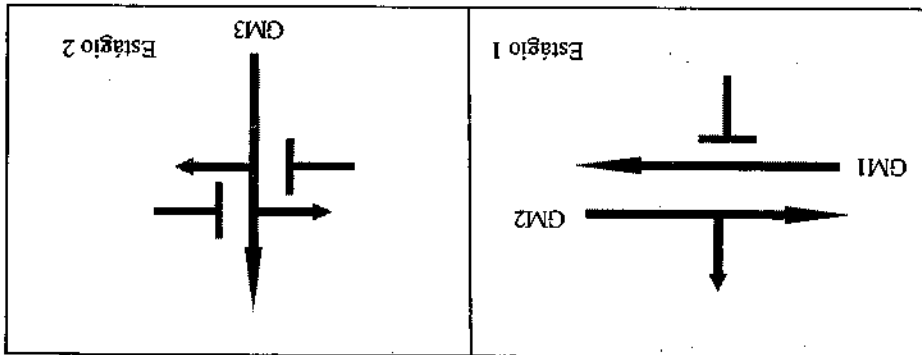


Figura 8.6: Diagrama de estágios



[f] *Definição do diagrama de estágios*: foi adotada a configuração apresentada na Figura 8.6.

Grupo de movimentos 3 (GM3): conjunto de movimentos que se aproximam da interseção pela aproximação da Rua J;

Grupo de movimentos 2 (GM2): conjunto de movimentos que se aproximam da interseção pela aproximação da Rua I, sentido bairro/centro;

Grupo de movimentos 1 (GM1): conjunto de movimentos que se aproximam da interseção pela aproximação da Rua I, sentido centro/bairro;

A análise das características de trânsito do local conduziu à seguinte distribuição:

[a] e [e] *Estudo dos movimentos e Determinação dos grupos de movimentos*:

[c] *Tempo de ciclo máximo*: deseja-se que o tempo de ciclo não ultrapasse o valor de 140 segundos. Como este plano vigorará no horário de pico, é provável que os verdes máximos sejam alcançados.

[b] *Período de abrangência*: o plano a ser programado entrará em operação no período das 6:30 h às 9:45 h, dos dias úteis.

Tempos de verde de segurança – definidos em função das características do local, de acordo com a orientação do item 6.14:

Verde de segurança de GM1: $t_{v\text{seg}1} = 18\text{ s}$
 Verde de segurança de GM2: $t_{v\text{seg}2} = 18\text{ s}$
 Verde de segurança de GM3: $t_{v\text{seg}3} = 12\text{ s}$

Tempos de amarelo – calculados de acordo com a Equação 6.4 (ver Capítulo 6)

Tempo de amarelo de GM1: $t_{am,1} = 4\text{ s}$
 Tempo de amarelo de GM2: $t_{am,2} = 4\text{ s}$
 Tempo de amarelo de GM3: $t_{am,3} = 3\text{ s}$

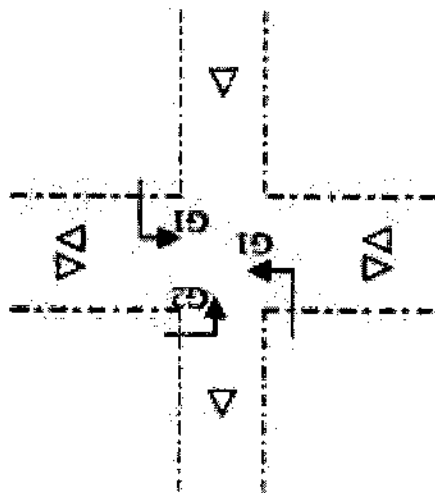
Tempos de Vermelho Geral: calculados de acordo com a Equação 6.4 (ver Capítulo 6)

Tempo de vermelho geral de GM1: $t_{vg,1} = 1\text{ s}$
 Tempo de vermelho geral de GM2: $t_{vg,2} = 1\text{ s}$
 Tempo de vermelho geral de GM3: $t_{vg,3} = 3\text{ s}$

[h] Determinação dos parâmetros de segurança dos grupos de movimentos:

Grupo semaforico G2: Rua J para o Grupo de Movimentos 3.
 Grupo semaforico G1: Rua I, ambos os sentidos, para os grupos de movimentos 1 e 2.

Figura 8.7: Distribuição dos grupos semaforicos



[g] Definição dos grupos semaforicos: a Figura 8.7 mostra a distribuição dos grupos semaforicos G1 e G2 entre os grupos de movimentos.

ETAPA II: Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa II da programação semafórica, mostrada no item 7.1.2. Esses dados foram obtidos a partir de levantamentos de campo.

Taxa de fluxo de cada grupo de movimentos

Rua I (sentido centro/bairro): $F_1 = 2660$ veic/h;

Rua I (sentido bairro/centro): $F_2 = 1330$ veic/h;

Rua J: $F_3 = 1120$ veic/h.

Fluxo de saturação (FS)

Rua I (sentido centro/bairro): $FS_1 = 5220$ veic/h;

Rua I (sentido bairro/centro): $FS_2 = 5150$ veic/h;

Rua J: $FS_3 = 3480$ veic/h.

Tempo perdido inicial e final de cada grupo de movimentos

Neste exemplo, considerou-se o tempo perdido de cada grupo de movimentos como sendo igual ao seu tempo de entreverdes.

ETAPA III: As atividades desta etapa correspondem àquelas descritas no item 8.6.1.

[a] – Definir estratégia de atuação

Em função da alta saturação verificada no local durante o horário de abrangência do plano, será adotada a estratégia de corte último.

[b] – Estágio dispensável? Estágio de demanda prioritária?

Não há estágios dispensáveis ou dependentes de demanda prioritária no local.

[c] – Determinação do verde máximo

O cálculo da programação semafórica em tempos fixos será feito adotando-se grau de saturação máximo igual a 0,9 (item 6.9.1), o que conduz ao tempo de ciclo de 142 s. O item [c] da Etapa I definiu um tempo de ciclo máximo igual 140 segundos, portanto, não deverá ser aplicada a Equação 8.10 e o tempo de ciclo a ser adotado é igual ao tempo de ciclo máximo.

Para o tempo de ciclo de 140s, os valores correspondentes de tempo de verde máximo são:

Tempo de verde máximo para o estágio 1: $tv_{max,1} = 79$ s

Tempo de verde máximo para o estágio 2: $tv_{max,2} = 50$ s

[d] – Determinação da extensão de verde

Como foi adotada a estratégia de corte ótimo na atividade [a] desta etapa, a extensão de verde será definida a partir dos valores propostos na Tabela 8.1 e precede a atividade de locação da seção de detecção (atividade [d]).

Portanto, como a Rua I, que é atendida pelo Estágio 1, possui três faixas de rolamento em sua aproximação crítica, tem-se:

$$t_{ev,1} = 1,0 \text{ s}$$

Analogamente, como a Rua J, que é atendida pelo Estágio 2, apresenta duas faixas de rolamento, tem-se:

$$t_{ev,2} = 1,8 \text{ s}$$

[e] – Locação da seção de detecção

Em função das peculiaridades do local, levantadas na atividade [a] da Etapa I, e da escolha da estratégia de corte ótimo, elaborou-se o projeto das seções de detecção mostrado na Figura 8.8.

A locação da seção de detecção para o estágio 1 (correspondente ao atendimento de GM1), é definida considerando $t_{ev,1} = 1,0$ s, e a velocidade do fluxo igual a 15 m/s. Assim, a distância da seção de locação à linha de retenção é igual a 15 metros (1,0 X 15).

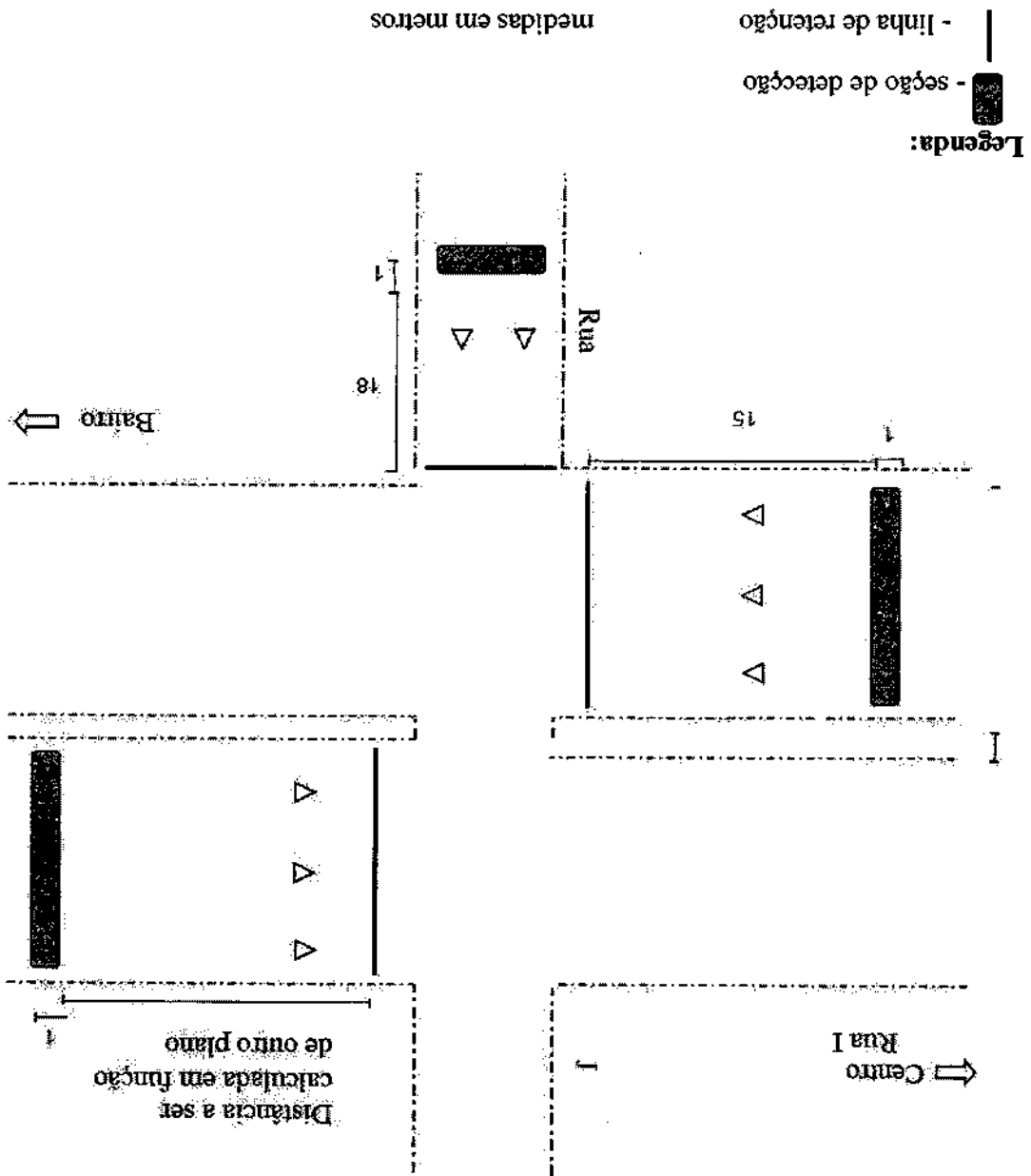
Para o estágio 2 (correspondente ao atendimento de GM3), a locação da seção de detecção é definida considerando $t_{ev,2} = 1,8$ s, e a velocidade do fluxo igual a 10 m/s. Assim, a distância da seção de locação à linha de retenção é igual a 18 metros (1,8 X 10).

A definição da locação da seção de detecção para o atendimento de GM2 fica condicionada à programação de um plano semafórico onde este grupo de movimentos seja crítico.

O cálculo da programação semafórica em tempos fixos apontou que o grupo de movimentos crítico no estágio 1 é GM1. Consequentemente, este estágio será comandado tão somente pela seção de detecção da aproximação centro/bairro da Rua L. A seção de detecção no sentido oposto deverá ser desativada durante o período de abrangência do plano em construção, ou seja, entre 6:30 h e 9:45 h, dos dias úteis (atividade [a] desta Etapa).

O estágio 2 será controlado pela seção de detecção da Rua J.

Figura 8.8: Posicionamento das seções de detecção



[f] – Determinação do verde mínimo

Estágio 1

A atividade [h] da Etapa I definiu que os grupos de movimentos GM1 e GM2 necessitam 18 s de verde de segurança. Então, em função da Equação 8.1, o verde mínimo do estágio 1 tem que ser igual ou maior do que 18 s.

A distância entre a seção de detecção e a retenção é de 15 m para GM1, que é o grupo de movimentos crítico do estágio 1. Aplicando a Equação (8.2), e considerando $t_{pm} = 3$ s, $d = 15$ m, $esp = 6$ m, e $ips = 2,07$ (3600/(5220/3)), tem-se que:

$$t_{vdmn,1} = 3 + \frac{15}{6} * 2,07$$

$$t_{vdmn,1} = 9 \text{ s}$$

O tempo de verde mínimo deve ser o maior valor dentre o calculado e o Verde de Segurança.

Logo:

$$t_{vd\ min,1} = 18 \text{ s}$$

Estágio 2

A atividade [h] da Etapa I definiu que o grupo de movimentos GM3 necessita 12 s de verde de segurança. Então, em função da Equação (8.1), o verde mínimo do estágio 2 deve ser igual ou maior do que 12 s.

GM3 tem uma distância entre a seção de detecção e a retenção igual a 18 m.

Aplicando a Equação (8.2), e considerando $t_{pm} = 3$ s, $d = 18$ m, $esp = 6$ m, e $ips = 2,07$ (3600/(3480/2)), tem-se que:

$$t_{vdmn,2} = 3 + \frac{18}{6} * 2,07$$

$$t_{vdmn,2} = 10 \text{ s}$$

O tempo de verde mínimo deve ser o maior valor dentre o calculado e o verde de segurança.

