

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

**ANÁLISE DOS IMPACTOS NO TRÁFEGO
RESULTANTES DAS APLICAÇÕES DAS
METODOLOGIAS DE IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS
ESTUDADAS - CASO DA CIDADE DE FORTALEZA-CE**

Juliana Carla Coelho

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M. Sc.) em Engenharia de Transportes.

ORIENTADORA Profa. Dra. Maria Elisabeth Pinheiro Moreira

**Fortaleza
2011**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

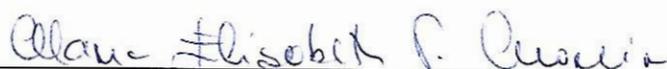
-
- C617a Coelho, Juliana Carla.
Análise dos impactos no tráfego resultantes das aplicações das metodologias de implantação de semáforos estudadas: caso da cidade de Fortaleza-CE / Juliana Carla Coelho. – 2011.
122 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2011.
Área de Concentração: Tráfego Urbano e Rodoviário.
Orientação: Profa. Dra. Maria Elisabeth Pinheiro Moreira.
1. Transportes. 2. Engenharia de tráfego. 3. Semáforos. I. Título.

ANÁLISE DOS IMPACTOS NO TRÁFEGO RESULTANTES DAS APLICAÇÕES
DAS METODOLOGIAS DE IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS ESTUDADAS -
CASO DA CIDADE DE FORTALEZA-CE

Juliana Carla Coelho

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE
TRANSPORTES.

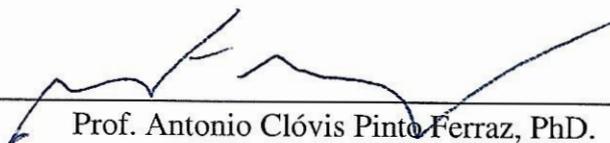
Aprovada por:



Prof.ª Maria Elisabeth Pinheiro Moreira, D.Sc.
(Orientadora)



Prof. Waldemiro de Aquino Pereira Neto, D.Sc.
(Examinador Interno)



Prof. Antonio Clóvis Pinto Ferraz, PhD.
(Examinador Externo)

FORTALEZA, CE – BRASIL
DEZEMBRO DE 2001

"O sucesso nasce do querer da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis." José de Alencar

AGRADECIMENTOS

À Deus pela dádiva de viver.

Aos meus pais, Cleonice e Tarciso (*in memorian*) pelos ensinamentos e incentivo.

A minha segunda mãe, minha irmã Rosângela, por tudo que sempre fez por mim.

Ao meu noivo, Rodrigo Cavalcante, pelo amor, companheirismo e ajuda a superar todos os desafios para conseguir atingir meus objetivos.

Aos professores do CEFET fundamentais para minha formação acadêmica, Marcelo Macedo, Hélio Henrique e Bartolomeu Cabral (*in memorian*).

À professora Elisabeth pela orientação, apoio amizade e ensinamentos.

Aos professores membros da banca que muito auxiliaram com os comentários e considerações para melhoria do trabalho: Prof. Coca e Prof. Waldemiro.

Aos amigos do Controle de Tráfego em Área de Fortaleza - CTAFOR que ajudaram em todo andamento do trabalho.

Aos amigos que disponibilizaram tempo e esforços para a conclusão do projeto: Eduardo Aquino e Felipe Viana.

À CAPES, pela bolsa que muito auxiliou nessa jornada.

Aos amigos, Fabiana Marques e Lélío Ivo, que me apoiaram, me escutaram e me deram forças quando precisei.

Ao CTAFOR pela disponibilidade dos dados.

Resumo da Dissertação submetida ao PETRAN/UFC como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Engenharia de Transportes.

ANÁLISE DOS IMPACTOS NO TRÁFEGO RESULTANTES DAS APLICAÇÕES
DAS METODOLOGIAS DE IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS ESTUDADAS -
CASO DA CIDADE DE FORTALEZA-CE

Juliana Carla Coelho
Dezembro/2011

Orientadora: Maria Elisabeth Pinheiro Moreira

A utilização de mecanismos que auxiliem a tomada de decisão é cada vez mais difundida no meio técnico, o uso destes ferramentais por Engenheiros de Tráfego auxiliam na análise do desempenho de novos cenários urbanos, definição de novas estratégias de coordenação, isolamento de semáforos, dentre outros, de forma a contribuir para a eficácia do sistema de trânsito. Com o aumento da problemática relacionada ao trânsito nas grandes cidades, a implantação de semáforos surge como uma das medidas mitigadoras. Devido à existência de vários métodos de implantação de semáforos, nacionais e estrangeiras, conforme as características das cidades que os originaram, é necessário além da identificação dos locais onde se devem implantar os semáforos, utilizar outros métodos, a exemplo de um otimizador e um simulador de tráfego, que através de medidas de desempenho, auxiliem à análise dos impactos operacionais no trânsito, de forma a verificar quais as reais melhorias resultantes das implantações, considerando outras realidades. Este trabalho terá como estudo de caso um trecho viário da área central da cidade de Fortaleza-Ce. Na concepção deste estudo, foram definidas as seguintes etapas: aplicação das metodologias de implantação de semáforos estudadas, definição do modo de operação e coordenação e avaliação operacional. Optou-se por utilizar o simulador de tráfego *Integration* que através de suas medidas de desempenho auxiliou na definição do cenário que apresentou os maiores ganhos operacionais em relação ao cenário atual.

Abstract of Thesis submitted to PETRAN/UFC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.) in Transportation Engineering

**ANALYSIS OF THE IMPACTS ON TRAFFIC RESULTING FROM THE
APPLICATION OF THE STUDIED TRAFFIC IMPLEMENTATION
METHODOLOGIES – CASE IN THE CITY OF FORTALEZA- CE**

Juliana Carla Coelho
December/2011

Advisor: Maria Elisabeth Pinheiro Moreira

Decision making techniques have become increasingly widespread in the technical field. The use of such tools by Traffic Engineers assists in analyzing the performance of new urban settings, the definition of new coordination strategies, traffic signal isolation, among others, as to contribute to the effectiveness of the traffic control system. With increasing problems related to traffic in large cities, the implementation of traffic control signals emerges as one of the mitigating measures. As there are several national and international methods used in the implementation of traffic signals, depending on the characteristics of the cities in which they originate, it is necessary not only to identify the sites where traffic signals should be installed, but also to utilize different methods. Such methods include traffic signal optimization and simulation tools, which assist in the analysis of operational impacts through performance measures, indentifying which are the real improvements resulting from the implementations, considering other realities. The present work will study a road section from the central area of the city of Fortaleza, in the state of Ceará, Brazil. The following stages were defined: application of the studied methodologies of traffic control signal implementation, mode of operation, and operational coordination and evaluation. The traffic simulator *Integration* was used, and through its performance measurements it was possible to define the setting that exhibited the highest operational gains in relation to the current setting.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2 PROBLEMA DA PESQUISA	3
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA	4
1.3.1 Objetivo Geral	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 JUSTIFICATIVA	5
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	7
CAPÍTULO 2	9
SEMÁFOROS E CRITÉRIOS PARA IMPLANTAÇÃO	9
2.1 INTRODUÇÃO	9
2.2 HISTÓRICO DA IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS	9
2.3 FUNÇÕES DOS SEMÁFOROS	14
2.4 COMPONENTES PARA AVALIAÇÃO DE IMPLANTAÇÃO	17
2.5 CRITÉRIOS PARA IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS	18
2.5.1 Critério: Volume Veicular	21
2.5.2 Critério: Interrupção do Tráfego Contínuo	25
2.5.3 Critério: Fluxo de Pedestres	26
2.5.4 Critério: Índice de Acidentes de Trânsito	29
2.5.6 Critério: Compactação de Pelotões e Melhoria do Sistema Progressivo	30
2.5.7 Outros Critérios	31
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
CAPÍTULO 3	38
ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DE SEMÁFOROS E MODELOS DE SIMULAÇÃO	39
3.1 INTRODUÇÃO	39
3.2 ESTRATÉGIA OPERACIONAL DO SEMÁFORO	39
3.2.1 Controle Isolado	40

3.2.2 Controle Coordenado	43
3.2.3 Controle Centralizado	46
3.3 DEFINIÇÃO DO MODO DE COORDENAÇÃO DO SEMÁFORO	49
3.4 MODELO DE OTIMIZAÇÃO	51
3.4.1 <i>TRANSYT</i>	52
3.5 MODELOS DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO	54
3.6 ESCOLHA DO MODELO DE SIMULAÇÃO	58
3.6.1 <i>INTEGRATION</i>	63
3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
CAPÍTULO 4	66
ESTUDO DE CASO	66
4.1 INTRODUÇÃO	66
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CORREDOR ANALISADO	66
4.3 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS REALIZADAS	72
4.4 ETAPA 01: APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS	75
4.4.1 Aplicação da Metodologia Americana	76
4.4.2 Aplicação da Metodologia Australiana	78
4.4.3 Aplicação da Metodologia Escocesa	79
4.4.4 Aplicação da Metodologia do DENATRAN	79
4.4.2 Aplicação da Metodologia Argentina	80
4.5 ETAPA 02: DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE COORDENAÇÃO E OPERAÇÃO DOS SEMÁFOROS	82
4.5.1 Definição da Estratégia de Coordenação	83
4.5.2 Definição da Estratégia de Operação	87
4.5.3 Descrição dos Cenários Analisados	91
4.6 ETAPA 03: ANÁLISE OPERACIONAL DA IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS	95
4.6.1 Coleta de Dados	95
4.6.2 Calibração	96
4.6.3 Validação	100
4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	101

