

SUMÁRIO

1 .	APRESENTAÇÃO	8
2 .	INTRODUÇÃO	9
2.1	Formas de controle do tráfego em interseção ou seção de via	9
2.2	Princípios da Sinalização Semafórica	9
3 .	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA	11
3.1	Definição e função.....	11
3.2	Padrão de sinalização semafórica.....	11
3.3	Relacionamento com outras sinalizações	16
3.4	Aspectos legais.....	17
3.5	Componentes da sinalização semafórica.....	17
4 .	CRITÉRIOS GERAIS PARA IMPLANTAÇÃO DA SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA	28
4.1	Estudo dos movimentos numa interseção	28
4.2	Critérios para implantação da sinalização semafórica.....	35
4.3	Critérios para utilização da sinalização semafórica operando em amarelo intermitente	53
4.4	Sinalização semafórica operando em tempo parcial.....	58
5 .	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO CONTROLE SEMAFÓRICO	60
5.1	Elementos básicos	60
5.2	Controle e operação.....	63
5.3	Recursos computacionais para programação semafórica	66
5.4	Análise comparativa das diferentes formas de controle	66
6 .	ELEMENTOS DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA	69
6.1	Volume de Tráfego	69
6.2	Volume de Tráfego Equivalente	71
6.3	Fluxo	72
6.4	Fluxo de Saturação e Tempo Perdido de um ciclo	73
6.5	Taxa de ocupação.....	75
6.6	Grupo de Movimentos Crítico	75

6.7	Período de entreverdes	76
6.8	Grau de Saturação	79
6.9	Ciclo	80
6.10	Tempo de verde real e tempo de verde efetivo	81
6.11	Capacidade	83
6.12	Pelotões	83
6.13	Defasagem	84
6.14	Tempo de verde de segurança.....	86
6.15	Verde mínimo veicular	87
6.16	Extensão de verde	88
6.17	Tempo de verde máximo	88
6.18	Medidas de desempenho.....	88
7 .	PROGRAMAÇÃO DE SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA ISOLADA DE TEMPO FIXO	94
7.1	Etapas de programação.....	94
7.2	Exemplos de cálculo.....	101
8 .	PROGRAMAÇÃO DE SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA ISOLADA ATUADA	144
8.1	Conceitos básicos	144
8.2	Projeto de detecção de veículos.....	145
8.3	Parâmetros da programação de estágio atuado por veículos.....	147
8.4	Parâmetros da programação de estágio atuado por pedestres	153
8.5	Características gerais da programação de sinalização semafórica atuada.....	153
8.6	Etapas da programação atuada.....	154
8.7	Exemplos de programação de sinalização semafórica atuada	158
8.8	Locais candidatos à implantação de sinalização semafórica isolada atuada	177
9 .	COORDENAÇÃO SEMAFÓRICA	179
9.1	Aspectos gerais da coordenação semafórica	181
9.2	Tipos de sistemas de coordenação semafórica.....	183

9.4	Coordenação de sinalizações semafóricas operando em modo atuado	195
9.5	Programação em situações de congestionamento	196
9.6	Exemplos para tempos fixos	197
10 .	POSICIONAMENTO DA SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA	204
10.1	Sinalização semafórica veicular	204
10.2	Sinalização semafórica de pedestres	215
10.3	Semáforo de ciclistas.....	222
10.4	CrITÉrios de locação do controlador semafórico.....	223
11 .	REMOÇÃO DE SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA	225
11.1	Introdução	225
11.2	Metodologia de tomada de decisão para remoção de sinalização semafórica	225
	APÊNDICES	229
	APÊNDICE 1 - Diagramação dos focos semafóricos e pictogramas.....	230
	APÊNDICE 2- Pesquisas de Volume e tempo Médio de Espera de Pedestres	237
	APÊNDICE 3 – Coleta de dados de volume de veículos	249
	APÊNDICE 4 - Medição do tempo total de espera dos veículos da via secundária.....	252
	APÊNDICE 5 : TESP – Tempo de Espera de Pedestres.....	255
	APÊNDICE 6 – Fluxo de Saturação	257
	BIBLIOGRAFIA	292