Logo:

$$t_{vd\ min,2} = 12 \text{ s}$$

$$[g] \text{ e } [h] - \text{Verde máximo} > \text{Verde mínimo}$$

Os valores calculados para verde máximo, tanto para o estágio 1 como para o estágio 2, são maiores do que os correspondentes valores de verde mínimo.

[i] e [j] – Estágio tem duração fixa?

Como não há necessidade de impor duração fixa em nenhum estágio, a atividade [i] não se aplica.

[k] - Programação semafórica

Os valores encontrados para verde mínimo, verde máximo e extensão de verde para os dois estágios compõem a programação semafórica da interseção.

Estágio 1:

$$t_{vd \max, 1} = 79 \text{ s}; t_{vd \min, 1} = 18 \text{ s}; t_{ev, 1} = 1,3 \text{ s}$$

$$\text{Entreverdes} = 5 \text{ s (amarelo)} = 4 \text{ s e vermelho geral} = 1 \text{ s}$$

Estágio 2:

$$t_{vd \max, 2} = 50 \text{ s}; t_{vd \min, 2} = 12 \text{ s}; t_{ev, 2} = 1,9 \text{ s}$$

$$\text{Entreverdes} = 6 \text{ s (amarelo)} = 3 \text{ s e vermelho geral} = 3 \text{ s}$$

Etapa IV - Implantação da programação e avaliação dos resultados

As atividades a realizar nesta etapa são, basicamente, as mesmas relacionadas para as sinalizações semafóricas de tempos fixos descritas no item 7.1.4.

É conveniente enfatizar que geralmente são necessários ajustes práticos de campo na extensão de verde após a implementação da programação. Variações de um décimo de segundo acarretam mudanças consideráveis no desempenho da sinalização. A Equação (8.9) fornece uma primeira aproximação do valor correto, mas como se trata de um parâmetro extremamente sensível a um conjunto de condições locais, impraticável de considerar em equações analíticas, é indispensável efetuar tais ajustes.

Usualmente, os valores calculados para os parâmetros verde mínimo, através das Equações (8.1) e (8.2), e verde máximo apresentam bom desempenho em campo.

7.7.2 Sinalização semafórica sematizada

Apresenta-se a seguir um exemplo de programação semafórica para o controle da interseção mostrada na Figura 8.9 com o uso de sinalização semafórica sematizada.

A velocidade regulamentada da Avenida K é de 60 km/h (16,7m/s) e da Rua L é de 40 km/h (11,1m/s). A partir desses dados e da análise das condições de segurança do local, foram adotadas as velocidades médias observadas, de 54 km/h (15,0 m/s) para Avenida K e de 40 km/h (11,1 m/s) para a Rua L.

No levantamento de campo, observou-se que preponderaram veículos com comprimento igual a 4 metros e com espaçamento (*esp*) igual a 6m.

A interseção considerada é mostrada na Figura 8.9, onde constam as larguras de suas vias, em metros. Tanto cada uma das pistas da Avenida K como a Rua L possuem duas faixas.

[a] Levantamento das características do local:

ETAPA I: Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa I da programação semafórica, detalhada no item 7.1.1.

Figura 8.9: Cruzamento da Avenida K com Rua L

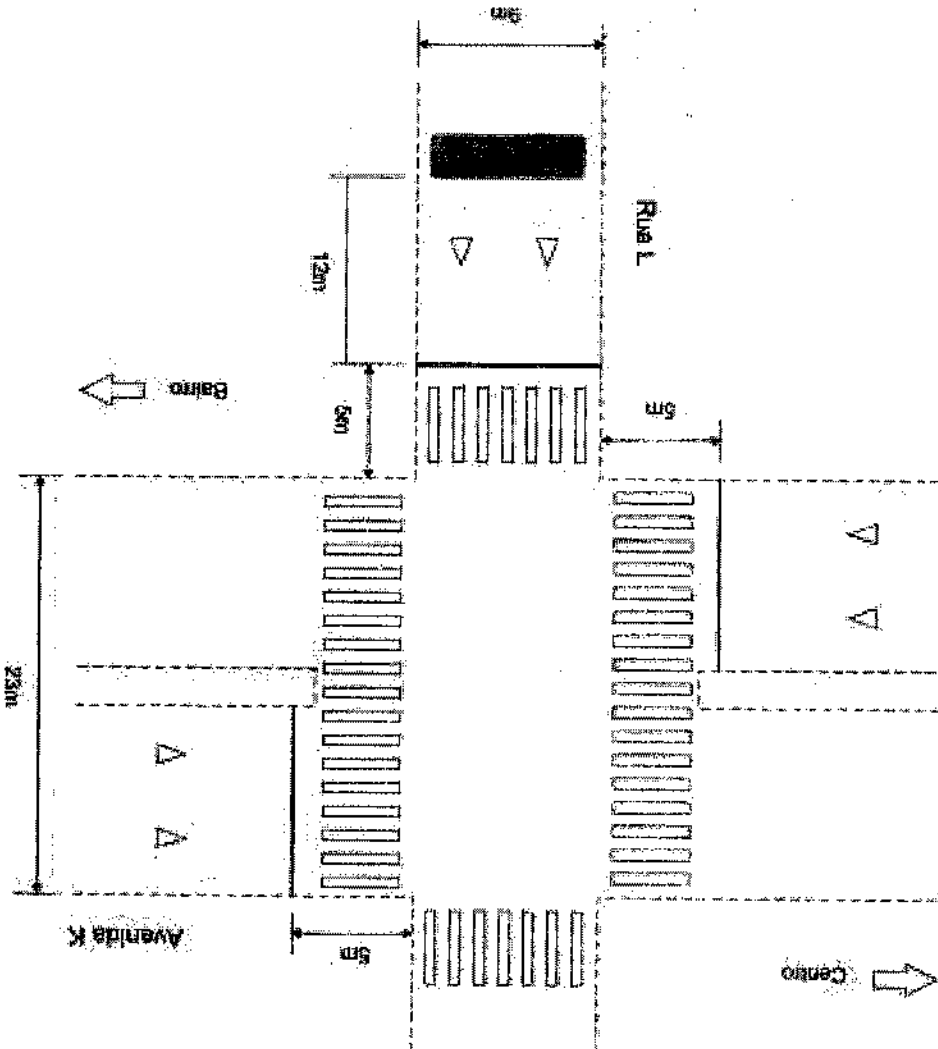
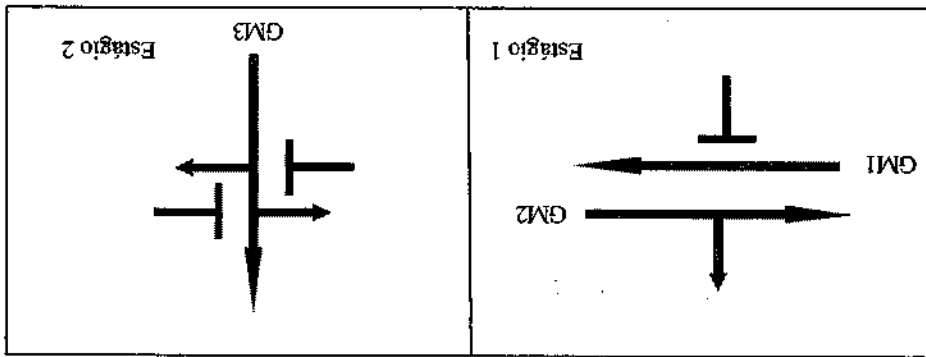


Figura 8.10: Diagrama de estágios



8.10.

[f] *Definição do diagrama de estágios*: foi adotada a configuração apresentada na Figura

pela aproximação da Rua L;

Grupo de movimentos 3 (GM3): conjunto de movimentos que se aproximam da interseção

pela aproximação da Avenida K, sentido bairro/centro;

Grupo de movimentos 2 (GM2): conjunto de movimentos que se aproximam da interseção

pela aproximação da Avenida K, sentido centro/bairro;

Grupo de movimentos 1 (GM1): conjunto de movimentos que se aproximam da interseção

A análise das características de trânsito do local conduziu à seguinte distribuição:

[d] e [e] *Estudo dos movimentos e determinação dos grupos de movimentos*:

segundos.

[c] *Tempo de ciclo máximo*: deseja-se que o tempo de ciclo não ultrapasse o valor de 120

13:30 h às 21:30 h, dos dias úteis.

[b] *Período de abrangência*: o plano a ser programado entrará em operação no período das

[h] Determinação dos parâmetros de segurança dos grupos de movimentos:

Tempos de verde de segurança – definidos em função das características do local, de acordo com a orientação do item 6.14:

Verde de segurança de GM1: $t_{vd\ seg\ 1} = 16\ s$
 Verde de segurança de GM2: $t_{vd\ seg\ 2} = 14\ s$
 Verde de segurança de GM3: $t_{vd\ seg\ 3} = 12\ s$

Tempos de amarelo – calculados de acordo com a Equação 6.4 (ver Capítulo 6)

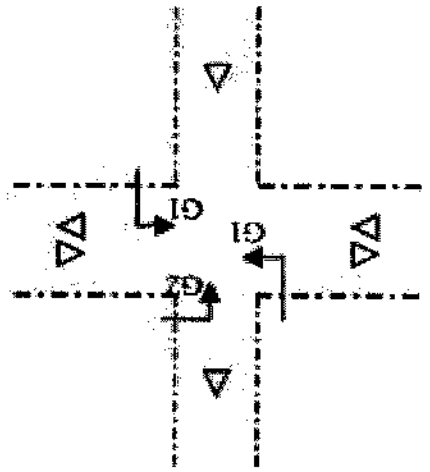
Tempo de amarelo de GM1: $t_{am, 1} = 4\ s$
 Tempo de amarelo de GM2: $t_{am, 2} = 4\ s$
 Tempo de amarelo de GM3: $t_{am, 3} = 3\ s$

Tempos de vermelho geral: calculados de acordo com a Equação 6.5 (ver Capítulo 6)

Tempo de vermelho geral de GM1: $t_{vg, 1} = 1\ s$
 Tempo de vermelho geral de GM2: $t_{vg, 2} = 1\ s$
 Tempo de vermelho geral de GM3: $t_{vg, 3} = 3\ s$

Grupo semafórico G1: Avenida K, ambos os sentidos, para os grupos de movimentos 1 e 2.
 Grupo semafórico G2: Rua L para o grupo de movimentos 3.

Figura 8.11: Distribuição dos grupos semafóricos



[g] Definição dos grupos semafóricos: a Figura 8.11 mostra a distribuição dos grupos semafóricos G1 e G2 entre os grupos de movimentos.

ETAPA II: Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa II da programação semafórica, mostrada no item 7.1.2. Esses dados foram obtidos a partir de levantamentos de campo.

Taxa de fluxo de cada grupo de movimentos

Avenida K (sentido centro/bairro): $F_1 = 1400$ veic/h ;

Avenida K (sentido bairro/centro): $F_2 = 2200$ veic/h ;

Rua L: $F_3 = 50$ veic/h.

Fluxo de saturação

Avenida K (sentido centro/bairro): $FS_1 = 3500$ veic/h ;

Avenida K (sentido bairro/centro): $FS_2 = 3500$ veic/h ;

Rua L: $FS_3 = 3000$ veic/h.

Tempo perdido inicial e final de cada grupo de movimentos

Foram medidos os seguintes valores:

Para estágio I :

$$t_{pn_1} = 3s \text{ e } t_{pf_1} = 3s$$

Para estágio 2:

$$t_{pn_2} = 3s \text{ e } t_{pf_2} = 3s$$

ETAPA III: Determinação da programação semafórica.

Em função da vistoria efetuada na Etapa I, item a), decidiu-se pela implantação da seção de detecção da Rua L a uma distância igual a 12 metros da respectiva linha de retenção (ver Figura 8.9).

A aplicação do método do grau de saturação, adotando-se grau de saturação máximo igual a 0,80, levou aos seguintes resultados:

Tempo de ciclo = 64s

Portanto:

✓ Tempo do ciclo de referência = 64s

✓ Tempo do verde de referência do estágio 1 = 51s

✓ Tempo do verde de referência do estágio 2 = 2s

Observe-se que não foi atendido o verde de segurança do grupo de movimentos GM3, associado ao grupo semafórico G2. Assim, deve-se recalcular a programação a fim de que

esse limite seja obedecido. Para isso, empregar-se-á o método 2, descrito em 6.14.1 (equação 6.17), impondo-se o grau de saturação de 0,80 para GM2, o que conduz aos seguintes valores:

Tempo de ciclo: 114s

Tempo de verde real do estágio 1 = 91s

Tempo de verde real do estágio 2 = 12 s

Estes serão os valores adotados para o tempo de ciclo de referência e os tempos de verde de referência, tendo em vista que atendem tanto o tempo de ciclo máximo como os verdes de segurança.

Verde máximo

O conceito de verde máximo não se aplica ao estágio 1 (estágio não atuado).

O verde máximo do estágio 2 é igual ao seu tempo de verde de referência, que é de 12 s.

Verde mínimo

O verde mínimo do estágio 1 deverá ser igual ao correspondente tempo de verde de referência, que é igual a 91s.

O verde mínimo do estágio 2 deve obedecer a dois requisitos:

a) Não ser inferior ao verde de segurança de GM3. Conseqüentemente, o verde mínimo do estágio 2 não pode ser menor do que 12 s;

b) Assegurar a passagem de todos os veículos que podem vir a se encontrar, no princípio do estágio, entre a linha de retenção e a seção detectada; essa condição está assegurada ao aplicar-se a Equação 8.2:

$$t_{vdmn} = t_{pm} + \frac{esp}{d} * t_{fs}$$

Considerando que:

$t_{pm} = 3$ s (tempo perdido inicial do estágio 2, medido na Etapa II)

$d = 12$ m (distância da seção de detecção à linha de retenção)

$esp = 6$ m

$t_{fs} = 3600/1500 = 2,4$ s (Fluxo de Saturação = 3000 veic/h na Etapa II, o que corresponde a 1500 veic/(faixa*h))

$$t_{vdmn,2} = 3 + \frac{6}{12} * 2,4$$

Isto é: $t_{vdmn,2} = 7,8$ s

As atividades que devem ser executadas nessa etapa são, basicamente, as mesmas relacionadas para as sinalizações semafóricas de tempos fixos descritas no item 7.1.4.