CAPÍTULO 5	102
ANÁLISE DOS RESULTADOS	102
5.1 INTRODUÇÃO	102
5.2. ETAPA 01 – DIVERGÊNCIAS ENCONTRADAS NA APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS NO ESTUDO DE CASO	102
5.3. ETAPA 02 – ANÁLISES DOS MODOS DE OPERAÇÃO E COORDENAÇÃO DOS SEMÁFOROS	103
5.3.1 Modo de Coordenação	103
5.3.2 Modo de Operação	104
5.4 ETAPA 03 - ANÁLISE DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO DO SIMULADOR INTEGRATION	105
5.4.1 Análise Visual do Comportamento do Tráfego Através do Simulador	105
5.4.2 Análise dos Cenários Através das Medidas de Desempenho do Simulador	108
5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
CAPÍTULO 6	115
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	115
6.1 INTRODUÇÃO	115
6.2 CONCLUSÕES	115
6.3 RECOMENDAÇÕES	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Composição da sinalização semafórica	10
Figura 2.2: Primeiro semáforo manual da cidade de Santos - Fonte: acervo do pesquisador e professor de História Francisco Carballa	11
Figura 2.3: Data de implantação dos semáforos de Fortaleza	13
Figura 2.4: Curva atraso x fluxo veicular para uma interseção hipotética tipo T. Fonte: Tanner (1962)	20
Figura 2.5: Relação entre o fluxo veicular e tipo de controle. Fonte: TRB (2000)	21
Figura 2.6: Relação entre o volume veicular das vias principal e secundária (FHWA, 2003)	32
Figura 2.7: Relação entre o volume veicular das vias principal e secundárias para os casos específicos em relação a velocidade (FHWA, 2003)	33
Figura 2.8: Relação entre o volume veicular das vias principal e secundária (FHWA, 2003)	35
Figura 2.9: Relação entre o volume veicular das vias principal e secundárias para os casos específicos em relação a velocidade (FHWA, 2003)	35
Figura 3.1: Comparação entre rede aberta e rede fechada. Fonte: DENATRAN (1984)	44
Figura 3.2: Determinação do tipo de operação do semáforo. Fonte: DENATRAN (1984)	50
Figura 3.3: Escala do índice de interdependência Fonte: FREITAS <i>et al.</i> (2009)	51
Figura 4.1: Evolução da frota de Fortaleza. Fonte: DETRAN/CE (2011)	66
Figura 4.2: Distribuição espacial dos semáforos de Fortaleza	68
Figura 4.3: Semáforos implantados de janeiro de 2000 a janeiro de 2011	69
Figura 4.4: Localização do Trecho Analisado da Rua Meton de Alencar	70
Figura 4.5: Uso do solo no corredor de estudo	70
Figura 4.6: Fluxograma das Etapas do Estudo de Caso	73
Figura 4.7: Número de acidentes na Rua Meton de Alencar entre as Ruas Barão do Rio Branco e Av. Dom Manuel. Fonte: SIAT-FOR (2010)	76
Figura 4.8: Localização das Interseções para as Análises de Coordenação de Semáforos	83

Figura 4.9 : Cenário Atual	91
Figura 4.10: Cenário 01	92
Figura 4.11: Cenário 02	92
Figura 4.12: Cenário 03	93
Figura 4.13: Cenário 04	93
Figura 4.14: Cenário 05	94
Figura 4.15: Cenário 06	94
Figura 4.16: Cenário 07	95
Figura 5.1: Velocidade Média por <i>Link</i>	109
Figura 5.2: Atraso Médio por <i>Link</i>	110
Figura 5.3: Fila Média por <i>Link</i>	110
Figura 5.4: Tempo de Viagem Médio do corredor por par O/D	111
Figura 5.5: Velocidade Média por <i>Link</i>	111
Figura 5.6: Atraso Médio por <i>Link</i>	112
Figura 5.8: Tempo de Viagem Médio da Secundarias por Par O/D	113
Figura 5.9: Ganhos Percentuais nos Cenários Analisados	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Comparação entre medidas alternativas a implantação de semáforos	16
Tabela 2.2: Metodologia Americana - Fluxo veicular mínimo	22
Tabela 2.3: Metodologia do DENATRAN - Volumes veiculares mínimos	22
Tabela 2.4: Metodologia Argentina - Relação número de faixas e fluxo veicular mínimo para o primeiro requisito	23
Tabela 2.5: Metodologia Escocesa - Fluxos horários mínimos	24
Tabela 2.6: Metodologia Americana - Interrupção de corrente de tráfego contínua	25
Tabela 2.7: Metodologia do DENATRAN - Interrupção do tráfego contínuo	25
Tabela 2.8: Metodologia Argentina - Relação entre o número de faixas e o fluxo veicular	26
Tabela 3.1: Vantagens e Desvantagens do Controle Isolado em Tempo Fixo	41
Tabela 3.2: Vantagens e Desvantagens do Controle Isolado Atuado	42
Tabela 3.3: Vantagens da simulação de tráfego	56
Tabela 3.4: Desvantagens da simulação de tráfego	57
Tabela 3.5: Passos para identificação do problema e do objetivo do projeto	58
Tabela 3.6: Escopo de aplicação de modelos de simulação	60
Tabela 4.1: Interseções analisadas do corredor de estudo	71
Tabela 4.2: Aplicação dos critérios da Metodologia Americana (volume de 08 horas)	77
Tabela 4.3: Aplicação dos critérios da Metodologia Americana (volume de 04 horas)	77
Tabela 4.4: Aplicação dos Critérios da Metodologia Australiana	78
Tabela 4.5: Aplicação dos Critérios da Metodologia Escocesa	79
Tabela 4.6: Aplicação dos Critérios da Metodologia do DENATRAN	80
Tabela 4.7: Aplicação dos Critérios da Metodologia Argentina	81
Tabela 4.8: Resumo das indicações de semáforos segundo cada metodologia analisada	82

Tabela 4.9: Relação dos cruzamentos também considerados para a análise do modo de coordenação dos semáforos do corredor de estudo	83
Tabela 4.10: Resultado dos Modos de Coordenação conforme Cenário Proposto pela Metodologia Americana – Situação A	84
Tabela 4.11: Resultado dos Modos de Coordenação conforme Cenário Proposto pela metodologia Americana – Situação B	85
Tabela 4.12: Resultado dos Modos de Coordenação conforme Cenário Proposto pela Metodologia da Austrália	85
Tabela 4.13: Resultado dos Modos de Coordenação conforme Cenário Proposto pela Metodologia da Escócia	86
Tabela 4.14: Resultado dos Modos de Coordenação conforme Cenário Proposto pela Metodologia do DENATRAN	86
Tabela 4.15: Resultado dos Modos de Coordenação conforme Cenário Proposto pela Metodologia da Argentina	87
Tabela 4.16: Resultado das Simulações dos Cenários Propostos no TRANSYT	90
Tabela 4.17: Critérios propostos para a classificação das vias coletoras e locais de Fortaleza. Fonte: MAIA (2007)	98
Tabela 4.18: Parâmetros adotados para o grupo de vias segundo classificação de MAIA (2007)	99
Tabela 4.19: Análise da variância do tempo de viagem modelado e observado no processo de calibração	100
Tabela 4.20: Análise da variância do tempo de viagem modelado e observado no processo de validação	101

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O aumento dos deslocamentos da população é percebido nas grandes cidades brasileiras, recaindo sobre o acréscimo da frota veicular individual de forma bastante acelerada, devido principalmente a grande oferta de crédito para a compra de veículos particulares, o que pode ser percebido ao analisar-se a frota de veículos de Fortaleza, que no período de 2000 a 2010 praticamente dobrou, apresentando um percentual de crescimento de 93,28% (Departamento Estadual de Trânsito - DETRANCE, 2010). Outro fator negativo para o predomínio da utilização de veículos particulares é o não investimento no sistema de transportes público, entre outras problemáticas.

Contudo, não houve um acompanhamento na infra-estrutura viária, também não são percebidos incentivos por parte do governo para que os usuários do transporte individual possam optar por outra modalidade, como por exemplo, os transportes não motorizados, o que poderia proporcionar maior fluidez no sistema viário. Redução da mobilidade e da acessibilidade, degradação das condições ambientais, congestionamentos crônicos, e altos índices de acidentes de trânsito já constituem problemas em muitas capitais e cidades de grande porte no Brasil (Associação Nacional do Transporte Público- ANTP, 1997).

A cidade de Fortaleza é a quinta capital do país em número de habitantes, contando com uma população em torno de 2,6 milhões, segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2009). De acordo com DETRAN/CE (2011), a frota do estado até agosto de 2010 foi estimada em 1,6 milhões, sendo cerca de 660 mil veículos somente na capital.

Todas as interações entre os seres humanos fazem com que, as vias se tornem locais complexos em uma cidade, pois nelas encontram-se pedestres, ciclistas e veículos com diferenciados destinos, o que geram conflitos nos espaços públicos. Desta forma, as normas de circulação e conduta dos usuários do sistema de tráfego, surgem com o

objetivo de ordenar as interações entre os veículos, os pedestres, os ciclistas e as vias, de forma a estabelecer regras para que todos possam realizar seus deslocamentos.

Desta forma, se todos os usuários obedecessem às normas de circulação e conduta constantes no Código de Trânsito Brasileiro – CTB (BRASIL, 1997), a fluidez do tráfego e diversas outras problemáticas geradas pelo desrespeito seriam menos impactantes no sistema de tráfego, embora pudesse ser necessária a intervenção órgãos executores do trânsito para possibilitar facilidade nos deslocamentos da população nas vias e interseções, como por exemplo, a implantação de dispositivos para controle do tráfego.

Sabendo-se disto, os gestores buscam formas de minimizar problemas de conflitos no trânsito por meio da abertura de novas vias, mudança de direção do tráfego, instalação de equipamentos de controle de velocidade, implantação/restauração da sinalização horizontal e vertical, dentre outros. Mas, quando se deseja além de minimizar os conflitos, controlar os movimentos conflitantes, reduzir a formação de congestionamento e também beneficiar a travessia de pedestres e ciclistas o semáforo é um dos dispositivos mais eficientes para estes tipos de em áreas urbanas. Contudo, sua implantação é bastante oneroso, como por exemplo, a cidade de Fortaleza onde o custo de um equipamento semaforico em tempo fixo é de aproximadamente 40.000 reais

Este valor pode ser considerado elevado, mas ao se comparar com os gastos relativos aos acidentes de trânsito no Brasil, torna-se insignificante, pois de acordo com informações da Organização Pan-Americana de Saúde - OPAS (2007) o prejuízo causado por acidentes em cidades e rodovias chega em torno de R\$ 10 bilhões por ano, contando com mais de 30 mil pessoas mortas. Desta forma, a relação benefício - custo mostra que é preferível investir em manutenção e sinalização ao longo das vias e dos cruzamentos, a ter custos elevados com acidentes de trânsito.

A decisão de implantação semaforica deve estar bem embasada em critérios que justifique sua implantação e ao mesmo tempo sua viabilidade de operação. As experiências estrangeiras são as mais encontradas na literatura, devido seu histórico na utilização deste tipo de equipamento para controle dos fluxos. Estas são tradicionalmente utilizadas por outros países, sem a devida atualização dos critérios adotados para a implantação. No Brasil, atualmente, alguns órgão gestores de trânsito

elaboraram seu próprio manual técnico, a exemplo a Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo - CET/SP que em 1991 estabelece seus próprios critérios para justificar as implantações semaforicas, visto que o único manual elaborado pelo Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN (1984) que servia de base para a realização destes estudos. Neste manual, os critérios adotados pelos americanos foram adaptados para a realidade brasileira, e ainda, os valores dos critérios então definidos, não passaram por nenhuma atualização nestes 26 anos de existência deste manual, o que sinaliza a necessidade de modificações essenciais neste manual, principalmente, devido as mudanças acontecidas no sistema de tráfego do país.