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Cores e sinais da sinalização semafórica em focos de forma circular	12
Tabela 3.1: Cores e sinais da sinalização semafórica em focos de forma circular (continuação)	13
Tabela 3.2: Cores e sinais da sinalização semafórica em focos de forma quadrada	13
Tabela 3.3: Formas e dimensões das lentes dos focos semafóricos	14
Tabela 3.4: Semáforos para sinalização semafórica de regulamentação	15
Tabela 3.5: Semáforos para sinalização semafórica de advertência	16
Tabela 4.1: Movimentos veiculares que interferem com os movimentos de pedestres	29
Tabela 4.2: Movimentos conflitantes apresentados na Figura 4.7	32
Tabela 4.4: Exemplos de problemas em interseções e possíveis soluções	34
Tabela 4.5: Conseqüências da implantação da sinalização semafórica	35
Tabela 4.6: Distância de Frenagem	54
Tabela 5.1: Vantagens e desvantagens do controle em tempo fixo e atuado	67
Tabela 6.1: Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos	72
Tabela 7.1: Indicadores de desempenho	143
Tabela 8.1: Exemplos de cálculo de extensão de verde para corte ótimo	151
Tabela 9.1: Dados associados a cada grupo de movimento	198
Tabela 9.2: Fluxos de contribuição entre os grupos de movimento	198
Tabela 9.3: Resultados globais fornecidos pelo SIRI para os cenários estudados	199
Tabela 9.4: Dados para o exemplo de via de mão-única	200
Tabela 9.5: Dados para o exemplo de via de mão-dupla	201
Tabela 10.1: Características da posição do semáforo antes da via transversal	205
Tabela 10.2: Características da posição do semáforo depois da via transversal	206
Tabela 10.3: Distância de Visibilidade de Parada em Função da Velocidade	208
Tabela 10.4: Distância da Linha de Retenção ao Grupo Focal	210
Tabela A2.1: Distribuição t de Student – valores de $t_{n-1, \alpha/2}$	243
Tabela A2.2: Valores recomendados para o erro da estimativa (E)	246
Tabela A6.1: Tempos de passagem dos veículos sobre a linha de retenção	259
Tabela A6.2: Resumo dos valores calculados para os 15 ciclos observados	265
Tabela A6.3: Resumos dos valores calculados para os 16 ciclos observados.	274
Tabela A6.4: Dados para o cálculo do tamanho da amostra (n)	279
Tabela A6.5: Dados para o cálculo do tamanho da amostra (n)	280
Tabela A6.6: Análise de sensibilidade do tamanho da amostra com relação ao erro admissível e ao nível de significância	281
Tabela A6.7: Valores de $tn^{-1}, \alpha/2$	283

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Elementos constituintes dos focos semafóricos	18
Figura 3.2: Exemplos de anteparo sem orla	19
Figura 3.3: Exemplos de anteparo com orla interna	19
Figura 3.4: Elementos de sustentação	20
Figura 3.5: Exemplo de laços indutivos empregados para detecção veicular	21
Figura 3.6: Exemplos de botoeira	22