ETAPA IV: Implantação da programação e avaliação dos resultados

Tempo de retardo do estágio 2 = 2 s.

Entreverdes do estágio 2 = 6 s (amarelo = 3 s e vermelho geral = 3 s);

Tempo máximo de verde do estágio 2 = 12 s;

Tempo mínimo de verde do estágio 2 = 12 s;

Entreverdes do estágio 1 = 5 s (amarelo = 4 s e vermelho geral = 1 s);

Tempo mínimo de verde do estágio 1 = 9 s;

Comprem a programação semafórica do controle sematizado para o cruzamento exemplificado:

Programação semafórica

$t_r = 1,1$ s \rightarrow Adotar $t_r = 2$ s

O tempo de retardo, calculado pela Equação 8.11, é igual a:

Tempo de retardo

Portanto t_p é igual a 1,1 s, o que remete a que, nesta situação hipotética considerada, a Extensão de Verde do estágio 2 também seria igual a 1,1 s.

$$t_p = \frac{12}{11,1}$$

Como a distância da seção de detecção até a linha de retenção é igual a 12 m e a velocidade da Rua L é de 11,1 m/s, o tempo de percurso é determinado por:

De acordo com a estratégia de passagem, a extensão de verde do estágio 2 seria igual ao tempo de percurso entre a seção detectada e a linha de retenção.

Como os valores de verde mínimo e de verde máximo coincidiriam, não faz sentido falar em extensão de verde. Entretanto, para fins didáticos, será apresentado, a seguir, o encaminhamento que seria dado se o verde máximo tivesse resultado superior ao verde mínimo.

Extensão de verde

Ressalte-se que os valores de verde mínimo e verde máximo do estágio 2 coincidiriam, o que é aceitável.

Consequentemente, o verde mínimo do estágio 2 será definido como sendo igual a 12 s a fim de poder cumprir simultaneamente as duas exigências anteriores.

Grupo de movimentos 2 (GM2): movimento na Avenida M sentido bairro/centro;

Grupo de movimentos 1 (GM1): movimento na Avenida M sentido centro/bairro;

A análise das características de trânsito do local conduziu à seguinte distribuição dos movimentos veiculares:

[d] e [e] Estudo dos movimentos e determinação dos grupos de movimentos:

segundos.

[c] Tempo de ciclo máximo: deseja-se que o tempo de ciclo não ultrapasse o valor de 120

h às 23:30 h.

[b] Período de abrangência: o plano a ser programado irá operar diariamente, no período das 05:30

4 metros.

No levantamento de campo, observou-se que preponderam veículos com comprimento igual a

de 45 km/h (12,5 m/s) para os dois grupos de movimentos da Avenida M.

A velocidade regulamentada da Avenida M é de 50 km/h e a velocidade média observada foi

metros.

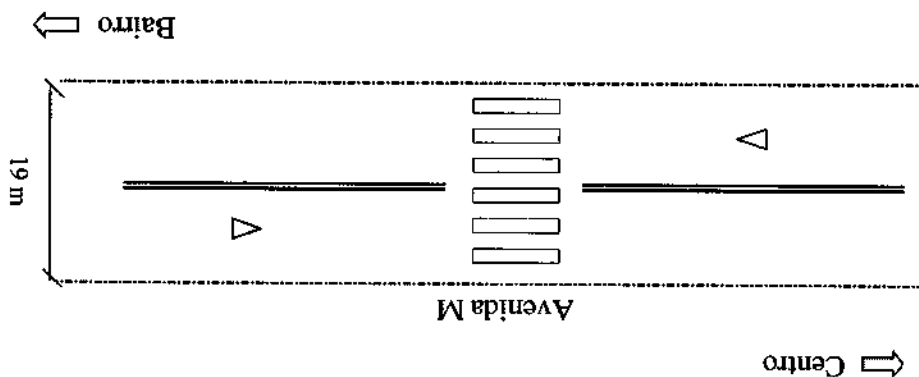
A travessia considerada é mostrada na Figura 8.12, onde consta a largura da Avenida M, em

[a] Levantamento das características do local:

sematórica, detalhada no item 7.1.1.

ETAPA I: Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa I da programação

Figura 8.12: Travessia de pedestres de meio de quadra na Avenida M



Apresenta-se a seguir um exemplo de programação sematórica semiatuada para o controle da travessia de pedestres mostrada na Figura 8.12.

7.7.3 Sinalização sematórica de pedestres em meio de quadra

Verde de segurança de GM2: $t_{vd\ seg\ 2} = 20\ s$

Verde de segurança de GM1: $t_{vd\ seg\ 1} = 20\ s$

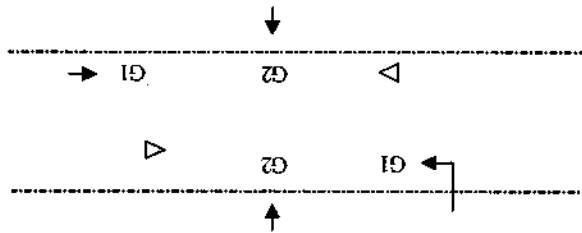
Tempos de verde de segurança

[h] Determinação dos parâmetros de segurança de grupos de movimentos:

Grupo semafórico G2: Para o movimento MP1, de pedestres.

Grupo semafórico G1: Avenida M, ambos os sentidos, para os grupos de movimentos 1 e 2.

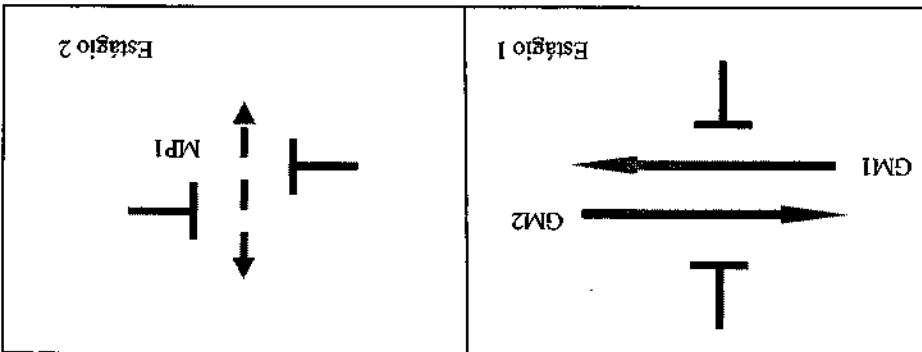
Figura 8.14 - Distribuição dos grupos semafóricos



semafóricos G1 e G2.

[g] Definição dos grupos semafóricos: A Figura 8.14 mostra a distribuição dos grupos

Figura 8.13: Diagrama de estágios



[f] Definição do diagrama de estágios: a Figura 8.13 ilustra o diagrama de estágios.

O movimento de pedestres, nos dois sentidos, é o MP1.

Tempos de amarelo

Tempo de amarelo de GM1: $t_{am,1} = 4$ s

Tempo de amarelo de GM2: $t_{am,2} = 4$ s

Tempos de vermelho geral

Adotando-se, para ambos os sentidos, a distância entre a linha de retenção e o final da faixa (no sentido do fluxo) igual a 8 m, o comprimento observado dos veículos igual a 4 m e a velocidade igual a 12,5 m/s, resultou:

Tempo de vermelho geral de GM1: $t_{vg,1} = 1$ s

Tempo de vermelho geral de GM2: $t_{vg,2} = 1$ s

ETAPA II: Os dados a seguir apresentados correspondem à Etapa II da programação semafórica, mostrada no item 7.1. Esses dados foram obtidos a partir de levantamentos de campo.

Taxa de fluxo de cada grupo de movimentos

Avenida M (sentido centro/bairro): $F_1 = 2000$ veic/h ;

Avenida M (sentido bairro/centro): $F_2 = 1900$ veic/h ;

Fluxo de saturação

Avenida M (sentido centro/bairro): $FS_1 = 3700$ veic/h ;

Avenida M (sentido bairro/centro): $FS_2 = 3700$ veic/h ;

Tempo perdido inicial e final de cada grupo de movimentos

Neste exemplo, considerou-se o tempo perdido de cada grupo de movimentos como sendo igual ao seu tempo de entreverdes.

Pedestres

Velocidade de travessia dos pedestres, medida no local de travessia: 1,1 m/s

ETAPA III: Determinação da programação semafórica.

Em função das observações levantadas na Etapa I, adotou-se que o tempo de verde para a travessia de pedestres, ou seja, o tempo de verde do estágio 2 é igual a 6s (item 8.5.2).

Tempo de vermelho intermitente para o estágio 2:

De acordo com a Equação 6.6, o intervalo vermelho intermitente (entreverdes) para o estágio que serve aos pedestres foi calculado por:

$$t_{em} = 1 + \frac{19}{1,1} = 18,3 \text{ s}$$

Adotar:

$$t_{em} = 19 \text{ s}$$

Após o vermelho intermitente deve ser previsto um intervalo de vermelho geral, conforme consta no item 6.7.2. Neste exemplo, adotou-se o valor de 1,0 s para o vermelho geral.

Portanto, o estágio 2 tem duração de 26 s (6 de verde, 19 de vermelho intermitente e 1 de vermelho geral).

Para o cálculo do tempo de ciclo de referência, foi aplicado o método do grau de saturação, utilizando os seguintes valores:

$$\text{Grau de saturação máximo} = 0,75$$

$$\text{Tempo perdido total } (T_p) = 5 + 26 \text{ (entreverdes veicular + tempo do estágio de pedestres)} = 31 \text{ s}$$

$$p_A = (2000/3700)/0,75 = 0,72$$

Portanto, o tempo de ciclo de referência foi calculado por:

$$t_c = \frac{31}{1-0,72} = 111 \text{ s}$$

Tempo de ciclo de referência: 111 s

Tempo de entreverdes do estágio 1 = 5 s

Tempo de verde do estágio 2 = 6 s

Tempo de entreverdes do estágio 2 (vermelho intermitente + vermelho geral) = 20 s

Tempo de verde real mínimo do estágio 1 = 111 - 5 - 6 - 20 = 80 s

Considerando-se que os valores calculados atendem simultaneamente o tempo de ciclo máximo e os verdes de segurança, eles foram adotados como tempo de ciclo de referência e tempos de verde de referência.

O tempo de verde de referência do estágio 1 é o tempo mínimo de verde que este estágio irá receber entre o atendimento de duas detecções sucessivas feitas pelos pedestres.

Nesse exemplo, a indicação verde para os veículos é mantida constante até que ocorra uma solicitação pelos pedestres.

Tempo de retardo

A partir das observações feitas em campo durante a Etapa I, foi adotado o tempo de retardo de 5 s para o estágio 2 (item 8.4.4), a fim de que o pedestre possa atravessar com mais segurança.

Programação semafórica

Compõem a programação semafórica do controle semiatuado para a travessia de pedestres exemplificada:

Verde mínimo para o estágio 1 = 80s;

Entreverdes do estágio 1 = 5s (amarelo = 4 s e vermelho geral = 1s);

Verde do estágio 2 = 6 s;

Vermelho intermitente do estágio 2 = 19s;

Vermelho geral após o intermitente = 1s;

Tempo de retardo = 5s

Os diagramas de barras apresentados nas Figuras 8.15 e 8.16 trazem a representação do resultado prático da implementação dessa programação no caso do pedestre acionar a botoeira após transcorridos:

(a) até 75s do tempo de verde para o estágio 1 (o diagrama da Figura 8.15 ilustra a situação em que a atuação ocorreu a 60 segundos do início do verde veicular);

(b) mais de 75s do tempo de verde para o estágio 1 (o diagrama da Figura 8.16 ilustra a situação em que a atuação ocorreu a 120s do início do verde veicular).

Quando a atuação do pedestre ocorre em tempo igual ou inferior a 75s do início do verde do estágio 1, acrescentando-se a este tempo o tempo de retardo, tem-se que a detecção é efetivamente considerada pelo controlador em tempo igual ou inferior a 80s do início do verde veicular. Neste caso, o verde para o pedestre só é apresentado após a conclusão do verde mínimo do estágio 1, igual a 80s, e respectivo entreverdes. O tempo de ciclo fica igual ao tempo de ciclo de referência (111s).

No caso da atuação do pedestre ocorrer passados mais de 75s do início do verde veicular, acrescentando-se a este tempo o tempo de retardo (5s), a detecção é efetivamente considerada pelo controlador após transcorridos mais de 80s do verde do estágio 1 (tempo mínimo de verde desse estágio). Neste caso, o verde para o pedestre é apresentado logo após a passagem do tempo de retardo e do entreverdes do estágio 1. O tempo de ciclo é superior ao tempo de ciclo de referência.