Devido à existência de vários métodos de implantação de semáforos, conforme as características das cidades que os originaram, é necessário utilizar métodos que avaliem a eficácia da utilização destas metodologias em outras realidades, e sim saber se este tipo de controle de tráfego irá otimizar a circulação dos veículos.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

No Brasil, o manual que embasar os estudos de implantação semaforica, elaborado pelo Governo Federal para é o Manual de Semáforos do DENATRAN (1984), que foi adaptado de manuais de outros países, com características viárias e operacionais totalmente diferentes da realidade brasileira, conforme observado no manual americano, *Manual on Uniform Traffic Control Devices – MUTCD (Federal Highway Administration - FHWA, 2003)*.

Observa-se ainda que, o manual americano (FHWA, 2003) foi elaborado para um volume de tráfego de 244 milhões de veículos no país (FHWA, 2008), enquanto que no Brasil a frota é de apenas 53 milhões veículos (DENATRAN, 2011), percebe-se assim a importância da utilização de valores adequados para se analisar corretamente a viabilidade de implantação de semáforos.

De acordo com VILANOVA (2007), os conceitos em que os critérios do manual americanos se apoiam, tais como número de faixas, fluxo de veículos, fluxo de pedestres e acidentes são facilmente compreensíveis e aceitáveis, porém não sabe-se de onde vêm os valores numéricos adotados. Sem conhecer esta resposta, fica muito difícil poder aplicar tais critérios na prática, considerando que, em trânsito, cada local e cada

situação tem suas próprias peculiaridades. É observado que, a dificuldade é ainda maior quando tenta-se aproveitar regras desenvolvidas e experimentadas nos Estados Unidos para a realidade brasileira.

Ao longo destes 24 anos de existência do manual do DENATRAN (1984), por não ter sido verificada nenhuma atualização dos seus parâmetros, os órgãos gestores foram induzidos a realizarem suas próprias adaptações, resultantes do constante desenvolvimento nas cidades brasileiras, seja na infra-estrutura viária, no desenvolvimento dos centros urbanos, seja na infra-estrutura viária, ou no crescimento sem controle da frota de veículos.

Concluí-se que, os órgãos de trânsito municipais brasileiros definem seus próprios critérios para avaliar a necessidade de implantação de semáforos, o que pode acarretar, caso estes critérios não estejam tecnicamente justificados, em uma não redução dos atrasos no tráfego, aumento dos conflitos e dos acidentes de trânsito. Uma correta implantação semafórica reduz os conflitos mais graves de trânsito, os acidentes (colisões e atropelamentos), permitindo que o usuário possa decisão não arriscada para cruzar a via.

1.3 OBJETIVOS

Pretende-se com esse trabalho realizar os seguintes objetivos:

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a efetiva contribuição para o tráfego das implantações semafóricas com base nas metodologias de implantação de semáforos do Brasil e exterior, na cidade de Fortaleza.

1.3.2 Objetivos específicos

De modo a permitir a obtenção do objetivo geral estabelecido, os seguintes objetivos específicos foram determinados:

- Elaborar uma revisão bibliográfica sobre as metodologias de implantação de semáforos analisadas, além de identificar e caracterizar os critérios considerados nas implantações semafóricas;

- Aplicar as metodologias analisadas em interseções da cidade de Fortaleza;
- Investigar variáveis como: atraso, tempo de viagem, tamanho de fila e velocidade antes e depois da implantação de semáforos utilizando um microssimulador de tráfego.

1.4 JUSTIFICATIVA

As metodologias de implantação de semáforos fornecem subsídios para embasar os técnicos na decisão de instalação deste dispositivo de controle de tráfego, através do estabelecimento de valores mínimos de critérios fundamentáveis de acordo com a caracterização do tráfego de cada cidade, tentando-se assim minimizar os efeitos de instalações incorretas.

Um semáforo quando implantado corretamente, traz diversos benefícios para a população como a redução dos conflitos e da gravidade dos acidentes de trânsito, porém quando este dispositivo é implantado de forma inadequada pode-se acarretar em muitos prejuízos ao tráfego, como aumento dos congestionamentos e do número de interrupções na corrente de tráfego. Percebe-se, analisando as diversas metodologias encontradas para implantação de semáforos que estas têm como principal objetivo evitar a implantação de semáforos desnecessários.

Estudando estas metodologias, observa-se que muitos dos parâmetros têm os mesmos valores estimados para diferentes comportamentos de tráfego, como por exemplo, o critério de volumes veiculares mínimo, são os mesmos para o manual brasileiro (DENATRAN, 1984) e para o americano (FHWA, 2003). Além este critério, outro parâmetro também considera a mesma parâmetro, no caso do número de acidente de trânsito que tanto o manual brasileiro como no americano consideram o valor mínimo de 5 acidentes graves por ano. Segundo VILANOVA (2007), exigir um patamar mínimo de um acidente sério a cada dois meses e meio é uma grande exigência, pois podem existir locais que justifiquem a implantação de semáforos que apresentem número inferior que 5 acidentes graves por ano, mas que tenham grande número de conflitos, como por exemplo.

Outras considerações para a implantação de semáforos comuns nas metodologias analisadas são: pesquisas volumétricas veiculares e de pedestres, levantamento de acidentes de trânsito, visitas no local da solicitação, medidas alternativas a implantação de semáforos, dentre outros. Para o conhecimento destes parâmetros os órgãos executores de trânsito necessitam dispor de recursos financeiros elevados, para atenderem as necessidades de planejamento, o treinamento, a coleta, a tabulação e resultados dos dados de acidentes, atividades estas que devem ser realizadas constantemente para atualização do banco de dados, visto as constantes solicitações de semáforos, decorrentes do crescimento da frota de veículos e conseqüente aumento dos movimentos conflitantes nas áreas urbanas.

A utilização dos parâmetros não pode ser aplicada às diferentes realidades de tráfego. Frente à necessidade de soluções rápidas para minimizar os conflitos do sistema viário, as decisões tem por base as experiências de profissionais da área de Engenharia de Tráfego, que muitas vezes não são justificadas tecnicamente, necessitando de um estudo mais profundo para verificar previamente, como por exemplo, a utilização de simuladores de tráfego, para se conhecer as influências destes parâmetros no ambiente estudado.

Como observado, os modelos para implantação de semáforos são embasados em critérios predefinidos, como volume de tráfego veicular e de pedestre, acidentes de trânsito, dentre outros. Mas quando se analisa os resultados destes modelos, ou seja, a necessidade de implantação do dispositivo no local analisado, verifica-se que outros aspectos também influenciam o comportamento do tráfego local como o uso do solo, a geometria da via, visibilidade de condutores e pedestres, mobiliário urbano, estacionamentos ao longo da via, dentre outros impedimentos, os quais interferem na fluidez do tráfego, aumentando o atraso veicular, a formação de fila, o número de paradas, como por exemplo.

Diante deste cenário, apenas adotar a decisão de implantação ou não do semáforo, com base nas metodologias nacionais e estrangeiras não é suficiente para a correta tomada de decisão. Torna-se necessária a utilização de mecanismos que simule a situação antes e após a implantação, para realmente verificar o ganho real na redução do atraso e de outros aspectos já citados, para os veículos que circulam pelo local

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos que apresentam as etapas de desenvolvimento da pesquisa, incluindo este capítulo, de caráter introdutório, que contextualiza a problemática, define o problema, a hipótese e os objetivos da pesquisa, além de apresentar a justificativa para a sua realização.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o histórico da implantação de semáforos, assim como são apresentados conceitos sobre a função dos semáforos no sistema de tráfego das cidades, relacionando suas principais vantagens e desvantagens. Este capítulo também conterá algumas definições de variáveis importantes utilizadas nos estudos de implantação de semáforos, além da revisão das principais metodologias de implantação de semáforos estrangeiras e brasileiras, além dos critérios considerados em cada uma delas, destacando a partir de uma análise, que identifique as semelhanças e diferenças entre as mesmas.

No Capítulo 3 tem-se a revisão bibliográfica sobre as estratégias de controle semafórico destacando as vantagens e desvantagens da utilização de cada tipo de controle analisado. Este capítulo também é composto pela revisão bibliográfica sobre os principais modelos de otimização e simulação utilizados na engenharia de tráfego.

Na seqüência, o Capítulo 4, inicialmente, é realizada uma caracterização do corredor analisado assim como uma descrição de todas as etapas realizadas no estudo, como a aplicação prática das metodologias de implantação de semáforos analisadas, estratégia de coordenação e operação dos semáforos, descrição das etapas de calibração e validação do microsimulador utilizado.

No Capítulo 5 é realizada a fase de análise dos resultados de todas as etapas do estudo descritas no Capítulo 4, de forma a avaliar operacionalmente as implantações de semáforos com base nos cenários propostos de acordo com as metodologias descritas no Capítulo 03.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões desta pesquisa, tendo por base os objetivos propostos, além de algumas recomendações para pesquisas posteriores. No

Capítulo 7, são apresentadas as referências bibliográficas consultados para fundamentar as etapas desenvolvidas na presente pesquisa.

CAPÍTULO 2

SEMÁFOROS E CRITÉRIOS PARA IMPLANTAÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados inicialmente comentários acerca do histórico de implantação de semáforos assim como suas funções e principais vantagens e desvantagens no sistema de tráfego. Conterá, tendo em vista a necessidade do domínio dos conceitos teóricos para embasar de maneira sólida a pesquisa, uma revisão bibliográfica dos principais critérios considerados em metodologias estrangeiras e brasileira para implantação de semáforos.

1.2 HISTÓRICO DA IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS

A palavra “semáforo” vem de “sem(a)”, elemento grego que significa “sinal”, e “phorus”, também grego, que significa “que carrega”, “que transporta”, “que leva”. De acordo com VALDES (1982), semáforo é considerado como um conjunto de elementos físicos e funcionais que concede, de forma alternativa, o direito de passagem a um movimento, ou a um grupo de movimentos, que convergem em uma interseção.

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 1997), a sinalização semafórica é um subsistema da sinalização viária que se compõe de luzes acionadas alternada ou intermitente através de sistema elétrico/eletrônico, cuja função é controlar os deslocamentos. Há dois grupos de sinalização semafórica: regulamentação e de advertência, o primeiro tem a função de efetuar o controle do trânsito num cruzamento ou seção de via, através de indicações luminosas, alternando o direito de passagem dos vários fluxos de veículos e/ou pedestres, já o segundo tem a função de advertir da existência de obstáculo, ou situação perigosa, devendo o condutor reduzir a velocidade e adotar as medidas de precaução compatíveis com a segurança para seguir adiante. Os semáforos são compostos basicamente por elementos fixos e variáveis como indicado na Figura 2.1:

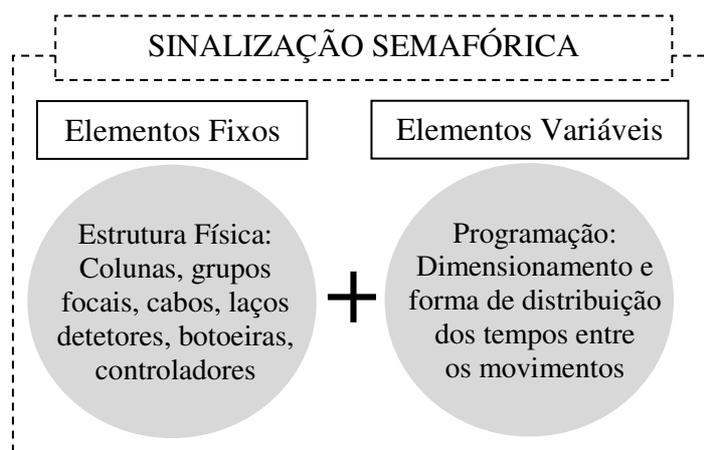


Figura 2.1: Composição da sinalização semafórica

Os primeiros dispositivos de controle do tráfego urbano tiveram como objetivo melhorar as condições de circulação e fluidez. Com a urbanização das cidades, crescimento populacional e facilidade na aquisição de veículos particulares, os problemas relacionados ao tráfego são cada vez mais comuns, assim os objetivos dos semáforos se estenderam e atualmente auxiliam na travessia e segurança de pedestres e ciclistas, reduzem os congestionamentos, diminuem a ocorrência e a gravidade dos acidentes de trânsito, além de ser essencial na priorização do transporte coletivo quando programados para este fim.