Figura 3.7: Exemplo de sinalização educativa para uso da botoeira pelo pedestre	22
Figura 3.8: Exemplo de imagem de vídeo com zonas de detecção configuradas na tela do monitor - Inserir fonte da figura.....	23
Figura 3.9: Feixe de microondas do RTMS e sua superfície oval	24
Figura 3.10: Ilustração da configuração transversal de detectores por microondas	24
Figura 3.11: Ilustração da perturbação do campo magnético terrestre provocada pela passagem de um veículo (Fonte: adaptada de Traffic Detector Handbook, FHWA, 2006)	25
Figura 3.12: Emissão e reflexão de energia por veículos e superfície viária.....	26
Figura 3.13: Formas de posicionamento dos detectores ultrassônicos	27
Figura 4.1: Representação de movimentos em uma interseção de duas vias de mão única	28
Figura 4.2: Representação das aproximações de interseções	29
Figura 4.3: Movimentos convergentes.....	30
Figura 4.4: Movimentos divergentes	30
Figura 4.5: Movimentos interceptantes.....	30
Figura 4.6: Movimentos não-interceptantes	31
Figura 4.7: Exemplo de um diagrama de conflitos	32
Figura 4.8: Procedimentos para a implantação e avaliação da sinalização semafórica	36
Figura 4.9: Estrutura geral do estudo	37
Figura 4.10: Estudos em locais existentes: abordagem pedestres.....	39
Figura 4.11: Estudos em locais existentes: abordagem veículos	42
Figura 4.12: Exemplos de acidentes evitáveis por sinalização semafórica	43
Figura 4.13: Estudos em locais em fase de projeto: abordagem pedestres	46
Figura 4.14 - Estudos em locais novos: abordagem veículos	49
Figura 4.15: Valores de fluxo que justificam a implantação de semáforo em locais em fase de projeto: Caso 1 (Fonte: MUTCD-2003)	52
Figura 4.16: Valores de fluxo que justificam a implantação de semáforo em locais em fase de projeto: Caso 2 (Fonte: MUTCD-2003)	52
Figura 4.17: Interseção de duas vias com velocidade regulamentada de 40 km/h	55
Figura 4.18: Interseção de duas vias com velocidade regulamentada de 30 km/h	56
Figura 4.19: Interseção de vias com velocidades regulamentadas de 40 km/h e 30 km/h	56
Figura 4.20: Interseção em “T”, de vias com velocidades regulamentadas de 60 km/h e 40km/h	57
Figura 4.21: Interseção de vias de mão única e mão dupla com velocidades regulamentadas de 40 km/h e 50 km/h	57
Figura 4.22: Exemplo de sinalização de advertência a ser localizada em seção anterior à interseção	58
Figura 4.23: Exemplo de sinalização especial de advertência a ser localizada na coluna ou braço do semáforo que opera em tempo parcial	59
Figura 5.1: Ilustração do conceito de grupo de movimentos e grupo semafórico	60
Figura 5.2: Exemplo de diagrama de estágios	62
Figura 5.3: Exemplo de diagrama de intervalos luminosos.....	62
Figura 6.1: Exemplo da variação horária do volume em um dia útil.....	70
Figura 6.2: Exemplo da variação diária do volume ao longo da semana	70
Figura 6.3: Exemplo da variação mensal do volume ao longo do ano	71
Figura 6.4: Fluxo de saturação e tempos perdidos em estágio saturado.....	74
Figura 6.5: Fluxo de saturação e tempo perdido inicial em estágio não saturado	75
Figura 6.6: Distâncias percorridas pelo veículo junto à aproximação	76
Figura 6.7: Ilustração dos conceitos de capacidade e grau de saturação	79
Figura 6.8: Dispersão de pelotões ao longo de um segmento viário	84

Figura 6.9: Defasagem entre sinalizações semaforicas ao longo de uma via arterial	85
Figura 6.10: Processo de formação e dissipação de fila	90
Figura 6.11: Ilustração do crescimento da fila ao longo de mais de um ciclo	91
Figura 7.1: Sequência de atividades da Etapa I	95
Figura 7.2: Sequência de atividades da Etapa III.....	98
Figura 7.3: Sequência de atividades da Etapa IV	100
Figura 7.4: Histograma de fluxo	102
Figura 7.5: Cruzamento da Rua A com a Rua B.....	103
Figura 7.6: Representação esquemática dos movimentos e aproximações.....	104
Figura 7.7: Diagrama de estágios.....	105
Figura 7.8: Distribuição dos grupos semaforicos	105
Figura 7.9: Diagrama de intervalos luminosos para o ciclo de 46s	111
Figura 7.10: Diagrama de intervalos luminosos para o ciclo de 63s	112
Figura 7.11: Cruzamento da Avenida C com a Rua D	114
Figura 7.12: Representação esquemática dos movimentos e aproximações.....	115
Figura 7.13: Diagrama de estágios.....	116
Figura 7.14: Distribuição dos grupos semaforicos	117
Figura 7.15: Diagrama de intervalos luminosos para o ciclo de 107s	123
Figura 7.16: Diagrama de intervalos luminosos para o ciclo de 94s	124
Figura 7.17: Croquis do cruzamento.....	125
Figura 7.18: Representação esquemática dos movimentos e aproximações.....	126
Figura 7.19: Diagrama de estágios.....	127
Figura 7.20: Distribuição dos grupos semaforicos	127
Figura 7.21: Diagrama dos intervalos luminosos para o ciclo de 66s	131
Figura 7.22: Diagrama dos intervalos luminosos para o ciclo de 51s (refazer figura)	132
Figura 7.23: Croquis do cruzamento.....	134
Figura 7.24: Representação esquemática dos movimentos e aproximações.....	136
Figura 7.25: Diagrama de estágios.....	137
Figura 7.26: Distribuição dos grupos semaforicos	138
Figura 7.27: Diagrama de intervalos luminosos para o ciclo de 140s	142
Figura 8.1: Funcionamento de um estágio atuado em função de solicitações de veículos	145
Figura 8.2: Posicionamento de laço detector inibidor	146
Figura 8.3: Relação entre o posicionamento longitudinal da seção de detecção e a extensão de verde.....	149
Figura 8.4: Fluxograma da Etapa III: atuação por veículos.....	156
Figura 8.5: Interseção das ruas I e J.....	159
Figura 8.6: Diagrama de estágios.....	160
Figura 8.7: Distribuição dos grupos semaforicos	161
Figura 8.8: Posicionamento das seções de detecção.....	164
Figura 8.9: Cruzamento da Avenida K com Rua L (refazer).....	167
Figura 8.10: Diagrama de estágios.....	168
Figura 8.11: Distribuição dos grupos semaforicos	168
Figura 8.12: Travessia de pedestres de meio de quadra na Avenida M.....	173
Figura 8.13: Diagrama de estágios.....	174
Figura 8.14 - Distribuição dos grupos semaforicos	174
Figura 9.1: Representação do conceito de defasagem relativa entre duas interseções sucessivas	180
Figura 9.2: Representação do conceito de defasagem absoluta.....	180
Figura 9.3: Tipos de sistemas de coordenação semaforica	183