Figura 8.16 - Diagrama de barras referente à atuação do pedestre ocorrida a 120s do início do verde do estágio 1

onde $b = 0,6$

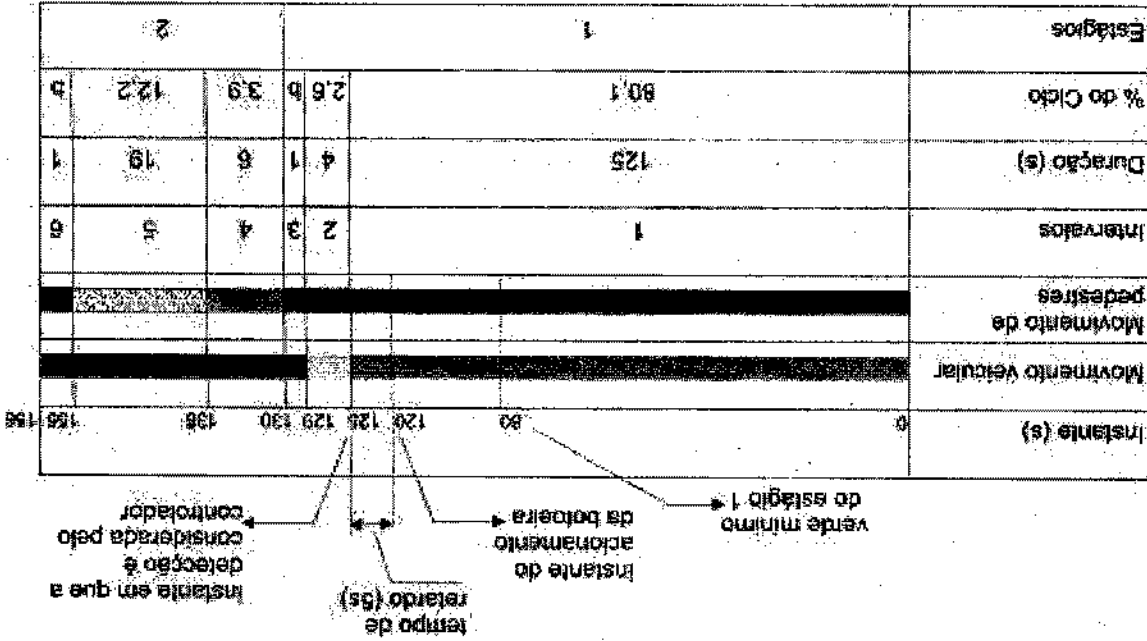
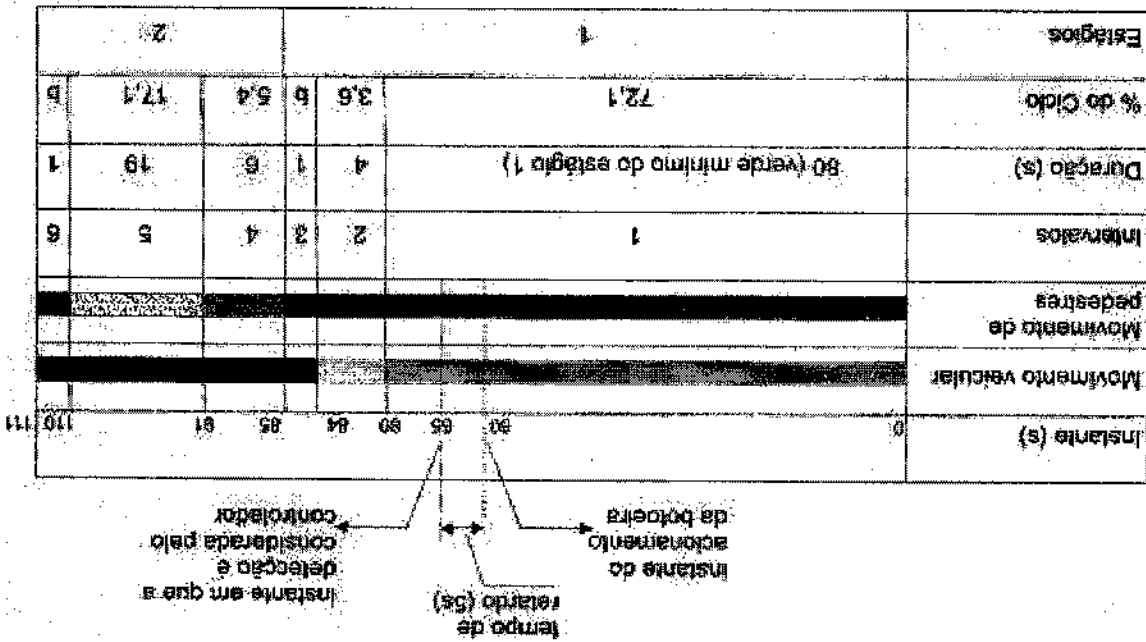


Figura 8.15 - Diagrama de barras referente à atuação do pedestre ocorrida a 60s do início do verde do estágio 1

onde $b = 1,9$



Em algumas situações o estágio da via secundária representa a única oportunidade prática para assegurar a travessia da via principal pelos pedestres. Nesses casos, a utilização do estágio dispensável para a via secundária pode não ser recomendada. O técnico **deverá** estudar outras possibilidades de controle, dentre as quais, implantar um estágio dispensável específico para o atendimento dos pedestres, ou utilizar sinalização semafórica de tempo fixo.

✓ A soma dos volumes das aproximações da via secundária for inferior a 100 veículos por hora, durante, no mínimo, oito horas de um dia típico (não necessariamente consecutivas). Se o volume for maior do que esse valor, a tendência será de que o estágio dispensável seja acionado a todo ciclo, tornando necessário vertificar se convém que a sinalização semafórica opere como atuada ou em tempo fixo.

✓ Os volumes da via principal e da secundária forem muito desequilibrados, com o volume da via principal muito elevado em relação ao da secundária; e

quando:

Configura-se uma situação típica de sematização com estágio dispensável para a via secundária

a) Interação com via secundária de baixo volume

A seguir são apresentadas algumas situações propícias à utilização de sinalização semafórica sematizada, desde que o estudo inicial da interação tenha apontado para a necessidade de implantação de sinalização semafórica.

7.8.2 Sinalização semafórica sematizada

Para o estágio atuado onde é adotada a estratégia de corte ótimo para a determinação da extensão de verde, quanto mais a demanda do seu movimento crítico se aproximar de um padrão aleatório, melhor será o aproveitamento da atuação semafórica. Por isso, a proximidade de outra interação semafórica (com controle atuado ou não) pode comprometer a eficácia do controle atuado.

Sua adoção é recomendada para o controle de interseções onde o volume do tráfego sofre variações contínuas ao longo do tempo (hora, dia, dia da semana, etc), dificultando seu controle por meio de programação por tempo fixo, mesmo com o recurso de diferentes planos.

O tipo totalmente atuado pode ser empregado tanto em locais com grau de saturação baixo como alto, desde que seja escolhida a programação apropriada.

7.8.1 Sinalização semafórica totalmente atuada

Atendidos os critérios estabelecidos para a implantação de sinalização semafórica, algumas situações específicas justificam o uso de controle atuado pelo tráfego. A seguir são apresentadas recomendações gerais para o uso desse tipo de controle.

7.8 Locais candidatos à implantação de sinalização semafórica isolada atuada

As atividades que devem ser executadas nessa etapa são, basicamente, as mesmas relacionadas para a sinalização semafórica de tempo fixo descritas no item 7.1.4.

ETAPA IV: Implantação da programação e avaliação dos resultados

- b) Conversão à esquerda junto ao canteiro central**
- O uso de estágio dispensável para o controle da conversão à esquerda é recomendável quando o fluxo de conversão for inferior a 100 veículos por hora, durante, no mínimo, oito horas de um dia típico (não necessariamente consecutivas).
- c) Saída de veículos de uma edificação lindera**
- Saídas de veículos de alguns tipos de edificações linderas, tais como terminais de ônibus, postos de bombeiros, grandes áreas de estacionamento, etc. podem apresentar trânsito concentrado somente em alguns momentos e/ou demanda eventual. Essas características recomendam a utilização de controle sematizado.
- Em alguns desses casos, como no atendimento de demanda prioritária (ver item 8.5.4), a sinalização semafórica sematizada pode ser implantada mesmo quando o volume de tráfego no local não justifique a implantação de sinalização semafórica.
- d) Travessia de pedestres em meio de quadra**
- Em travessias de meio de quadra o uso de botoeiras para acionar o estágio de pedestres é recomendada quando este estágio for dispensável em algum período do dia. Esta questão **deverá** ser analisada pelo técnico em função das características do fluxo veicular e de pedestres no local.
- e) Interseção com estágio exclusivo de pedestres**
- Em interseção com estágio exclusivo de pedestres, o uso de botoeiras para acionar o estágio de pedestres é recomendada quando este estágio for dispensável em algum período do dia. Esta questão **deverá** ser analisada pelo técnico em função das características do fluxo veicular e de pedestres no local.

8 COORDENAÇÃO SEMAFÓRICA

A coordenação semafórica tem como objetivo melhorar o desempenho da circulação de veículos e/ou pedestres em rede aberta ou fechada (ver item 9.2). As principais características da operação em rede foram apresentadas no Capítulo 5, item 5.2.2.

Conforme apresentado no Capítulo 5, a programação da sinalização semafórica na operação em rede inclui, além dos parâmetros referentes à programação da operação isolada, a determinação da defasagem. Este é, portanto, o parâmetro que caracteriza a presença de coordenação semafórica.

O valor da defasagem é estabelecido em função de um dos seguintes tipos de referência temporal:

✓ O início do tempo de verde de um dos estágios da interseção imediatamente a montante (defasagem relativa entre interseções sucessivas), como ilustrado na Figura 9.1;

✓ O início do tempo de verde de um dos estágios de uma única interseção da rede, previamente definida, que serve de referência para as defasagens de todas as interseções da rede (defasagem absoluta de cada interseção), como mostrado na Figura 9.2;

✓ Uma referência virtual (instante de início da contagem do tempo, não associado a nenhum estágio específico), que pode ser usada quando a programação da operação em rede é realizada por meio de programas computacionais (defasagem absoluta de cada interseção).

O valor da defasagem, sempre expresso em relação ao início do verde, pode ser calculado tomando por base: (i) os inícios dos intervalos de verde dos estágios considerados em duas interseções vizinhas; (ii) os terminos dos intervalos de verde dos estágios considerados em duas interseções vizinhas; (iii) outro ponto de referência desses intervalos de verde como, por exemplo, o ponto central da sua duração.

Neste capítulo somente é abordada a defasagem calculada com referência ao início do tempo de verde, que é a mais utilizada nas aplicações práticas.

Ao estabelecer a defasagem fica definido o momento de iniciar o verde de cada estágio nas interseções que integram a rede, tomando como base a referência temporal especificada.

A Figura 9.1 ilustra o conceito de defasagem no caso da coordenação da sinalização semafórica de duas interseções, tomando por base o início do tempo de verde para o estágio que serve o movimento em frente na primeira interseção.

Neste capítulo são detalhados alguns dos aspectos referidos no Capítulo 5 sobre a coordenação da semafórica na operação em rede e são apresentados os procedimentos para a programação da sinalização semafórica envolvida.

Figura 9.2: Representação do conceito de defasagem absoluta

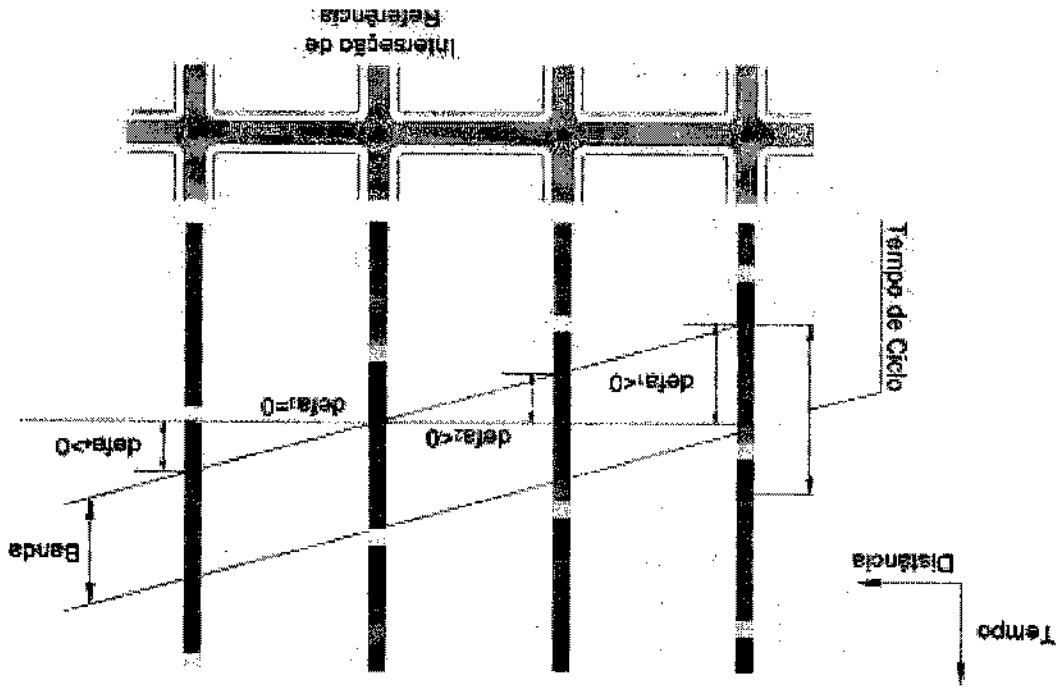
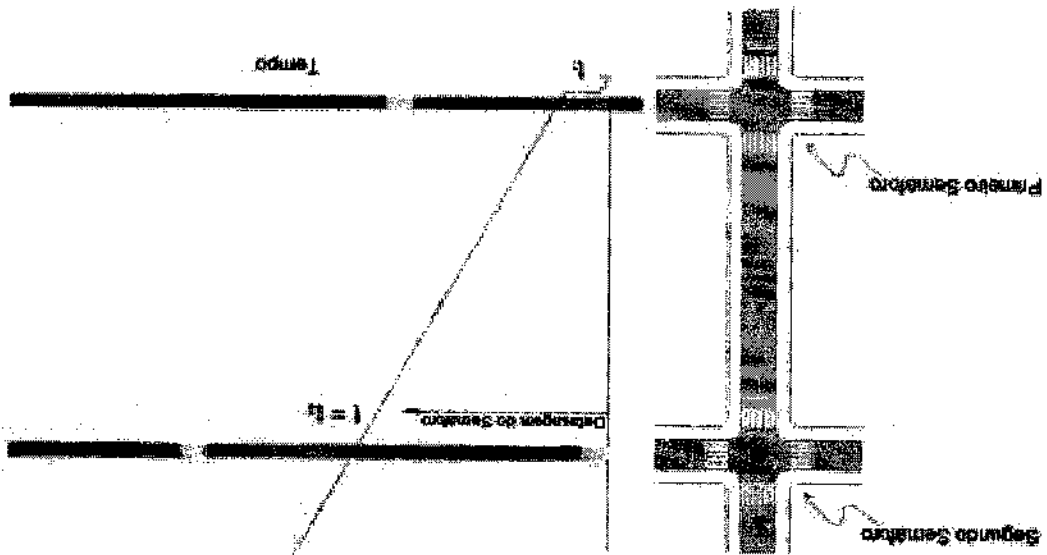


Figura 9.1: Representação do conceito de defasagem relativa entre duas interseções sucessivas



8.1 Aspectos gerais da coordenação semafórica

A coordenação semafórica traz benefícios principalmente nas situações em que o deslocamento dos veículos entre interseções sucessivas ocorre na forma de pelotões. O deslocamento em pelotões depende da combinação de diferentes fatores, dentre os quais o espaçamento das interseções controladas (ver Figura 6.8).