De acordo com *Institute of Transportation Engineers - ITE* (1999) os primeiros semáforos foram utilizados inicialmente em 1868 em Londres, na Inglaterra. Desde então foram feitas inúmeras transformações, modificações técnicas, e melhorias, e seu uso aumentou substancialmente ao longo dos anos, especialmente com o desenvolvimento dos automóveis no começo do século XX. Os primeiros semáforos manualmente operados foram utilizados pela primeira vez em Londres, e apenas em 1913, James Hoge inventou o primeiro semáforo elétrico que foi utilizado em 1914 na cidade de Cleveland, nos Estados Unidos. Este dispositivo foi a origem do semáforo de 3 cores que na década de 20, se espalhou por todos o país. (HOMBURGER *et al.*, 1996).

De acordo com WEBSTER E COBBE (1966), o primeiro semáforo atuado por veículos da Grã- Bretanha foi instalado em Londres – Inglaterra em 1932, e após 2 anos

funcionaria a primeira rede totalmente construída de semáforos atuados por veículos em Londres e também em Glasgow na Escócia.

Os primeiros semáforos automáticos com alternância entre verde e vermelho não eram eficazes operacionalmente, pois ao contrário dos manuais, não podiam responder às mudanças de demanda de tráfego, pois apresentavam tempos fixos durante o dia. Isso pôde ser corrigido com a implantação de controladores semaforicos, assim os semáforos eram capazes de variar os tempos de duração dos verdes e vermelhos, relativamente aos períodos de demanda da manhã, tarde e horários de pico.

Segundo MARQUEZ (1979) na América Latina, os primeiros sistemas instalados eram pouco complexos e de baixo custo. Estes operavam em interseções isoladas, pelas filas calculadas de forma teórica, enquanto as principais avenidas eram contempladas por ondas verdes. Os efeitos observados na prática demonstraram que o controle semaforico do tráfego em áreas urbanas, era um problema muito mais complexo e deveria ser tratado em termos espaciais e temporais. Para tal, a teoria matemática de equilíbrio de fluxo em redes urbanas se mostra adequada.

No caso brasileiro, em São Paulo, maior cidade do País em termos de população e frota veicular, os primeiros semáforos foram instalados em setembro de 1948, portanto, cerca de 80 anos após a instalação do primeiro semáforo no mundo. Há também registros da década de 30, de semáforos operados manualmente na cidade de Santos, como pode ser visualizado na Figura 2.2.



Figura 2.2: Primeiro semáforo manual da cidade de Santos - Fonte: acervo do pesquisador e professor de História Francisco Carballa

Os primeiros relatos de implantação de semáforos em Fortaleza surgem na metade do século XX, cerca de 84 anos depois que o primeiro semáforo do mundo tinha sido implantado. De acordo com artigo publicado no Jornal O Povo (18/07/2002), em 1952, o tenente Stephenson Bezerra Santos, superintendente do Trânsito de Fortaleza, que após uma viagem a cidade de Recife, onde já haviam semáforos implantados naquela cidade, anunciou que Fortaleza seria dotada de modernos sistemas de sinais luminosos, assim como os existentes nas principais cidades do país.

Em 1981, já podia ser registrado em Fortaleza, segundo matéria publicada no Jornal O Povo (19/08/1981), a primeira tentativa de utilização de sistemas de controle dos semáforos. O sistema *Transyt* seria implantado primeiramente no centro da cidade, no perímetro entre as ruas Dom Manoel, Domingos Olímpio, Imperador e Leste Oeste, onde nesta área existiam 118 interseções e somente 66 destas eram semaforizadas”. Em 1983 já existiam 180 sinais luminosos na cidade, sendo que 36 destes já operavam sincronizados e eram divididos em 10 subgrupos de progressão.

No fim do século XX, seguindo a tendência das grandes cidades no mundo, a Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF), em setembro de 2000, implantou um Sistema de Transporte Inteligente, através de um moderno sistema de controle e operação do tráfego urbano, com o objetivo de propiciar uma sobrevida ao sistema viário da área mais adensada e saturada do seu município (LOUREIRO *et al.*, 2002). Este sistema chamado de Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (CTAFOR) realiza atualmente o monitoramento do tráfego através de 35 câmeras do Circuito Fechado de Televisão (CFTV), 20 Painéis de Mensagens Variáveis (PMV) e cerca de 300 semáforos centralizados dos 608 existentes na cidade.

O CTAFOR utiliza, através do subsistema de controle centralizado, cerca de 830 detectores para realizar a otimização em tempo real da programação dos semáforos centralizados, os quais registram, durante todo o dia, os fluxos veiculares nas principais vias da cidade. Foi realizada uma pesquisa junto ao CTAFOR assim como também um levantamento a arquivos jornalísticos a fim de se levantar a data de implantação dos semáforos da cidade de forma a complementar a informação, uma vez que devido às mudanças ocorridas no gerenciamento do trânsito da cidade, estas informações não encontram-se completas.

Verifica-se espacialmente na Figura 2.3, a data de implantações semaforicas na cidade de Fortaleza, onde percebe-se a existência de áreas bastante adensadas deste dispositivo (área leste), onde se concentram zonas de emprego e serviço da cidade, e que, conseqüentemente, tem uma grande frota de veículos em circulação.

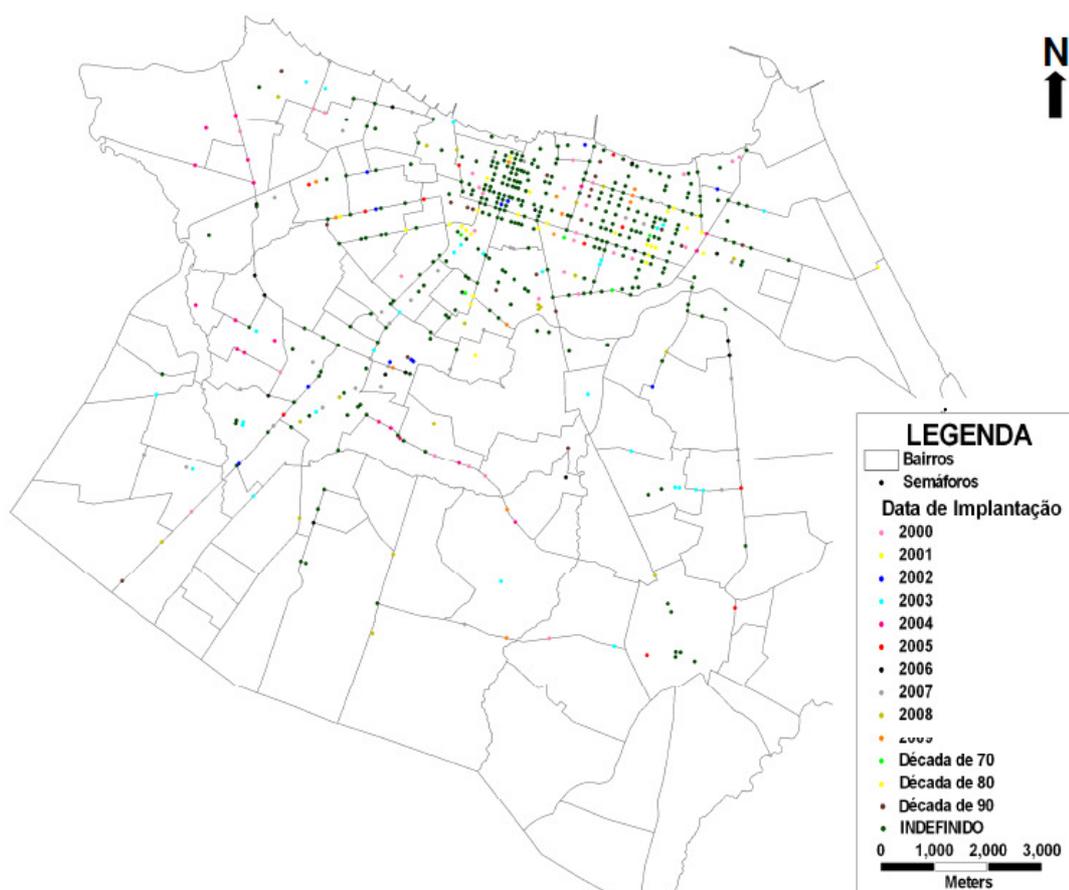


Figura 2.3: Data de implantação dos semáforos de Fortaleza

Percebe-se também ao analisar a Figura 2.3, que a maioria dos semáforos implantados na cidade não possuem data de deflagração definida. Atualmente, na região nordeste da cidade, onde se concentram os trechos viários mais congestionamentos, dentre outros problemas, os semáforos são, centralizados, em sua maioria, onde tem-se um maior controle sobre a operação em todos os períodos do dia. Na área central da cidade, os semáforos ainda são convencionais, ou seja, os tempos não são otimizados conforme o fluxo de veículos. De acordo com o Plano Diretor de Semáforos de Fortaleza (AMC, 2009), a rede semaforica da cidade, entre os anos de 2000 e 2009

apresentou um crescimento de mais de 50% em relação ao total de semáforos em 2000, tendo sido implantados em média 2 semáforos por mês.

De acordo com ITE (1999), desde a implantação dos primeiros semáforos, foram muitas as transformações, modificações técnicas, e melhorias no uso dos semáforos, ao longo dos anos, especialmente para promover maior fluidez no trânsito, devido ao crescimento do número de automóveis no começo do século XX.