Figura 9.4: Exemplo de diagrama espaço-tempo para uma via de mão única.....	186
Figura 9.5: Exemplo de diagrama espaço-tempo para uma via de mão dupla	186
Figura 9.6: Elementos para o cálculo da defasagem para via de mão única.....	188
Figura 9.7: Exemplo de coordenação em via de mão dupla com verdes centralizados.....	192
Figura 9.8: Exemplo de coordenação em via de mão dupla com verde e vermelho centralizados	193
Figura 9.9: Exemplo de coordenação em via de mão dupla com combinação de estratégias	194
Figura 9.10: Exemplo de uma rede formada por três interseções.....	197
Figura 9.11: Representação esquemática dos grupos de movimentos.....	197
Figura 9.12: Diagrama espaço-tempo do exemplo de via de mão única	201
Figura 9.13: Diagrama espaço-tempo do exemplo de via de mão dupla na situação b.1	202
Figura 9.14: Diagrama espaço-tempo do exemplo de via de mão dupla na situação b.2	203
Figura 10.1: Campo visual do condutor em movimento.....	207
Figura 10.2: Distância do grupo focal à linha de retenção	209
Figura 10.3: Ângulo entre a linha de visada do condutor e o eixo da faixa.....	210
Figura 10.4: Afastamento lateral e altura livre do grupo focal	211
Figura 10.5: Aproximação em curva vertical (posicionamento após a interseção)	212
Figura 10.6: Semáforo em curva horizontal de via de mão única (posicionamento após a interseção).....	213
Figura 10.7: Sinalização semafórica com caixa de acomodação insuficiente	214
Figura 10.8: Sinalização semafórica com caixa de acomodação suficiente	215
Figura 10.9: Travessias realizadas em estágios distintos.....	216
Figura 10.10: Travessia em um único estágio	217
Figura 10.11: Exemplos de posições de grupos focais de pedestres.....	218
Figura 10.12: Exemplo de locação de grupos focais para pedestres.....	219
Figura 10.13: Posicionamento da botoeira junto à interseção	220
Figura 10.14: Afastamento da botoeira com relação ao meio-fio.....	220
Figura 10.15: Botoeira única para atender duas travessias	221
Figura 10.16: Posicionamento do conjunto em ângulo diferente do usual	221
Figura 10.17: Uso de duas placas para sinalizar uma única botoeira	222
Figura 11.1: Grupos focais ensacados e placa “desligado”	227
Figura A2.1: Trechos para contagem do volume de pedestres	238
Figura A2.2: Trecho de planilha exibindo horários e dados (acumulados) de uma contagem de pedestres.....	239
Figura A2.3: Modelo da planilha para determinação do volume horário crítico de travessia de pedestres.....	240
Figura A2.4: Planilha contendo tempos de espera coletados.....	242
Figura A3.1: Exemplo de folha de campo para pesquisa volumétrica direcional	250
Figura A3.2: Folha de campo para pesquisa volumétrica classificatória e direcional (motocicleta e caminhão/ônibus)	251
Figura A4.1: Planilha para a coleta de dados.....	253
Figura A6.1: Planilha do Método 1.....	258
Figura A6.2: Planilha usada para a coleta de dados (Exemplo M1).....	263
Figura A6.3: Planilha para a coleta de dados (Método 2).....	268
Figura A6.4: Planilha usada na coleta de dados do exemplo.....	272
Figura A6.5 : Histograma de tráfego para a aproximação estudada	277