8.1.1 Objetivos

Os principais objetivos da coordenação semafórica são:

- ✓ Aumentar o conforto dos usuários e reduzir os congestionamentos mediante a redução do atraso e do número de paradas provocados pela passagem do tráfego veicular ao longo de um conjunto de interseções controladas por sinalização semafórica;
- ✓ Evitar o bloqueio de interseções próximas entre si devido à ocorrência de filas com extensão superior à capacidade de armazenamento do trecho viário entre eles;
- ✓ Em casos especiais, facilitar a circulação de pedestres em travessias sucessivas semaforizadas (coordenação baseada no estágio de pedestres das diferentes travessias);
- ✓ Aumentar a segurança de pedestres por meio da coordenação de travessias semaforizadas de meio de quadra com interseções semaforizadas próximas;
- ✓ Priorizar o tráfego de veículos de transporte público e de veículos de emergência ao longo de determinados itinerários;
- ✓ Facilitar o controle da velocidade nas vias que integram a rede visando aumentar a segurança dos usuários.

8.1.2 Configuração das redes

Visando a eficácia da coordenação semafórica é preciso levar em conta qual a configuração adequada da rede para cada situação de controle.

Cabe ao técnico definir as interseções que deverão integrar cada rede, levando em conta as seguintes características:

- ✓ Chegada de veículos em pelotão, que podem ser beneficiados pela inclusão da interseção na rede – esta situação ocorre, em geral, quando o espaçamento entre as interseções é inferior a 800m;

- ✓ Diferença entre os tempos de ciclo calculados para operação de cada interseção no modo isolado – evitar que interseções com tempos de ciclo calculados muito diferentes entre si integrem a mesma rede. Vale ressaltar que interseções com tempo de ciclo muito baixo podem integrar uma rede com tempo de ciclo alto, desde que operando com ciclo duplo;

- ✓ Posição das interseções em corredores, que recomendem sua operação coordenada, considerando, inclusive, as entradas e saídas intermediárias não semaforizadas;

✓ Presença de travessia semaforizada de pedestres no meio de quadra, próxima da interseção;

✓ Existência de rota para a circulação de veículos de transporte público e de emergência;

✓ Espaçamento entre as interseções insuficiente para armazenar a fila gerada pela operação no modo isolado (possibilidade de bloqueio da interseção a montante);

Como regra prática, quando o espaçamento (em metros) entre duas interseções for numericamente inferior a 3 vezes o maior tempo de verde (em segundos) dessas interseções para a mesma corrente de tráfego, recomenda-se a inclusão das mesmas na rede coordenada.

Uma rede definida com base nas características anteriormente referidas pode ser válida apenas para determinados períodos do dia. Isto é, em algumas situações, a configuração das redes coordenadas pode variar ao longo do dia.

Para efeito de análise, a configuração de uma rede é representada por um conjunto de arcos (*links*) e nós. Os nós representam as interseções da rede e os arcos representam as ligações entre esses nós ou os acessos (arcos de entrada). É definido um arco para cada sentido de circulação do tráfego entre nós adjacentes.

A seleção da melhor configuração para uma rede coordenada depende da avaliação do desempenho da operação do tráfego sob diferentes configurações possíveis, estabelecidas pelo técnico com base no propósito da coordenação.

Para realizar tal avaliação são empregadas uma ou mais medidas de desempenho da operação do tráfego, sendo as mais comuns as apresentadas na seção 6.1.8 do Capítulo 6. Em alguns casos é possível avaliar em conjunto mais de uma medida de desempenho, por meio da definição de um índice agregado.

Um índice agregado bastante empregado para avaliar o desempenho do tráfego controlado por sinalização semaforica, denominado Índice de Desempenho (ID), avalia simultaneamente os valores de atraso e número de paradas. O ID pode ser determinado por diferentes expressões, como por exemplo a apresentada na Equação 9.1.

$$ID = \sum_{i=1}^n A_i + \frac{3600}{k_p} * NP_i \quad (9.1)$$

em que,

ID = índice de desempenho [veic/h/h];

n = número de arcos da rede;

A_i = Atraso no arco i [veic×h/h];

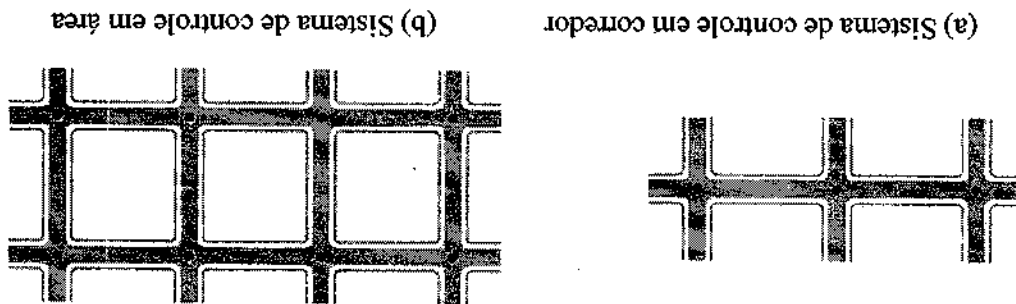
NP_i = Número de Paradas no arco i [veic/h];

k_p = fator de transformação da grandeza número de paradas na grandeza atraso; expressa a importância de cada parada em termos de segundos de atraso e varia, normalmente, entre 20 e 30 segundos.

No sistema de controle em corredor, o propósito é promover a coordenação semafórica entre interseções ao longo de um itinerário, usualmente realizado em via arterial. A via pode ter sentido único ou duplo de circulação do tráfego. Nesse caso, a coordenação visa a progressão contínua da corrente de tráfego em trecho contendo várias interseções, o que é comumente denominado "onda verde".

No sistema de controle em área (rede fechada), interseções pertencentes a diferentes vias são coordenadas entre si e as defasagens são calculadas com base nos objetivos estabelecidos para o controle. As vias que ligam as interseções da rede podem ter sentido único ou duplo de circulação do tráfego.

Figura 9.3: Tipos de sistemas de coordenação semafórica



A coordenação semafórica é utilizada para o controle de redes abertas (usualmente denominado sistema de controle em corredor) e de redes fechadas (comumente referidos como sistema de controle em área). A Figura 9.3 ilustra os dois tipos de sistema de controle.

8.2 Tipos de sistemas de coordenação semafórica

- ✓ Presença de fila na aproximação a jusante decorrente de volumes significativos de movimentos de conversão e/ou de entradas e saídas intermediárias de veículos.
- ✓ Diferença entre os tempos de verde que atendem à mesma corrente de tráfego em interseções sucessivas;
- ✓ Dispersão dos pelotões liberados em uma interseção ao longo do percurso até a linha de retenção da interseção a jusante levando em conta, inclusive, a composição do tráfego e a presença de estacionamento e/ou pontos de ônibus neste percurso;
- ✓ Presença de estacionamento e/ou pontos de ônibus nas proximidades da aproximação, com impacto significativo sobre o fluxo de saturação correspondente;

Alguns caracteres específicas da rede e do tráfego controlado podem dificultar a consecução dos objetivos estabelecidos para a coordenação semafórica, especialmente se não forem devidamente consideradas no cálculo das defasagens. Dentre elas:

8.1.3 Aspectos que podem comprometer a eficácia da coordenação

O exemplo mostrado no item 9.6.1 ilustra o procedimento recomendado para a escolha da melhor configuração da rede semafórica.

Em algumas interseções, visando aumentar a fluidez do tráfego, pode ser usado o recurso do ciclo duplo. Denomina-se ciclo duplo ao expediente de programar a sinalização semafórica de uma interseção para percorrer dois ciclos enquanto a sinalização semafórica mais crítica da rede percorre um único ciclo. Para que essa solução seja viável, o tempo de ciclo requerido pela interseção candidata deve ser igual ou menor do que a metade do tempo de ciclo da rede.

Em termos práticos, recomenda-se que nenhum grupo de movimentos, de nenhuma interseção da rede, opere em um grau de saturação superior a 90% a fim de manter uma reserva capaz de absorver os efeitos provocados pela aleatoriedade de chegada dos veículos, por incidentes operacionais e por outros imprevistos. Quanto menor o grau de saturação adotado, maior a reserva de capacidade obtida. Apesar da importância dessa reserva de capacidade, utiliza-se um limite elevado, de 90%, visando reduzir a possibilidade de que as interseções menos saturadas da rede sejam obrigadas a operar com tempos de ciclo muito superiores às suas necessidades.

Como o tempo de ciclo deve ser único para todas as interseções da rede o seu valor deve ser o menor possível sem, contudo, causar congestionamento nas interseções mais saturadas.

Denominam-se interseções críticas da rede aquelas que apresentarem os maiores valores de tempo de ciclo.

O tempo de ciclo da rede resulta do cálculo dos tempos de ciclo determinados para as interseções que a compõe. Para tanto, pode ser empregado o método do grau de saturação máximo ou o método de Webster, conforme apresentado no Capítulo 6 (item 6.9). Tempos de ciclo que foram determinados para atender o critério de verde de segurança (item 6.14.1) não devem influenciar na definição do tempo de ciclo da rede.

8.3.1 Escolha do tempo de ciclo da rede

Os itens a seguir estabelecem os conceitos básicos da programação coordenada. Nos casos em que forem utilizados programas computacionais, esses conceitos são importantes para a sua parametrização. Nas situações em que a programação for realizada manualmente, seja porque a rede possui uma topologia simplificada, seja porque não existe a possibilidade de se recorrer a programas computacionais, tais conceitos podem orientar o técnico a elaborar essa programação.

A determinação da programação semafórica de uma rede de sinalizações semafóricas coordenadas exige uma grande quantidade de cálculos, o que inviabiliza, na maioria das vezes, que possa ser resolvida estatisticamente por meio de processos manuais. Por isso, mesmo considerando que não existem maiores dificuldades em termos de complexidade teórica, deve-se reconhecer que as programações obtidas por meio de programas computacionais alcançam melhores resultados do que aquelas obtidas manualmente, principalmente quando se trata de coordenação em área e, em menor medida, coordenação em corredor de vias com mão dupla.

8.3 Determinação da programação para coordenação de sinalizações semafóricas operando em tempo fixo

Embora todas as interseções da rede fechada devam se beneficiar da coordenação, é possível estabelecer níveis diferentes de prioridade para a operação de determinadas seqüências de interseções (itinerários) dentro da rede.

O esquema básico para a elaboração do diagrama espaço-tempo consiste na representação em escala adequada de todas as interseções controladas por sinalização semafórica ao longo do seu eixo horizontal. No eixo vertical é representado, para cada interseção, o tempo de ciclo e os respectivos tempos de verde, amarelo e vermelho.

Um dos métodos empregados para a determinação das defasagens nos sistemas de controle em corredor, quando o principal propósito da coordenação semafórica é promover a progressão do tráfego ao longo de uma via, baseia-se em representação gráfica simplificada do deslocamento dos veículos, denominada diagrama espaço-tempo. Esta representação gráfica assume que não existem veículos em fila nas aproximações das interseções que integram a rede.

8.3.3.1 Determinação da defasagem por meio de diagrama espaço-tempo

Para situações mais complexas, sobretudo as referentes a sistemas de controle em área, a determinação das defasagens pode ser realizada com o auxílio de programas computacionais desenvolvidos para o cálculo da programação da sinalização semafórica de tempo fixo. A apresentação desses programas está fora do escopo do presente Manual.

Os itens seguintes apresentam alguns métodos que podem ser empregados para o cálculo do conjunto de defasagens de uma rede. Sua utilização, no entanto, é restrita a redes com topologia e condições de trânsito simplificadas.

8.3.3 Determinação das defasagens

- ✓ Fixar o tempo de verde do estágio em questão igual ao verde de segurança;
- ✓ Passar a considerar esse verde como tempo perdido do ciclo; e
- ✓ Repartir o tempo de verde efetivo total restante pelos outros estágios, proporcionalmente às respectivas taxas de ocupação.

Diferentemente do recomendado para a programação das interseções isoladas, nas interseções em rede em que os cálculos conduzirem a um tempo de verde inferior ao tempo de verde de segurança, o tempo de ciclo **não deve** ser recalculado. Nesse caso, **deve-se:**

7.1.3, adotando-se o tempo de ciclo da rede para todas as interseções.

A determinação dos tempos de verde para qualquer componente da rede é similar àquela empregada para o caso das interseções isoladas, descrita nas alíneas "f", "g", "h" e "j" do item

8.3.2 Cálculo dos tempos de verde

Existem programas computacionais que possuem seu próprio algoritmo para a determinação do tempo de ciclo da rede, em que outros elementos, além do grau de saturação máximo desejado, são considerados. Cabe ao técnico, a partir do entendimento dos critérios considerados pelo programa, decidir se o valor determinado pode ser adotado diretamente ou se necessita sofrer algum ajuste em função dos objetivos definidos para a programação semafórica.