1.3 FUNÇÕES DOS SEMÁFOROS

Segundo HOMBURGER *et al.* (1996) sinais de trânsito podem ser utilizados para regular o trânsito ou alertar, quando instalados segundo os critérios pré-estabelecidos podem oferecer vantagens específicas no controle do tráfego e na segurança. De acordo com ITE (1992) quando os sinais de trânsito são devidamente justificados, devidamente concebidos e funcionam efetivamente podem ser esperados muitos benefícios. HOMBURGER *et al.* (1996), ITE (1992), ROESS e MCSHANE (1998) e MANNERING (2009), são alguns dos autores que apontam as seguintes vantagens dos sinais de trânsito quando estes são corretamente implantados, ou seja:

- prever o movimento ordenado do tráfego;
- ordenar a circulação do tráfego através da atribuição adequada de direitos de passagem;
- reduzir a frequência de ocorrência de determinados tipos de acidentes ;
- aumentar a capacidade de controlar o tráfego da interseção;
- fornecer um meio de interromper o tráfego pesado para permitir o tráfego de outros, tanto para veículos e pedestres, para se inserir ou cruzar a via principal;
- prever o movimento quase contínuo do tráfego a uma velocidade desejada ao longo de uma rota determinada pela coordenação;
- permitir economia considerável sobre o controle manual.

- possível melhoria na capacidade
- possível redução do atraso

Segundo MANNERING (2009), semáforos não são de modo nenhum a solução perfeita para o atraso ou problema de acidente em um cruzamento. Semáforos com tempo mal dimensionados ou que não se justifique a implantação podem gerar um impacto negativo sobre o funcionamento do cruzamento. Além das vantagens citadas, são apontadas a seguir algumas desvantagens no caso de semáforos implantados ou operados indevidamente, como cita ITE (1992): “a instalação de semáforo, apesar dos critérios, pode ser: mal projetado, colocado de maneira ineficaz, indevidamente operado, ou manutenção inadequada”:

- provoca aumento do atraso total na interseção, além do consumo de combustível, especialmente durante os períodos de pico;
- provável aumento da frequência de certos tipos de acidentes como as colisões traseiras;
- quando mal localizados, podem causar atrasos desnecessários e promover o desrespeito;
- quando indevidamente programado causar demora excessiva, aumentando a irritação de motoristas e pedestres;
- provoca o uso de rotas menos adequadas pelos motoristas, em uma tentativa de evitar estes dispositivos, como as rotas por meio de bairros residenciais.
- causar interrupção à progressão do tráfego

Como pôde ser encontrado na literatura, e ao contrário de outras experiências, que afirmam que os semáforos reduzem os atrasos e os acidentes de trânsito, percebe-se que os semáforos implantados inadequadamente aumentam o número de certos tipos de acidentes de trânsito e do atraso veicular.

O aumento do atraso veicular em interseções semaforizadas é pesquisada há bastante tempo WEBSTER e COOBE (1966) estimaram que os atrasos gerados pelos semáforos da Grã-Betanha (Inglaterra, Escócia, País de Gales e Irlanda do Norte) representavam mais de um terço do tempo total das viagens, acumulando aproximadamente 100 milhões de horas veículos em fila, por ano. No caso brasileiro, o DENATRAN (1984) relatou que nas grandes cidades, cerca de 50% dos tempos de viagens e 30% do consumo de gasolina são gastos com veículos parados nos cruzamentos, aguardando a fase de verde do semáforo para prosseguir sua viagem

De acordo com ITE (1999), experiências indicaram que, embora a instalação de sinais possa resultar num decréscimo do número e da gravidade de colisões em ângulo reto, em muitos casos, podem resultar em um aumento de colisões traseiras. Além disso, a instalação de sinais pode não só aumentar o atraso global, mas também podem reduzir a capacidade do cruzamento. Desta forma, percebe-se a importância de uma avaliação criteriosa para o estudo de viabilidade de implantação semaforica em vias urbanas, analisando-se as condições de tráfego local e verificando, antes da instalação do dispositivo em campo, se o equipamento a ser implantado irá gerar os efeitos esperados, melhorando a segurança dos veículos e toda a operação da interseção.

SZASZ (1992) relata que os custos relativos à implantação, manutenção e operação de semáforos são elevados, além do custo anual no aumento dos atrasos. A Tabela 2.1 apresenta algumas alternativas à implantação de semáforos assim como as vantagens e desvantagens de cada uma, citado também por ANTP (1997).

Tabela 2.1: Comparação entre medidas alternativas a implantação de semáforos

MEDIDAS ALTERNATIVAS A IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Sinais de regulamentação	- Melhoria dos conflitos em interseções de baixo volume	- Pouco respeitados devido à falta de fiscalização e da consciência dos motoristas sobre o comportamento adequado no trânsito ocasionando a instalação de controles mais rígidos
Mini-rotatória	-Redução da velocidade - Melhoria da visibilidade - Aumento da capacidade - Separação dos movimentos - Reacomodação dos conflitos - Redução da probabilidade e da gravidade dos acidentes	- Veículos pesados não conseguem fazer o giro - Travessia de pedestres - Perda de capacidade quando o volume de veículos é elevado
Lombada	- Reduzido custo de implantação	- Aumento do ruído devido a: frenagem, redução da

- Redução da velocidade	velocidade, passagem pela lombada e aceleração
- Redução dos atropelamentos e de outros acidentes de trânsito, assim com das lesões causadas	- Dificuldade de escoamento da água pluviais
	- Aumento da poluição atmosférica e do consumo de combustível
	- Desvio de tráfego

1.4 COMPONENTES PARA AVALIAÇÃO DE IMPLANTAÇÃO

Alguns aspectos físicos e operacionais são considerados nos estudos relativos à implantação de semáforos, que vão desde visitas ao local analisado até levantamento de dados. Para um melhor entendimento das variáveis abordadas nos manuais que foram posteriormente analisados no Capítulo 4, serão apresentadas resumidamente algumas definições destas variáveis de acordo com *Highway Capacity Manual* – HCM (2000) e ROESS e MCSHANE (1998):

a) Volume: número total de veículos ou pessoas que passam em um ponto ou seção de uma via durante um determinado período de tempo, expressos em termos de períodos anuais, diários e horários.

b) Horários de pico: são os períodos críticos do dia que apresentam os maiores volumes de veículos, que dependem das características da via e da variabilidade do fluxo de veículos entre os dias da semana e os meses do ano, por exemplo.

c) Brechas: é o tempo em segundos, entre dois veículos sucessivos, baseado na passagem do pára-choque traseiro do primeiro veículo da frente e o pára-choque do segundo veículo em determinada seção da via.

d) Atraso: é o tempo de viagem adicional que pode atingir tanto os condutores como passageiros e pedestres para além dos níveis aceitáveis de uma determinada viagem. Atraso é definido ainda com sendo o tempo perdido no tráfego devido a atritos de trânsito e dispositivos de controle de tráfego, sendo classificado em:

- Atraso fixo: atraso que os veículos experimentam, independentemente da quantidade de volume de tráfego.

- Atraso operacional: atraso causado pela interferência de outros componentes do fluxo de tráfego ou decorrente do congestionamento, de manobras de estacionamento, de pedestres ou de operações de retorno.

- Atraso de parada: o tempo que um veículo não está em movimento;

- Atraso de viagem: diferença entre o tempo real necessário para percorrer uma trecho da via, e o tempo correspondente à velocidade média do tráfego sob condições descongestionadas. Inclui o atraso da aceleração e desaceleração do veículo, além de atraso quando o veículo está parado.

e) Incidentes de trânsito: um incidente é definido como qualquer evento não recorrente que causa uma redução anormal da capacidade da via. Estes eventos podem ser colisões, avarias nos veículos, derramamento mercadoria na pista, obras ou eventos especiais como, por exemplo, jogos, concertos ou qualquer outro evento que afeta significativamente a operação na via.

2.5 CRITÉRIOS PARA IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS

Os estudos envolvidos na tomada de decisão para implantação ou não de semáforos, abrangem uma série de fatores como recursos humanos e materiais. Todos estes requerem investimentos por parte dos órgãos executores de trânsito. Desta forma, é fundamental a utilização de uma metodologia que auxilie os atores envolvidos na decisão, evitando perdas e minimizando erros. Segundo ROESS e MCSHANE (1998) a avaliação para implantação de semáforos deve ser bastante criteriosa, pois seu custo é relativamente alto e o impacto negativo de sua aplicação equivocada é maior do que as que ocorrem em outros tipos de sinais, chegando a ponto de se avaliar a remoção de semáforos, por não mais apresentar as justificativas para sua permanência.

VILANOVA (2007) afirma que “infelizmente, até hoje, não existe nenhuma metodologia, suficientemente comprovada, que estabeleça uma relação de critérios confiáveis em que possamos nos apoiar para a correta implantação de semáforos. A não existência de manuais que explicitem de forma clara os critérios referentes à implantação de semáforos, provoca na maioria dos casos, decisões inapropriadas. Estes

manuais necessitam passar por um processo de modernização, acompanhando assim o crescimento das cidades ao longo dos anos”.

Contudo, além dos estudos realizados pelos profissionais da área, existe um fator que na maioria dos casos, sobrepõe os estudos técnicos, a força política exercida nos órgãos executores de trânsito brasileiros, onde muitos semáforos são implantados em períodos pré-eleitorais a fim de se garantir votos dos usuários. Ainda de acordo com VILANOVA (2007), uma das piores conseqüências de não se ter uma padronização de critérios é que fica-se à mercê de políticos demagogos que querem agradar a população sem se preocupar, realmente, se o semáforo vai diminuir ou aumentar o índice de acidentes.

WEBSTER e COBBE (1966) já definia três principais objetivos do controle feito por semáforos: reduzir os conflitos de tráfego e atraso, reduzir acidentes e economizar tempo quando interseções operadas por policiais. O primeiro desses objetivos é a justificativa mais adotada atualmente para sua implantação, a demora nos cruzamentos. TANNER *apud* WEBSTER (1962) relata que foram feitas diversas comparações do atraso em cruzamentos com e sem semáforo. A conclusão geral deste estudo foi de que é considerável o aumento da capacidade com o controle do tráfego feito por semáforo. A figura 2.4 mostra um exemplo típico da comparação das capacidades entre vias com e sem semáforo, onde as vias A e B não possuem semáforo e apresentam, respectivamente, boa visibilidade e visibilidade ruim e via hipotética tipo T com semáforo.