Figura 9.5: Exemplo de diagrama espaço-tempo para uma via de mão dupla

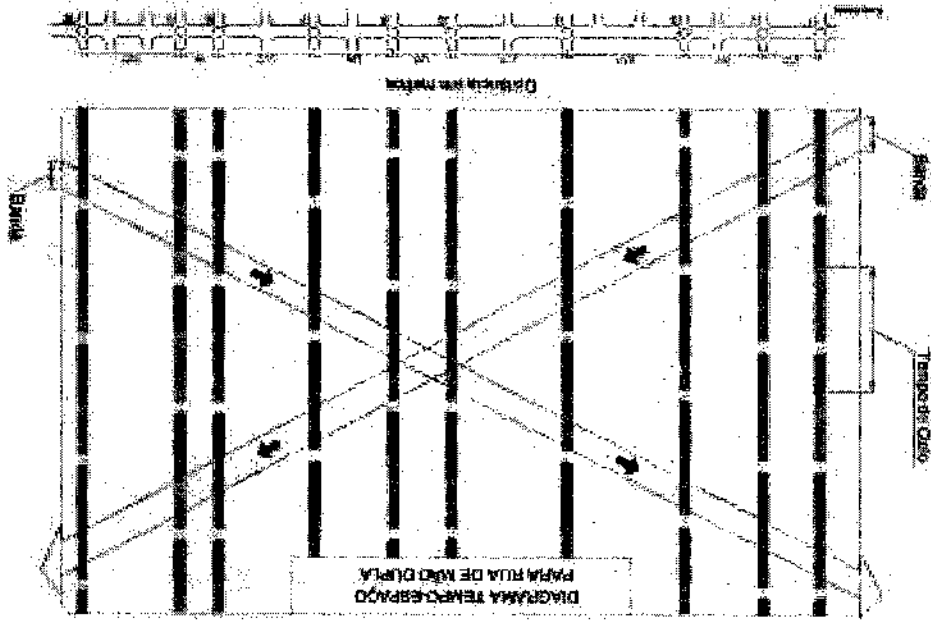
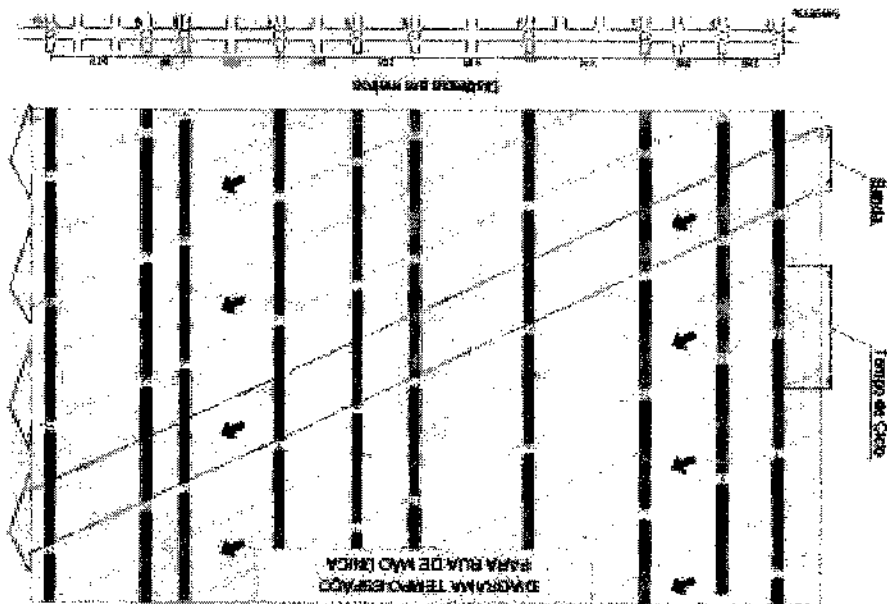


Figura 9.4: Exemplo de diagrama espaço-tempo para uma via de mão única



Exemplos de diagrama espaço-tempo referentes a uma via de sentido único de circulação (mão única) e a uma via com sentido duplo de circulação (mão dupla) são mostrados, respectivamente, nas Figuras 9.4 e 9.5. Nessas figuras, a linha diagonal tem inclinação igual à velocidade de progressão desejada, e o elemento identificado como "banda" representa o tempo de verde durante o qual um grupo de veículos percorrerá o trecho sem parar nas sinalizações semafóricas.

8.3.3.2 Alternativa para definição do valor da defasagem para vias de mão única

- ✓ Tempo de ciclo da rede [s];
- ✓ Tempo de verde e entreverdes de cada estágio para todas as interseções [s];
- ✓ Velocidade de progressão desejada [m/s];
- ✓ Distância entre as interseções da rede [m].

A elaboração do diagrama espaço-tempo parte dos seguintes elementos:

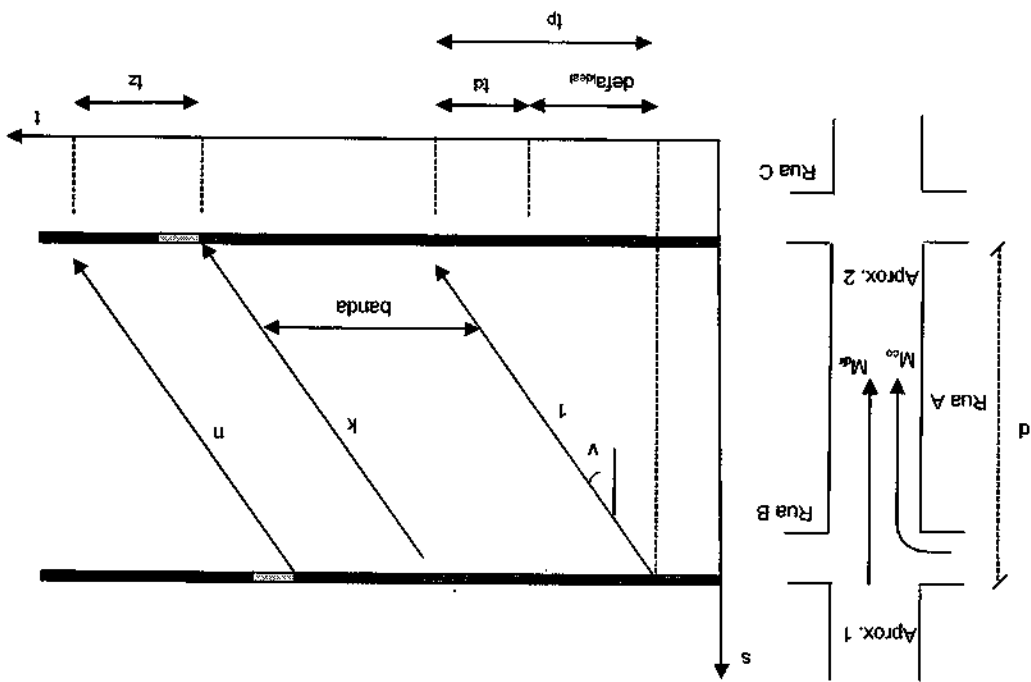
Entretanto, em diversas situações, a progressão ideal ("onda verde" perfeita) em vias de mão única não ocorre devido aos seguintes fatores:

- ✓ Não-uniformidade dos perfis dos fluxos envolvidos;
- ✓ Diferença entre os tempos de verde dos movimentos diretos entre as duas interseções;
- ✓ Volumes elevados de conversão;
- ✓ Entradas e saídas intermediárias de veículos;
- ✓ Dispersão dos veículos.

A situação mais difícil de resolver é aquela em que o tempo de verde da interseção a jusante é menor do que o correspondente na interseção a montante. Essa situação é agravada na presença de volumes elevados de conversão na interseção a montante.

A partir da análise da Figura 9.6 é deduzida a expressão geral para o cálculo analítico da defasagem entre interseções sucessivas localizadas em vias com sentido único de circulação (mão única). Essa defasagem permite que o primeiro veículo que parte da interseção a montante passe pela interseção a jusante sem sofrer qualquer atraso, exatamente após o tempo de dissipação da fila, caso esta exista junto à aproximação da interseção a jusante. Ela é denominada "defasagem ideal".

Figura 9.6: Elementos para o cálculo da defasagem para via de mão única



Os elementos apresentados na Figura 9.6 são definidos como segue:

d – distância entre as linhas de retenção da Rua A, junto às Aproximações 1 e 2;
 M_{dir} – movimento direto da Rua A, que vai da Aproximação 1 para 2;
 M_{con} – movimento de conversão, que vem da Rua B para a Aproximação 2;

v – velocidade dos veículos do movimento M_{dir};

l – primeiro veículo de M_{dir} a sair da interseção a montante;

k – último veículo de M_{dir} que sai da interseção a montante e ainda consegue passar no verde da interseção a jusante;

n – último veículo de M_{dir} a sair da interseção a montante;

def_{ideal} – defasagem entre as duas interseções sucessivas, tomando como referência o início dos respectivos verdes para o movimento M_{dir};

t_p – tempo de percurso dos veículos do movimento M_{dir} entre as linhas de retenção das duas interseções, igual ao quociente d/v;

t_a – tempo que leva para desfazer a fila presente no início do verde na Aproximação 2;

t_z – tempo de vermelho mais o tempo de amarelo, durante o qual ocorre chegada de veículos do $Mdir$ na Aproximação 2 [s].

Por meio da Figura 9.6 verifica-se que, após o encerramento do verde para a Rua A na interseção a jusante (Aproximação 2), vão se acumulando três grupos de veículos na correspondente linha de retenção.

O primeiro grupo corresponde aos veículos de $Mdir$ que chegaram na interseção a jusante após o término do tempo de verde. Correspondem, no gráfico, ao grupo de veículos entre $k+1$ e n que chegou durante o intervalo t_z .

Essa situação ocorre quando o tempo de verde da Aproximação 2 é menor do que o corresponde na Aproximação 1. Nesse caso, denomina-se NV^{sobra} o número de veículos desse grupo e seu valor é determinado pela Equação 9.2.

$$NV^{sobra} = \frac{F_{dir}}{3600} \times t_z \quad (9.2)$$

em que,

F_{dir} = taxa de fluxo do movimento $Mdir$ [veic/h]; a definição do valor dessa taxa de fluxo deve levar em conta se os veículos estão ou não em regime de saturação (ver exemplo de cálculo);

t_z = intervalo de tempo, durante o amarelo e o vermelho, em que veículos de $Mdir$ chegaram a interseção a jusante [s]; a duração desse intervalo é obtida pela Equação 9.3.

$$t_z = (t_{vd,1} - t_{vd,2}) + t_p - def_{ideal} \quad (9.3)$$

em que,

$t_{vd,1}$ = tempo de verde real da Aproximação 1 [s];

$t_{vd,2}$ = tempo de verde real da Aproximação 2 [s];

t_p = tempo de percurso [s];

def_{ideal} – tempo decorrido entre o início do intervalo de verde na Aproximação 1 o início do intervalo de verde na Aproximação 2 (defasagem) [s];

Combinando as equações 9.2 e 9.3, o valor de NV^{sobra} passa a ser obtido pela Equação 9.4.

$$NV^{sobra} = \frac{F_{dir}}{3600} \times [(t_{vd,1} - t_{vd,2}) + t_p - def_{ideal}] \quad (9.4)$$

Se o tempo de verde da Aproximação 2 for maior do que o tempo de verde da Aproximação 1, $NV^{sobra} = 0$.

O segundo grupo é formado pelos veículos provenientes da conversão da Rua B para a Rua A, assumindo que a defasagem é tal que obrigue todo esse grupo a parar junto à Aproximação 2. O número de veículos que integra esse segundo grupo é determinado pela Equação 9.5. Ele representa o número de veículo que chega em cada ciclo e que é atendido durante o tempo de verde.

$$NV^{con} = \frac{F^{con} \times t_c}{3600} \tag{9.5}$$

em que,

F^{con} = taxa de fluxo do movimento M^{con} [veic/h];

t_c = tempo de ciclo [s].

O terceiro e último grupo é formado pelos veículos que se incorporam aos movimentos M^{dir} e M^{con} vindos de vias intermediárias ou edificações lindoiras. Designa-se por NV^{interm} o número desses veículos que ficam retidos no vermelho da Aproximação 2.

Designa-se por t_a o tempo necessário para escoar a fila formada por esses três grupos, tempo esse que é calculado através da Equação 9.6.

$$t_a = t_{pm} + \frac{NV^{sobra} + NV^{con} + NV^{interm}}{(FS2/3600)} \tag{9.6}$$

em que,

NV^{sobra} = número de veículos de M^{dir} que chega na interseção a jusante durante o tempo t_z [veic];

NV^{con} = número de veículos de M^{con} que chega na interseção a jusante durante o tempo t_z [veic];

NV^{interm} = número de veículos de vias intermediárias ou áreas lindoiras que chega na interseção a jusante durante o tempo t_z [veic];

t_{pm} = tempo perdido inicial dos veículos que saem no início do verde da Aproximação 2;

$FS2$ = Fluxo de saturação da Aproximação 2 [veic/h].

A determinação da defasagem ideal ($defa^{ideal}$) é feita por meio da relação apresentada na Equação 9.7.

$$defa^{ideal} = t_p - t_a \tag{9.7}$$

Teoricamente, se a defasagem entre as Aproximações 1 e 2 for igual a $defa^{ideal}$, o pelotão formado pelos veículos V_1 a V_k vai passar pela Aproximação 2 sem precisar parar. Denomina-se largura da banda ao tempo de verde utilizado por esse pelotão (ver Figura 9.6).

A consideração do " t_{pm} " no cálculo da defasagem da segunda interseção da rede com relação à primeira provoca um deslocamento geral do tempo de defasagem, que automaticamente representará os tempos perdidos nas demais interseções da rede coordenada.

As dificuldades mencionadas para obter a progressão perfeita em via de mão única crescem no caso da coordenação da sinalização semafórica para vias com duplo sentido de circulação (mão dupla). Em geral, a defasagem ideal para um dos sentidos não atende satisfatoriamente o sentido oposto. Para se determinar defasagens satisfatórias para os dois sentidos de circulação, com bandas de larguras iguais, pode ser adotada uma das seguintes alternativas, considerando pares de interseções sucessivas da rede:

8.3.3.3 Alternativas para definição do valor da defasagem para vias de mão dupla

A formulação aqui apresentada é prejudicada pelos elementos citados no início deste item, em particular pela não-uniformidade dos fluxos. Esta uniformidade é assumida na determinação de NV^{sobra} e NV^{con} . em que todos os termos já foram definidos anteriormente.

$$def_{ideal} = \phi - \frac{FS_2}{(F^{con} \times t_c) + 3600NV^{inter}} \quad (9.11)$$

$$def_{ideal} = \frac{(FS_2 - F^{dir})t_p - F^{dir}(t_{vd,1} - t_{vd,2}) - F^{con}t_c - 3600NV^{inter}}{(FS_2 - F^{dir})t_p - F^{dir}(t_{vd,1} - t_{vd,2}) - F^{con}t_c - 3600NV^{inter}} \quad (9.10)$$

Quando o tempo de verde da Aproximação 2 for superior ao da Aproximação 1, a Equação 9.11 deve ser utilizada.

✓ No caso do tempo de verde da Aproximação 2 ser inferior ao tempo de verde da Aproximação 1, sugere-se a utilização da Equação 9.10, desenvolvida a partir das Equações 9.6 (sem a inclusão do t_{pi}) e 9.7;

Para as demais interseções coordenadas:

$$def_{ideal} = \phi - [t_{pin} + \frac{FS_2}{(F^{con} \times t_c) + 3600NV^{inter}}] \quad (9.9)$$

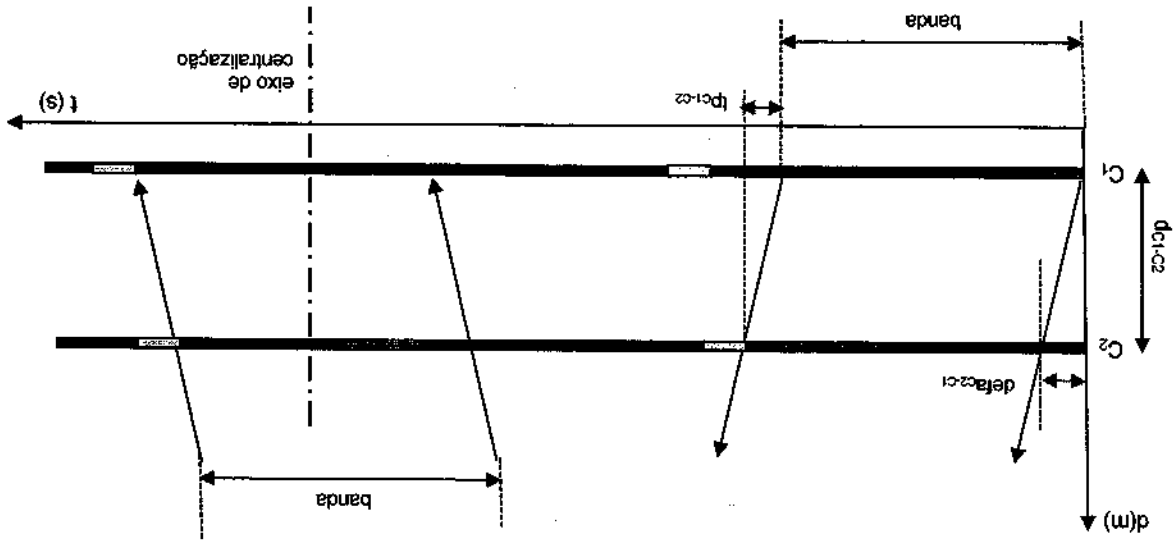
Analogamente, quando o verde da Aproximação 2 for superior ao verde da Aproximação 1, sugere-se a utilização da Equação 9.9.

$$def_{ideal} = \frac{(FS_2 - F^{dir})t_p - FS_2 t_{pin} - F^{dir}(t_{vd,1} - t_{vd,2}) - F^{con}t_c - 3600NV^{inter}}{(FS_2 - F^{dir})t_p - FS_2 t_{pin} - F^{dir}(t_{vd,1} - t_{vd,2}) - F^{con}t_c - 3600NV^{inter}} \quad (9.8)$$

No caso da segunda interseção coordenada, quando o tempo de verde da Aproximação 2 for inferior ao tempo de verde da Aproximação 1, para aplicações práticas sugere-se a utilização da Equação 9.8, desenvolvida a partir das Equações 9.6 e 9.7.

Para o cálculo da defasagem da segunda interseção coordenada da rede, portanto, deve ser incluído o efeito do tempo perdido inicial para o deslocamento de NV^{sobra} . Não havendo levantamento in loco do valor de t_{pi} , pode-se adotá-lo como igual a 2 segundos. Para o cálculo da defasagem das demais interseções o tempo perdido inicial não deverá ser considerado.

Figura 9.7: Exemplo de coordenação em via de mão dupla com verdes centralizados



Quando os tempos de verde forem iguais entre si, a defasagem é igual a zero nos dois sentidos, ou seja, os tempos de verde das duas interseções iniciam e terminam ao mesmo tempo.

Verde_{jusante} = duração do tempo de verde real da interseção a jusante, no sentido da análise [s].

[s];

Verde_{montante} = duração do tempo de verde real da interseção a montante, no sentido da análise

defa_{jusante} = defasagem entre o início do tempo de verde da interseção a jusante com relação à interseção a montante, no sentido adotado como referência [s];

em que,

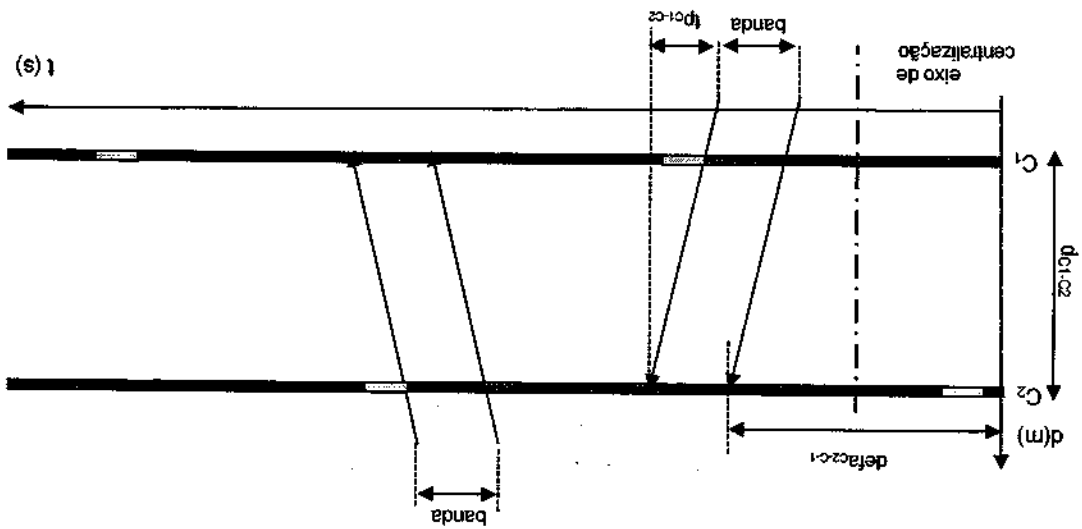
$$defa_{jusante} = \frac{Verde_{montante} - Verde_{jusante}}{2} \quad (9.12)$$

a) ocorrência simultânea dos instantes centrais do tempo de verde das duas interseções e "jusante" referem-se a um dos sentidos da via, adotado como referência para a definição sucessivas (ver Figura 9.7), mediante a utilização da Equação 9.12. Os termos "montante" das defasagens. Essa estratégia é adequada para o caso de interseções próximas entre si.

Nos casos em que a rede é formada por mais de um par de interseções sucessivas, é necessário estar as estratégias apresentadas para cada par analisado. O conjunto final das defasagens da rede deve ser definido de forma a maximizar a largura da banda total para o conjunto das interseções (ver exemplo da Figura 9.9).

A largura da banda obtida pode ser verificada por meio do diagrama espaço-tempo que represente as defasagens calculadas.

Figura 9.8: Exemplo de coordenação em via de mão dupla com verde e vermelho centralizados



em que:

$def_{jussante}$ = defasagem entre o início do tempo de verde da interseção a jussante com relação à interseção a montante, no sentido adotado como referência [s];

t_c = duração do tempo de ciclo [s];

$t_{zmontante}$ = duração do tempo de vermelho da interseção a montante acrescido do tempo de amarelo, no sentido adotado como referência [s];

$Verde_{jussante}$ = duração do tempo de verde real da interseção a jussante, no sentido adotado como referência [s].

$$def_{jussante} = t_c - \frac{t_{zmontante} + Verde_{jussante}}{2} \quad (9.13)$$

b) Ocorrência simultânea dos instantes centrais do tempo resultante da soma do tempo de vermelho com o tempo de amarelo da interseção a montante com o tempo de verde da interseção a jussante (ou vice-versa), mediante a utilização da Equação 9.13. Os termos "montante" e "jussante" referem-se a um dos sentidos da via, adotado como referência para a definição das defasagens. Essa estratégia é ilustrada na Figura 9.8.

Essa coordenação, por meio da determinação de defasagens adequadas, é importante sobretudo para a segurança do pedestre.

Em redes de tempo fixo, travessias de pedestres afastadas das interseções e controladas por sinalizações semafóricas, com ou sem botoeira, devem ser coordenadas com as demais sinalizações semafóricas integrantes da mesma rede.

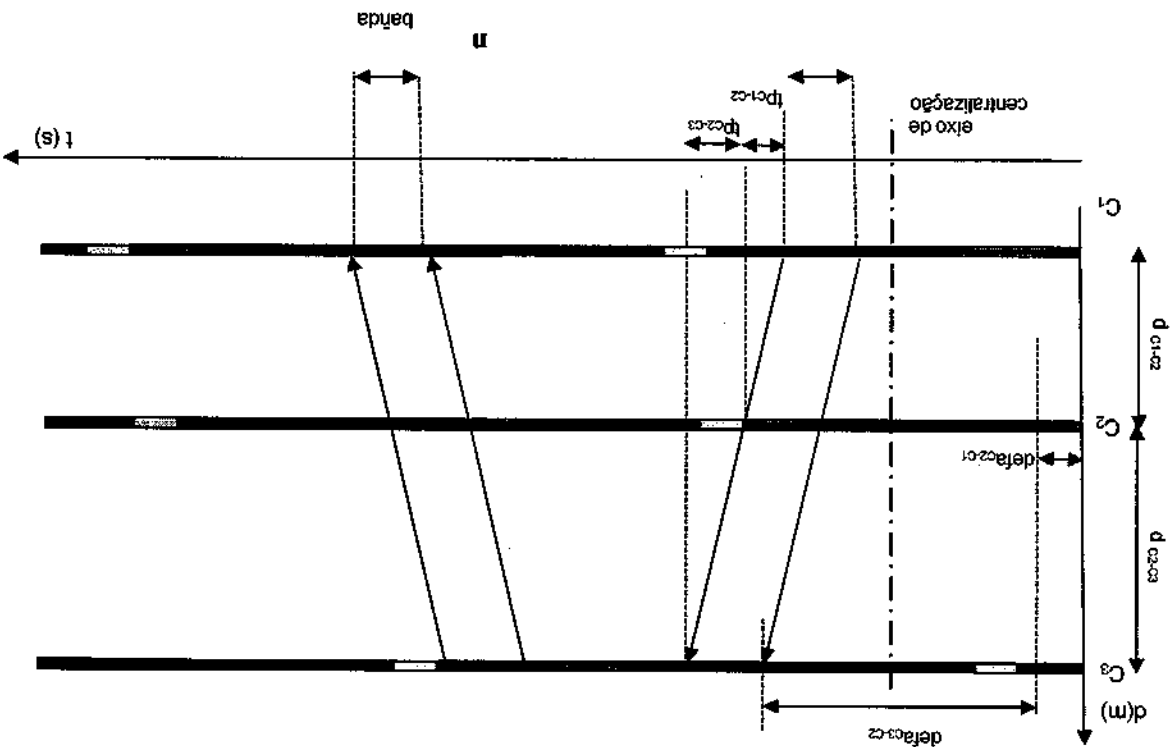
8.3.3.5 Defasagem com travessia de pedestres

A determinação das defasagens para redes fechadas (sistemas de controle em área) sem o auxílio de programas computacionais implicará em uma coordenação não otimizada das sinalizações semafóricas da rede fechada.

8.3.3.4 Defasagens em sistemas de controle em área

Para as situações em que a importância da progressão difere entre os sentidos de circulação, as estratégias de progressão anteriormente apresentadas não se aplicam, uma vez que definem bandas de igual largura para os dois sentidos. Esse também é o caso quando os tempos de verde de uma mesma interseção diferem para os dois sentidos de circulação. Nessas situações, é mais adequada a determinação dos valores de defasagem com o suporte de programas computacionais.

Figura 9.9: Exemplo de coordenação e coordenação em via de mão dupla com combinação de estratégias



É possível formar redes (abertas ou fechadas) integradas por interseções controladas por sinalização semafórica atuada pelo tráfego.

8.4.1 Redes com sinalização semafórica atuada pelo tráfego

8.4 Coordenação de sinalizações semafóricas operando em modo atuado

Para vias de mão dupla, esse tempo mínimo de verde, juntamente com limitações impostas pela coordenação nos dois sentidos, pode resultar em bandas cuja largura máxima possível não atenda aos valores indicados para uma boa progressão.

Em geral, eficiências de progressão entre 40% e 55% são consideradas boas. É importante lembrar que a largura da banda em cada sentido é limitada pelo tempo mínimo de verde disponível para o pelotão nas interseções da rede no sentido considerado.

t_c = tempo de ciclo da rede [s].

L_B = largura da banda no sentido considerado [s].

EP = eficiência da progressão [%].

em que:

$$EP = \frac{L_B}{t_c} \times 100 \quad (9.14)$$

A eficiência da progressão obtida com a definição das defasagens em sistemas de controle por corredor (mão única ou mão dupla) é determinada para cada sentido de circulação por meio da Equação 9.14. Essa eficiência representa somente um valor de referência da eficiência real, uma vez que não considera a presença de filas internas na rede.

Conforme ilustrado nas Figuras 9.4 e 9.5, o tempo disponibilizado pela coordenação semafórica para o deslocamento do pelotão de veículos entre interseções sucessivas sem sofrer parada, é denominado largura da banda.