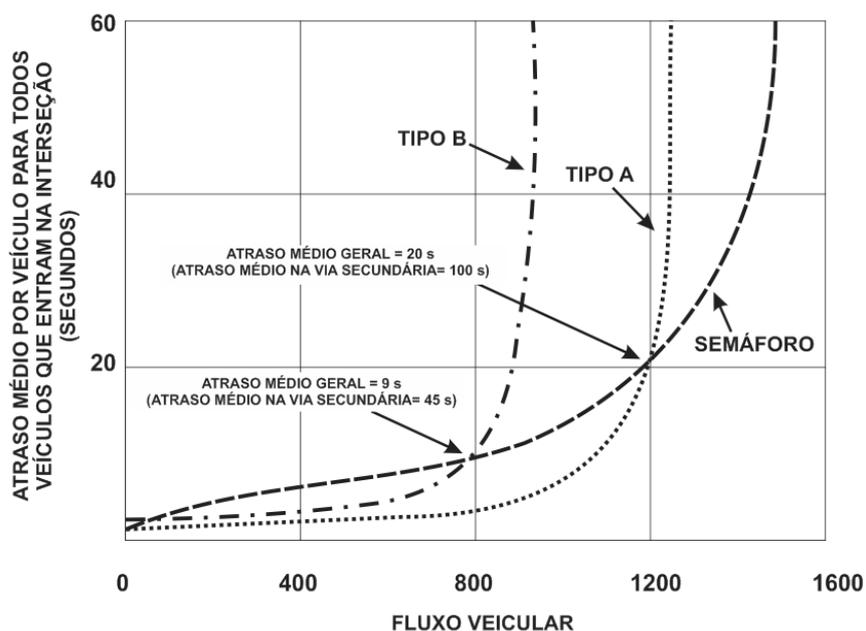


Figura 2.4: Curva atraso x fluxo veicular para uma interseção hipotética tipo T. Fonte: Tanner (1962)

Analisando a figura 2.4, percebe-se que em uma situação com interseções que possuem valores muito baixos de fluxo veicular, o atraso da interseção com semáforo é superior às sem semáforo. Contudo, observa-se também que nas situações de tráfego intenso, as interseções que possuem semáforo apresentam maior capacidade e conseqüentemente menor atraso quando comparada às interseções sem semáforo.

Além das considerações feitas por TANNER *apud* WEBSTER (1966), acerca da relação entre volume e atraso, tem-se a figura 2.5, adaptada do HCM (TRB, 2000) onde são relacionados os volumes veiculares de vias principais, secundárias e o tipo de controle sendo possível verificar recomendações de possíveis soluções para determinados níveis volumes de tráfego.

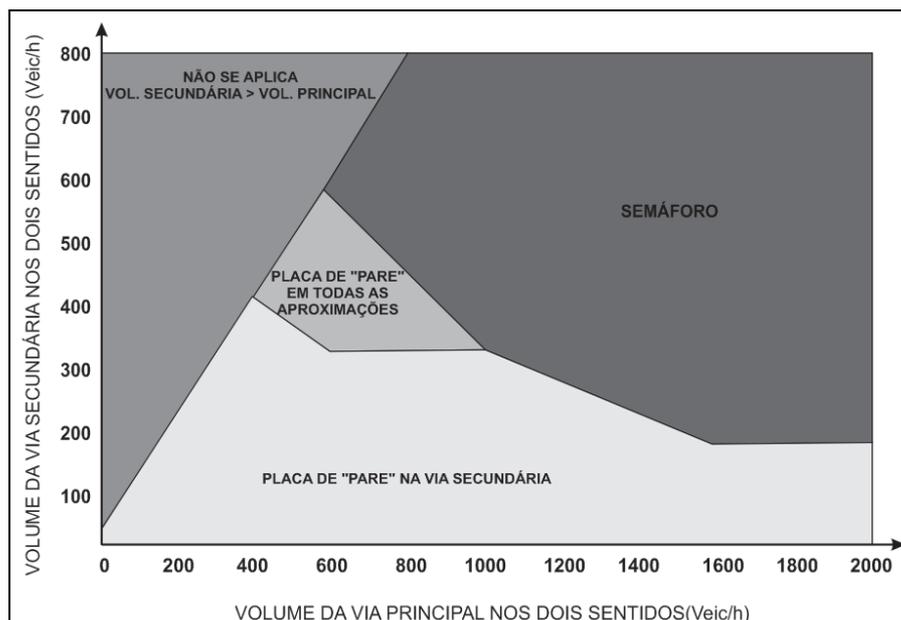


Figura 2.5: Relação entre o fluxo veicular e tipo de controle. Fonte: HCM (TRB, 2000)

Destaca-se ainda analisando a figura 2.5 a situação de controle com placa “PARE” em todas as aproximações de uma interseção, muito comum nos EUA e não considerada no Código de Trânsito Brasileiro.

Existem no mundo diversas metodologias para implantação de semáforos, na maioria elaboradas de acordo com a realidade de cada país, em outros são adaptadas e passam a ser utilizadas em países com características diferentes dos países que as originaram. Neste trabalho serão analisados os critérios considerados nas metodologias de implantação de semáforos da Argentina, Austrália, Escócia, Estados Unidos, além da metodologia brasileira do DENATRAN.

Inicialmente serão descritos os critérios comuns às metodologias analisadas, destacando suas semelhanças e diferenças e posteriormente serão apresentados aqueles mais específicos de cada metodologia.

2.5.1 Critério: Volume Veicular

Em todas as metodologias pesquisadas, o critério volume de veicular é relatado como um dos principais requisitos para implantação de semáforos. A análise é realizada considerando o volume da via principal separado da via secundária, relacionando-o com a quantidade de faixas de cada via e a localização das mesmas na região. Dentre as

metodologias analisadas, a Americana (FHWA, 2003) e DENATRAN (1984) consideram os mesmos valores veiculares mínimos para implantação de semáforos, o que pode ser constatado observando-se a coluna referente a 100% na Tabela 2.2 e os valores constantes na Tabela 2.3.

Tabela 2.2: Metodologia Americana - Fluxo veicular mínimo

Fluxo veicular mínimo									
Número de faixas em cada aproximação		Fluxo horário na via preferencial (total de todas as suas aproximações)				Fluxo horário na aproximação mais carregada da via não preferencial.			
Via preferencial	Via não preferencial	100%	80%	70%	56%	100%	80%	70%	56%
1	1	500	400	350	280	150	120	105	84
2 ou mais	1	600	480	420	336	150	120	105	84
2 ou mais	2 ou mais	600	480	420	336	200	160	140	112
1	2 ou mais	500	400	350	280	200	160	140	112

Tabela 2.3: Metodologia do DENATRAN - Volumes veiculares mínimos

Nº de faixas de tráfego por aproximação		Veículos por hora, na preferencial, nos dois sentidos	Veículos por hora, na secundária, na aproximação mais pesada.
Preferencial	Secundária		
1	1	500	150
2 ou mais	1	600	150
2 ou mais	2 ou mais	600	200
1	2 ou mais	500	200

Os valores referentes às colunas de 80%, 70% e 56% do fluxo horário da metodologia Americana (Tabela 2.2), são adotados nos seguintes casos:

- 80% - as condições em que o alto volume de veículos e a dificuldade dos veículos provenientes da via não preferencial de se inserir ou cruzar a via preferencial não são o principal motivo para implantação de semáforo e

onde uma análise mostre que não são possíveis outras soluções para redução dos conflitos;

- 70% - nos casos em que o principal motivo para implantação é o alto volume de veículos ou a dificuldade dos veículos provenientes da via não preferencial de se inserir ou cruzar a via preferencial são o principal motivo para implantação e onde for verificada que a velocidade permitida na via preferencial ou se sua velocidade 85 percentil exceder 70 km/h ou se a interseção estiver localizada em uma área urbanizada em uma comunidade isolada com uma população inferior a 10.000 habitantes;
- 56% - quando as condições expostas nos casos considerados no percentual de 80 e quando for verificada que a velocidade permitida na via preferencial excede 70 km/h ou se a interseção estiver localizada em uma área urbanizada de uma comunidade isolada com uma população inferior a 10.000.

As metodologias argentina, australiana e escocesa, consideram valores diferenciados para os volumes veiculares mínimos. Como pode ser visualizado na Tabela 2.4, a metodologia argentina além da referência ao número de faixas da via preferencial e da secundária, relaciona a localização das vias em área urbana ou semi-urbana, nesta análise são considerados dez quaisquer intervalos de uma hora de um dia típico.

Tabela 2.4: Metodologia Argentina - Relação número de faixas e fluxo veicular mínimo para o primeiro requisito

Número de faixas		Fluxo horário na via preferencial (soma de ambos sentidos)		Fluxo horário nas vias não preferenciais (aproximação mais carregada)	
Preferencial	Não preferencial	Urbano	Semi-urbano	Urbano	Semi-urbano
1	1	300	200	100	75
2 ou mais	1	400	300	100	75
2 ou mais	2 ou mais	400	300	150	100
1	2 ou mais	300	200	150	100

A metodologia australiana considera para este critério de fluxo horário, a análise de apenas quatro períodos de uma hora de um dia típico. É indicada a implantação de semáforos quando o fluxo de veículos da via principal exceder 600 veículos/hora em ambas as direções e o fluxo de veículos da aproximação de maior volume da via secundária for superior a 200 veículos/hora, não fazendo relação a quantidade de faixas das vias analisadas. A metodologia escocesa considera o mesmo período de quatro horas de análise da metodologia australiana e também não relaciona o número de faixas, contudo assemelha-se a metodologia argentina ao considerar a localização das vias, como percebe-se na Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Metodologia Escocesa - Fluxos horários mínimos

Tipo da região	Fluxo médio dos quatro intervalos de uma hora mais carregados durante um dia típico (veículos/h)	
	Soma de todas as aproximações da interseção	Soma das contribuições das vias não preferenciais
Grande centro urbano	500	150
Suburbana e pequenos centros urbanos	400	125
Outras regiões	300	100

Analisando-se este critério de fluxos horários mínimos, em todas as metodologias analisadas, conclui-se que existem semelhanças nos valores mínimos considerados, em algumas os períodos de análise são mais abrangentes, de oito a dez horas, em outras são consideradas apenas o período de quatro horas, sendo a metodologia do DENATRAN a única que considera a média das oito horas de maior volume.

Os curtos períodos de análise podem acarretar em avaliações equivocadas uma vez que, dependendo das características da interseção, pode-se ter períodos críticos por um curto intervalo, onde o volume máximo ocorre em intervalos pequenos, comprometendo a análise e onde outras soluções poderiam ser vislumbradas além de semáforos. Visualiza-se também a importância de relacionar, além do número de faixas, a localização das vias, uma vez que nos grandes centros urbanos existem maiores

volumes veiculares, ocorrem conseqüentemente, maiores conflitos de tráfego do que em vias localizadas em regiões semi-urbanas.

2.5.2 Critério: Interrupção do Tráfego Contínuo

Este critério é aplicado quando a principal razão para implementação de semáforo é a dificuldade dos veículos provenientes da via não preferencial de se inserir ou cruzar a via preferencial, quando os mesmos sofrem atrasos ou riscos excessivos. Como acontece com relação ao primeiro critério de volume veicular, a metodologia americana e a do DENATRAN consideram os mesmos valores de volume veicular mínimo, assim como o intervalo de análise destes volumes (oito intervalos de uma hora). Para a metodologia americana são consideradas os mesmos condicionantes para a análise dos valores correspondentes as colunas de 80, 70 e 56 por cento do critério de volume veicular.

Tabela 2.6: Metodologia Americana - Interrupção de corrente de tráfego contínua

Interrupção de corrente de tráfego contínuo									
Número de faixas em cada aproximação		Fluxo horário na via preferencial (total de todas as suas aproximações)				Fluxo horário na aproximação mais carregada da via não preferencial.			
Via preferencial	Via não preferencial	100%	80%	70%	56%	100%	80%	70%	56%
1	1	750	600	525	420	75	60	53	42
2 ou mais	1	900	720	630	504	75	60	53	42
2 ou mais	2 ou mais	900	720	630	504	100	80	70	56
1	2 ou mais	750	600	525	420	100	80	70	56

Tabela 2.7: Metodologia do DENATRAN - Interrupção do tráfego contínuo

Nº de faixas de tráfego por aproximação		Veículos por hora, na preferencial, nos dois sentidos	Veículos por hora, na secundária, na aproximação mais pesada.
Preferencial	Secundária		
1	1	750	75
2 ou mais	1	900	75
2 ou mais	2 ou mais	900	100
1	2 ou mais	750	100

A metodologia argentina, indica que a análise do critério interrupção do tráfego contínuo seja realizada nos dez intervalos de uma hora de maior volume e assim como acontece no critério de volume veicular, relaciona a localização da via com a o número de faixas, conforme Tabela 2.8.

Tabela 2.8: Metodologia Argentina - Relação entre o número de faixas e o fluxo veicular

Número de faixas		Fluxo horário na via preferencial (soma de ambos sentidos)		Fluxo horário nas vias não preferenciais (aproximação mais carregada)	
Preferencial	Não preferencial	Urbano	Semi-urbano	Urbano	Semi-urbano
1	1	500	350	50	35
2 ou mais	1	600	420	50	35
2 ou mais	2 ou mais	600	420	67	46
1	2 ou mais	500	350	67	46

A metodologia australiana considera para este critério de interrupção do tráfego contínuo, a análise de quatro períodos de uma hora, de um dia típico e as seguintes situações: onde o fluxo de veículos da via principal for superior a 900 veículos/hora em ambas as direções, e o fluxo de veículos da aproximação de maior volume da via secundária for superior a 100 veículos/hora e quando a velocidade dos veículos da via principal ou a dificuldades de visibilidade provoquem atrasos injustificáveis ou apresentem perigo e não há nas proximidades uma instalação de fácil acesso aos veículos da via secundária.

Já a metodologia escocesa, pondera que para implantação do semáforo deve-se considerar a soma dos fluxos horários de todas as aproximações da interseção deve ser superior a 1200 veículos/h, dos quais pelo menos 75veiculos/h devem pertencer às vias não preferenciais onde exista a placa “Pare”, ou quando não existe placa, pelo menos 100 veículos/h.

2.5.3 Critério: Fluxo de Pedestres

Aplicado nos casos em que o grande fluxo de veículos de uma via causa excessivo tempo de espera para os pedestres que desejam atravessá-la. A metodologia

americana, indica que deve-se observar o atendimento simultâneo dos dois requisitos discriminados a seguir:

- O primeiro informa que o volume de pedestres que atravessam a via numa seção de meio de quadra, ou junto a uma interseção, durante quatro quaisquer intervalos de uma hora de um dia típico seja igual ou superior a 100 pedestres/hora ou, então, seja igual ou superior a 190 pedestres/hora durante qualquer dos intervalos de uma hora. Quando a análise é feita em interseções, deve-se somar os volumes de pedestres em todas as travessias da via mais crítica.
- O segundo requisito informa que durante cada um dos mesmos intervalos de uma hora em que o primeiro requisito for atendido, existem menos que 60 brechas/hora na corrente de tráfego para permitir a travessia de pedestres. É indicado a aplicação deste critério apenas em locais que tenham distância superior a 90 metros ao semáforo mais próximo. Nos casos em que a velocidade média de travessia dos pedestres for inferior a 1,2 m/s, os valores limites apontados no primeiro requisito podem ser diminuídos até sua metade.

A metodologia americana também considera com requisito para a implantação de semáforo, quando um estudo da frequência de brechas da corrente de trânsito, constatar que o número de brechas não é suficiente para a travessia das crianças, ou seja, o número de brechas é inferior ao número de minutos no mesmo período e que, além disso, existe um número mínimo de 20 estudantes durante o período de uma hora atravessando a via.

As metodologias da Argentina, Austrália, Escócia e DENATRAN, diferentemente da metodologia dos Estados Unidos, relacionam o fluxo de pedestres com o fluxo veicular. Na metodologia argentina considera-se para análise dez intervalos quaisquer de uma hora de um dia típico, onde o fluxo veicular supera 450 veículos/h e o fluxo de pedestres supera 150 pedestres/h na travessia com maior volume. Já a metodologia australiana indica a análise durante quatro períodos de uma hora de um dia típico, onde o fluxo de veículos da via principal deve ser de 600 veic/hora em ambas as direções (ou em locais onde há canteiro central com pelo menos 1,2 metros, o fluxo de

veículos da via principal for superior a 1000 veículos/hora em ambos os sentidos), e onde fluxo de pedestres na via principal for superior a 150 pedestres/hora. Para locais onde a velocidade correspondente ao 85 percentil for superior a 75 km/h, os valores acima são reduzidos para 450 veículos/hora para o fluxo da via principal sem canteiro central e 750 veic/hora com canteiro central.

A metodologia escocesa considera a aplicação deste critério em interseções onde os pedestres tenham dificuldades de travessia e onde não cabe a instalação de um semáforo, pelo critério volume veicular mínimo. A implantação de uma travessia de pedestres semaforizada, dotada de botoeira de pedestres, numa seção da via próxima à interseção, pode representar a melhor solução. Observa-se ainda que, caso, não seja possível o semáforo numa seção fora da interseção, deve-se avaliar a conveniência de rebaixar os valores exigidos no critério de volumes veiculares, em relação às vias não preferenciais, para valores até 50% inferiores aos originais e providenciar, na interseção, ou estágios específicos para pedestres ou travessias paralelas.

Já a metodologia do DENATRAN considera as seguintes situações: os valores de 250 de pedestres por hora em ambos os sentidos de travessia na via de análise, 600 veículos/hora nos dois sentidos da via quando a mesma é de duplo sentido e não há canteiro central ou o canteiro central tem menos de 1 m de largura e 1000 veic/h nos dois sentidos da via quando a mesma dispõe de canteiro central de no mínimo 1m de largura.

Concluindo-se a análise deste critério de fluxo de pedestres, visualiza-se que a metodologia americana é a única, dentre as demais estudadas, que não relaciona o fluxo veicular ao fluxo de pedestres. A metodologia escocesa não analisa os valores mínimos do fluxo de pedestres a ser considerado neste critério e a metodologia do DENATRAN é que apresenta os maiores valores de volume de pedestres para justificar a implantação de semáforos.

De acordo com ITE (1999), os sinais são importantes para os pedestres que atravessam no meio do quarteirão em vias com maior velocidade, ou em cruzamentos altamente congestionados e em áreas onde os jovens e os idosos estão tentando atravessar as ruas. É relatado ainda, que os critérios para implantação devem ser julgados caso a caso, deve-se avaliar não somente a quantidade de pedestres que realiza

a travessia no local atualmente, mas verificar a possibilidade de crescimento da demanda futura com a instalação de uma nova fábrica, construção de um parque, por exemplo.

2.5.4. Critério: Índice de Acidentes de Trânsito

Este critério é aplicado nos casos em que a principal razão para a implantação do semáforo é a gravidade e frequência dos acidentes de trânsito. A metodologia americana, considerada a ocorrência simultânea de três condições para a possibilidade de implantação do semáforo. A primeira aborda a situação em que um conjunto de alternativas já foram aplicadas anteriormente e não se conseguiu obter redução na frequência dos acidentes. A segunda condição recai sobre a ocorrência de cinco ou mais acidentes, do tipo que podem ser corrigidos por semáforo, nos últimos 12 meses, sendo que cada acidente ou causou vítimas ou acarretou em danos materiais, ou resultou em ambos os danos. A terceira condição ocorre quando durante no mínimo oito quaisquer intervalos de uma hora de um dia típico, são registrados os valores correspondentes a 80% nos critérios de volume veicular e interrupção do tráfego contínuo ou quando o volume de pedestres corresponder a no mínimo 80% dos valores apresentados no critério de fluxo de pedestres

A metodologia australiana considera para este critério, o acontecimento de três ou mais acidentes com vítimas por ano no cruzamento em análise, quando estes poderiam ser evitados com a implantação de semáforo e o fluxo de tráfego da via principal e da secundária atendam em 80% dos critérios de volumes veiculares e interrupção do tráfego contínuo. O semáforo só deve ser implantado quando um dispositivo mais simples não reduzir a taxa de acidentes.

Com relação as metodologias escocesa e do DENATRAN, estas consideram como requisito para implantação de um semáforo, a ocorrência de no mínimo cinco acidentes com vítima durante o período de um ano, desde que os acidentes sejam corrigíveis por semáforo e quando foram adotadas medidas menos custosas e menos radicais e não foi possível reduzir o número de acidentes.

Concluindo-se, tem-se que as metodologias americana, escocesa e do DENATRAN consideram o mesmo número de acidentes e o período de 12 meses de

análise. A metodologia australiana apesar de também considerar o período de 12 meses de análise, leva em consideração a ocorrência de apenas três acidentes. Já a metodologia argentina não apresenta critério relativo aos acidentes de trânsito.

2.5.6. Critério: Compactação de Pelotões e Melhoria do Sistema Progressivo

Para este critério, a metodologia americana justifica a implantação do equipamento semafórico quando existir a necessidade de compactar pelotões de veículos para atravessar um sistema de tráfego coordenado. A possibilidade de implantação do dispositivo por este critério deve atender a dois critérios simultaneamente. O primeiro considera que em uma via de mão única, ou em uma via em que o trânsito é predominante em uma direção, os semáforos vizinhos estão tão afastados que não conseguem garantir o grau adequado de compactação dos pelotões de veículos, podendo ser conseguido através da operação conjunta dos semáforos existentes com o novo semáforo. Já o segundo critério considera os casos em que numa via de mão dupla, os semáforos vizinhos não garantem adequado grau de compactação dos pelotões, que poderá ser conseguido através da operação conjunta dos semáforos existentes com um novo semáforo.

Ainda em relação à metodologia americana, a mesma justificar a implantação de semáforos quando se deseja contribuir para a concentração e organização das correntes de tráfego na rede a que o novo semáforo será coordenado. Também deve ser avaliada a necessidade de implantação do dispositivo por este critério, quando for atendido pelo menos um dos seguintes critérios: o volume total de veículos que passam pela interseção, atualmente ou previsto a curto prazo, durante o mesmo período de uma hora, é igual ou superior a 1000 veículos durante o período de pico de um dia típico e, além disso, os fluxos previstos para um horizonte de cinco anos, estimados através de um estudo de engenharia, atendem, pelo menos, a um dos três primeiros critérios. O segundo recai sobre os casos em que o volume total de veículos que passam pela interseção atualmente, ou sua previsão para curto prazo, é igual ou superior a 1000 veículos em cada um de cinco quaisquer intervalos de uma hora pertencentes a um sábado ou domingo.