8.3.3.6 Largura da banda e eficiência da progressão

A determinação das defasagens pode ser feita de acordo com um dos métodos anteriormente apresentados ou com o auxílio de programas computacionais específicos, dependendo da complexidade da rede considerada.

- ii) A indicação vermelha da sinalização semafórica da travessia inicie antes da passagem completa do pelotão do movimento coordenado proveniente da sinalização semafórica a montante.
- i) O condutor que se aproxima ou que está parado na travessia veja, simultaneamente, indicação vermelha na sinalização semafórica da travessia e verde na sinalização semafórica da interseção a jusante da travessia, a fim de evitar que se sinta inclinado a desrespeitar a sinalização semafórica da travessia.

Sempre que possível, as defasagens devem ser determinadas de modo a evitar que:

Outra técnica de controle consiste no gerenciamento da demanda da rede por meio da redução do volume de veículos que acessam sua área crítica. Essa técnica é conhecida como *gating*, em que as filas que poderiam congestionar a área crítica da rede são distribuídas para um ou mais trechos a montante, por meio de programação semafórica adequada.

✓ Adoção de medidas para aumentar o fluxo de saturação das aproximações, tais como: eliminação de alguns movimentos de conversão; proibição de estacionamento junto às interseções; implantação de faixa reversível; alteração de geometria; realocação de paradas de ônibus, etc.

✓ Definição de programação semafórica que evite o bloqueio de interseções, mediante o controle da extensão máxima das filas, sobretudo quando esse bloqueio possa comprometer a operação de vias relevantes do sistema viário da cidade, pertencentes ou não à rede considerada;

✓ Definição de programação semafórica que evite o bloqueio de interseções, mediante o controle da extensão máxima das filas, sobretudo quando esse bloqueio possa comprometer a operação de vias relevantes do sistema viário da cidade, pertencentes ou não à rede considerada;

Nas redes congestionadas pode ocorrer formação de filas com comprimento que ultrapassa a extensão do trecho de via entre as interseções semaforizadas. Áreas congestionadas apresentam uma dinâmica operacional diferente das condições não-congestionadas e, portanto, requerem medidas de controle específicas.

Nas situações de redes congestionadas deve ser buscada a maximização da capacidade das aproximações das interseções críticas. Dentre as medidas que podem ser adotadas para este fim, destaca-se:

8.5 Programação em situações de congestionamento

O congestionamento nas redes semaforizadas é caracterizado pelo excesso de demanda em relação à capacidade das aproximações de suas interseções.

Nas redes congestionadas pode ocorrer formação de filas com comprimento que ultrapassa a extensão do trecho de via entre as interseções semaforizadas. Áreas congestionadas apresentam uma dinâmica operacional diferente das condições não-congestionadas e, portanto, requerem medidas de controle específicas.

8.4.2 Redes de tempo fixo com presença de sinalização semafórica semiatuada

Interseções com controle semiatuado, com estágios veiculares dependentes de demanda, podem integrar uma rede de sinalizações semafóricas de tempo fixo coordenadas (aberta ou fechada), desde que os tempos de verde desses estágios não sejam variáveis.

Estas podem conter um ou mais estágios demandados com tempos de verde variáveis, acompanhando a variação temporal do fluxo de tráfego. Essa coordenação é complexa e somente pode ser realizada pelos sistemas computacionais responsáveis pelo controle do tráfego da rede.

8.6 Exemplos para tempos fixos

8.6.1 Exemplo para escolha da melhor configuração da rede

O exemplo a seguir ilustra o procedimento para a escolha da melhor configuração de redes semafóricas usando o recurso de um programa computacional para calcular os tempos semafóricos e simular a operação do tráfego na rede. Foi usado o software SIRT, desenvolvido e utilizado pela CET/SP para o dimensionamento sinalização semafórica operando em tempo fixo e para avaliar o desempenho da operação do tráfego sob um dado plano semafórico (para interseções isoladas ou operando em rede).

Para efeito da escolha foram consideradas as medidas de desempenho atraso e número de paradas, bem como o ID, determinado de acordo com a Equação 9.1, admitindo-se que o técnico estabeleceu $k_p = 20s$.

A Figura 9.10 mostra um segmento viário formado por três interseções semaforizadas vizinhas representados esquematicamente os grupos de movimento que chegam nesses cruzamentos. Os GMs ímpares pertencem à avenida e os pares representam as três transversais.

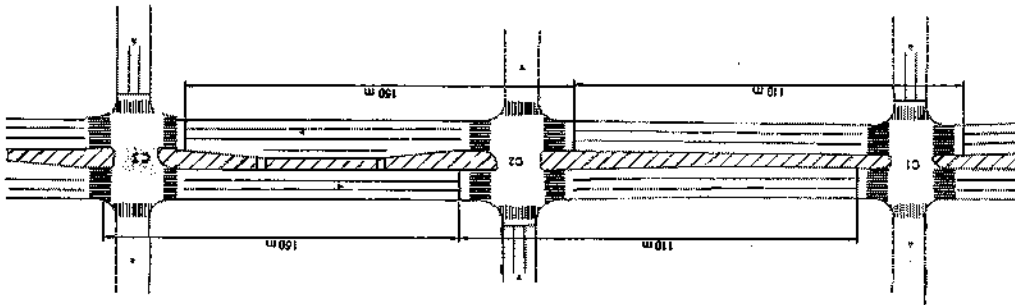


Figura 9.10: Exemplo de uma rede formada por três interseções

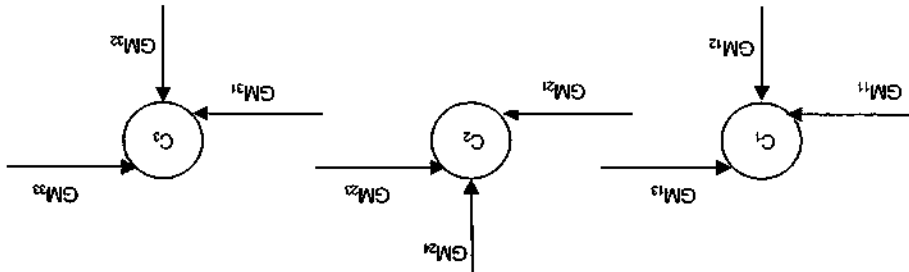


Figura 9.11: Representação esquemática dos grupos de movimentos

A Tabela 9.3 apresenta os principais resultados obtidos, em termos de tempos de ciclo dos cruzamentos e atrasos/número de paradas para os grupos de movimento.

- i) Cenário I: consiste em todos os cruzamentos isolados;
- ii) Cenário II: considera C1 isolado e C2 em rede com C3;
- iii) Cenário III: presume C1 em rede com C2 enquanto que C3 permanece isolado;
- iv) Cenário IV: os três cruzamentos formam uma única rede.

Foram analisados, através de simulação com o programa SIRL, os quatro cenários possíveis para o controle das três interseções. São eles:

ORIGEM - GM	GM	DESTINO 1		DESTINO 2
		Taxa de Fluxo (veic/h)	GM	
11	21	2220	-	-
12	21	460	-	-
13	-	-	-	-
21	31	2150	-	-
23	13	740	-	-
24	13	1520	31	410
31	-	-	-	-
32	23	180	-	-
33	23	1720	-	-

Tabela 9.2: Taxas de fluxo de contribuição entre os grupos de movimento

GM	F (veic/h)	FS (veic/h)	tp(s)	COMPRIMENTO (m)	CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO (veículos)
11	2770	5400	-	-	-
12	810	3600	-	-	-
13	2260	5400	8	110	70
21	2680	5400	8	110	70
23	1900	5400	11	150	95
24	1930	4730	-	-	-
31	2560	5400	11	150	95
32	1110	3500	-	-	-
33	2300	5400	-	-	-

Tabela 9.1: Dados associados a cada grupo de movimento

O cálculo do tempo de percurso (tp) foi realizado admitindo-se a velocidade de percurso igual a 50km/h.

Cada um dos três cruzamentos apresenta somente um estágio que atende a avenida e um estágio para a transversal. A Tabela 9.1 descreve as características físicas e de trânsito de cada grupo de movimento e a Tabela 9.2 mostra as taxas de fluxo de contribuição entre os grupos.

INTERSEÇÃO	GM	TAXA DE FLUXO (veic/h)						FS (veic/h)	t _{ad} (s)	t _p (s)
		F _d	F _{con}	F _{inte}	Tot	al	al			
C1	11	222	0	NC	0	277	54	00	7	
	12	NC	460	0	810	3600	34	6		
C2	21	2150	NC	0	2680	5400	60	8		
	24	NC	410	0	1930	4730	50			
C3	31	NC	NC	0	2560	5400	66	11		
	32	NC	NC	0	1110	3500	44			

NC - Fluxos existentes que não serão utilizados no cálculo das defasagens.

Tabela 9.4: Dados para o exemplo de via de mão-única

Para efeito deste exemplo, foi considerado que a via apresentada na Figura 9.10 é de mão-única, no sentido de C1 para C3, e que os três cruzamentos formam uma única rede. Adotando-se os dados de taxa de fluxo e fluxo de saturação apresentados para os movimentos da via principal (GM11, GM21 e GM31), os movimentos das vias secundárias (GM12, GM24 e GM32), tempo de ciclo igual a 120 segundos e tempo de entruverdes para cada estágio igual a 5s (3s de amarelo e 2s de vermelho geral), tem-se os dados da Tabela 9.4.

a) Via de sentido único

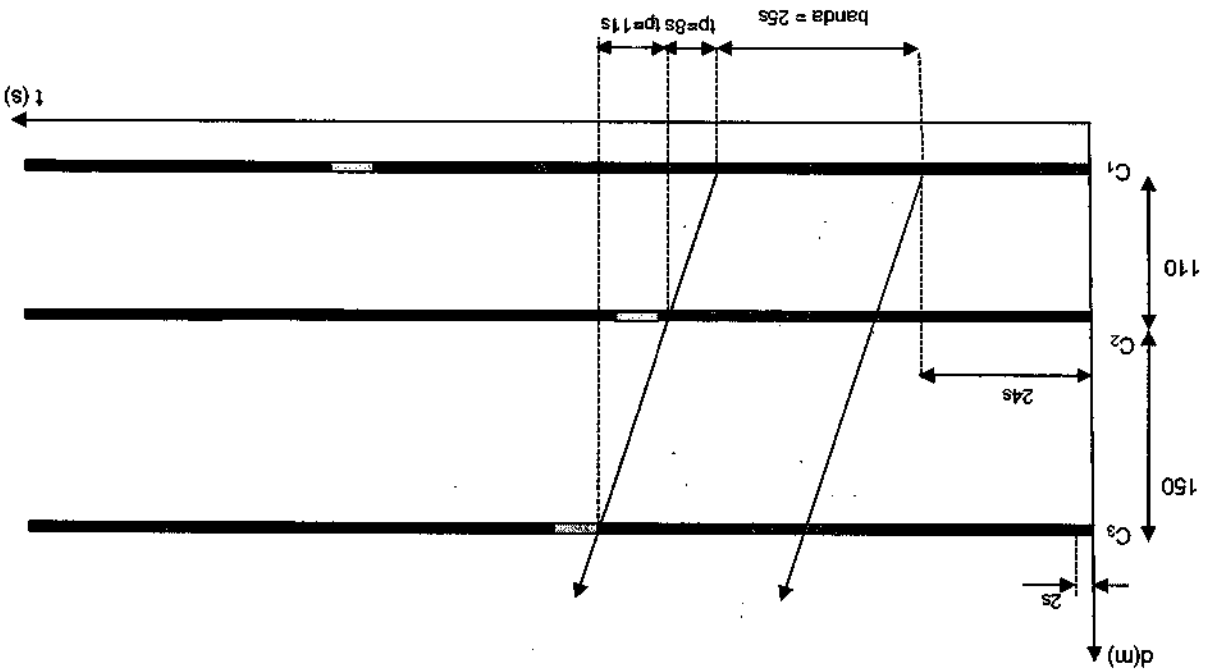
8.6.2 Exemplo da programação semafórica para um sistema de controle em corredor

No caso do técnico decidir usar o ID, que é uma medida tradicionalmente adotada, conclui-se que o cenário mais adequado é o II, no qual o cruzamento C1 permanece isolado, enquanto que os cruzamentos C2 e C3 passam a operar em rede.

A análise da Tabela 9.3 mostra que a seleção do melhor cenário depende diretamente da medida de desempenho selecionada, que reflete o propósito da coordenação semafórica estudada. Por exemplo, se o objetivo maior da coordenação for reduzir o atraso total do conjunto de interseções, a melhor solução é obtida com o Cenário II. Contudo, se o objetivo for minimizar o número de paradas, o Cenário IV é o mais indicado.

CENÁRIO	TEMPO DE CICLO (s)				ATRASSO (veic*/h/h)	NÚMERO DE PARADAS (veic*/h/h)	ID
	C1	C2	C3				
I	70	120	110	112,1	15088	195,9	
II	70	120	120	96,8	12494	166,2	
III	120	120	110	119,4	14214	198,4	
IV	120	120	120	103,9	11404	167,3	

Tabela 9.3: Resultados globais fornecidos pelo SIRI para os cenários estudados



As defasagens calculadas podem ser observadas na Figura 9.12.

Adotar $def_{ideal} = 2s$

$$def_{ideal} = 11 - \frac{5400}{(410 \times 120) + 3600 \times 0} = 1,89s$$

A defasagem entre C2 e C3 é igual a:

Adotar $def_{ideal} = -24s$

$$def_{ideal} = \frac{(5400 - 2220)8 - 5400 \times 2 - 2220(76 - 60) - 460 \times 120 - 3600 \times 0}{(5400 - 2220)} = -23,93s$$

Assim, a defasagem ideal entre C1 e C2 é igual a:

O cálculo da defasagem entre C1 e C2, visando a coordenação da via principal pode ser feito pela Equação 9.8, uma vez que t_{vd2} (referente a C2) é menor que t_{vd1} (referente a C1). Já para a defasagem entre C2 e C3, deve ser utilizada a Equação 9.11, tendo em vista que t_{vd2} (referente a C3) é maior que t_{vd1} (referente a C2).