A metodologia escocesa também traz como critério para a instalação de semáforo a coordenação e a formação de pelotões, destacando que a implantação pode

ser benéfica para a formação de pelotões e para a coordenação entre semáforos posicionados em intervalos de até 300 metros.

A metodologia do DENATRAN considera também este critério para a melhoria do sistema progressivo dos semáforos, quando trata-se de redes semaforicas, onde melhorando o sistema de progressão dos semáforos observa-se uma melhor fluidez do tráfego, aumento de brechas para as vias secundárias e para os pedestres além de redução de congestionamentos. Considera-se ainda os benefícios da implantação do equipamento para o controle de áreas congestionadas, aplicados nos casos de entrelaçamentos complexos e aproximação com capacidade inferior a demanda, com formação de fila externa e bloqueio da interseção anterior.

Além dos critérios considerados pelas metodologias analisadas como principais para a implantação de semáforos como: volumes veiculares e de pedestres e acidentes de trânsito, tem-se como critério nas metodologias americana, escocesa e brasileira a implantação de semáforo em vias que já possui semáforos implantados anteriormente, de forma a melhorar a coordenação, facilitar a inserção de veículos provenientes de vias secundárias, assim como a redução de conflitos, controle da velocidade com a formação de pelotões e redução do atraso. Já as metodologias argentina e australiana não incluem este critério para análise de implantação de semáforo.

Segundo MANNERING (2009), dos muitos fatores que aumentam o atraso nos sinais, um dos mais influentes é o padrão de chegada dos veículos em cada aproximação do cruzamento. Este padrão de chegada é fortemente influenciado pelo nível de coordenação dos sinais ao longo da via. Uma coordenação ideal serial aquela em que os sinais fossem planejados para que a maior quantidade de veículos chegue ao cruzamento quando a indicação do sinal estiver verde.

2.5.7 Outros Critérios

Outros critérios são considerados, mais especificamente por cada uma das metodologias analisadas, estes estão relacionados a seguir:

- a) Metodologia Americana: esta metodologia considera, além da análise do volume veicular em oito intervalos de uma hora de um dia típico, o volume

das quatro horas e da hora de pico, onde deve-se considerar a possibilidade de implantação caso o ponto correspondente ao volume de veículos da via principal e secundária da interseção analisada cair acima das linhas limites do gráfico da figura 2.6 que retrata a combinação de número de faixas existente na via principal e secundária, o critério é satisfeito, caso o ponto caia abaixo da linha limite do gráfico o critério não é satisfeito.

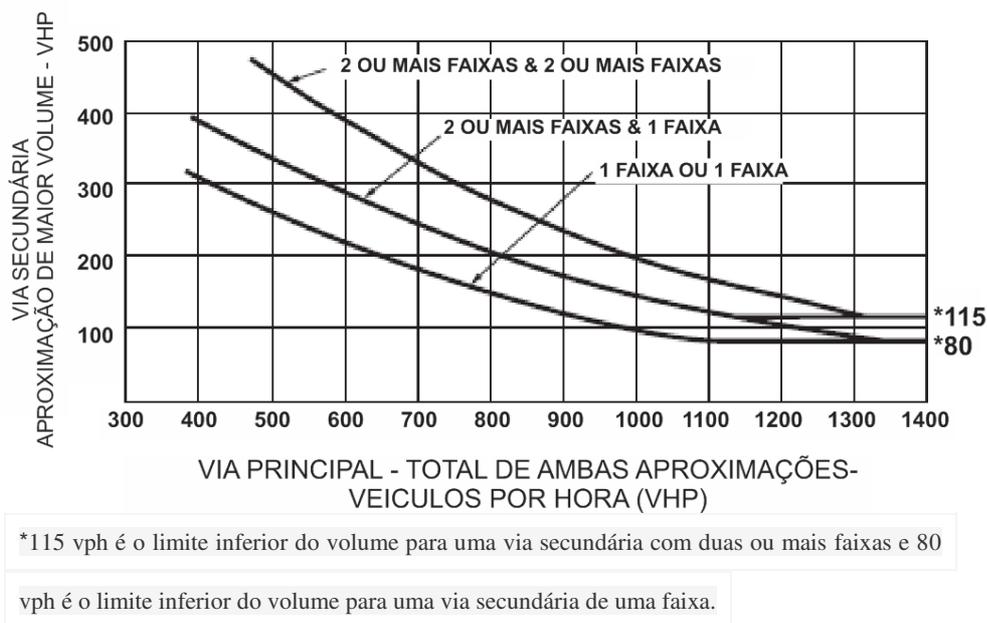
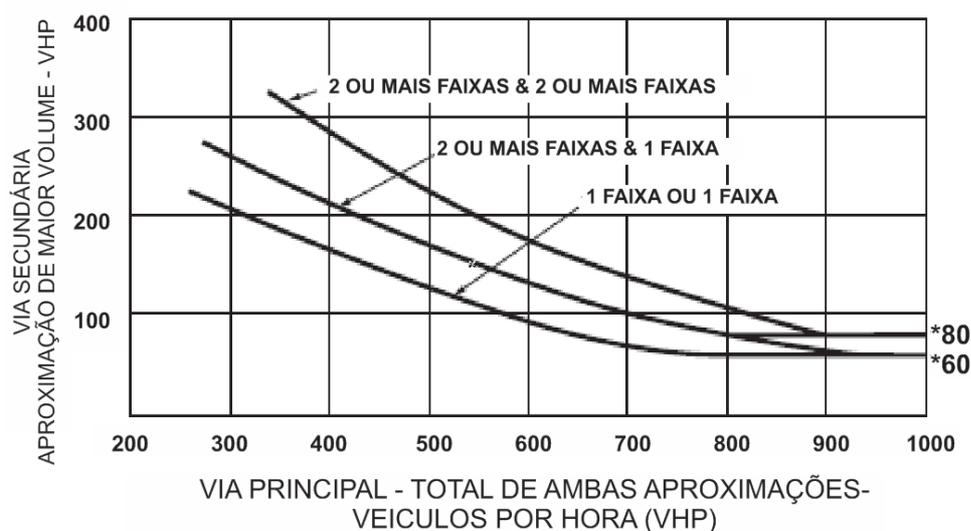


Figura 2.6: Relação entre o volume veicular das vias principal e secundária (FHWA, 2003)

É considerado ainda para este critério o caso particular em que a velocidade permitida na via preferencial excede a 70 km/h, ou se a interseção estiver localizada numa área isolada, com uma população inferior a 10.000 habitantes, utiliza-se a Figura 2.7 para avaliar a necessidade de implantação do semáforo.



*80 vph é o limite inferior do volume para uma via secundária com duas ou mais faixas e 60 vph é o limite inferior do volume para uma via secundária de uma faixa.

Figura 2.7: Relação entre o volume veicular das vias principal e secundárias para os casos específicos em relação a velocidade (FHWA, 2003)

Já no critério volume veicular da hora de pico é considerado os casos em que a principal razão para a implantação de um semáforo são as condições de tráfego onde, durante um período mínimo de uma hora de um dia típico, o veículos da via não preferencial sofrem um tempo de espera excessivo para conseguir se inserir ou cruzar a via preferencial. Este critério deve ser aplicado somente em casos não freqüentes em locais que apresentem um comportamento de tráfego diferenciado, em que curtos intervalos de tempo seja constatado um aumento significativo do volume veicular, como regiões com grande concentração de pólos geradores de viagens.

Também deve ser considerada a possibilidade da implantação de um semáforo numa interseção se um estudo de engenharia concluir que é atendido, pelo menos, uma das duas condições descritas a seguir.

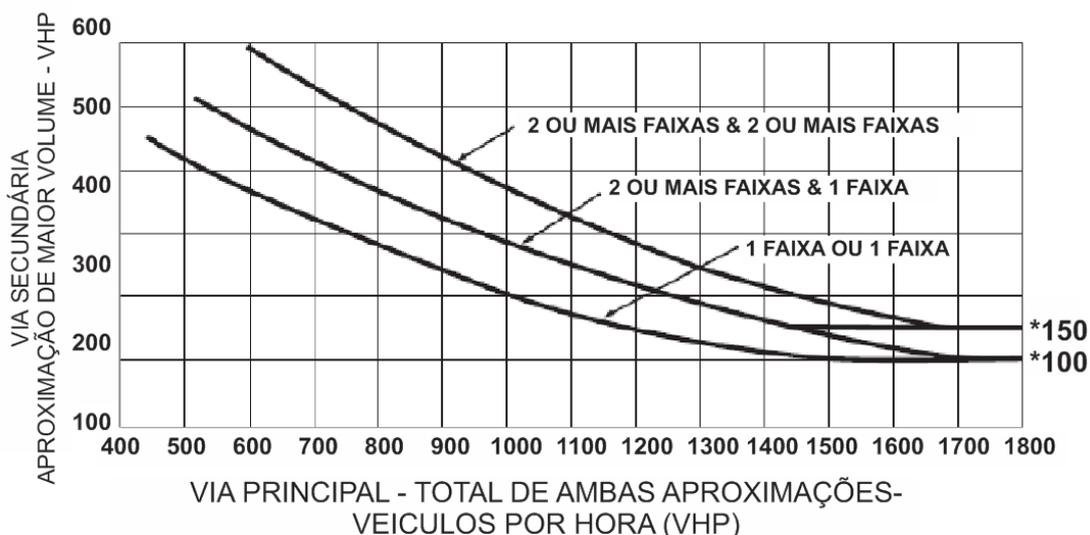
- a) Primeira condição - três requisitos seguintes são cumpridos simultaneamente durante quaisquer quatro intervalos consecutivos de 15 minutos de uma hora de um dia típico.
 - Primeiro requisito - O tempo total de espera sofrido pelos veículos numa aproximação de uma via não preferencial, controlada por uma placa

“Pare” ou “Dê a preferência”, é igual ou superior a 4 veículos/hora no caso de possuir apenas uma faixa de rolamento e 5 veículos/hora se comportar duas ou mais faixas.

- Segundo requisito - O volume medido na mesma aproximação e no mesmo intervalo em que a primeira condição é atendida é igual ou superior a 100 veículos/hora no caso de existir apenas uma faixa de rolamento ou 150 veículos/hora se houverem duas ou mais faixas.
- Terceiro requisito - O volume total de veículos que passam pela interseção, durante o mesmo período de uma hora em que a primeira condição é atendida, é igual ou superior a 650 veículos no caso de interseções com três aproximações ou 800 veículos se houver quatro ou mais aproximações.

b) Segunda condição - Na Figura 2.8, o ponto correspondente ao volume veicular das vias principal e secundária da interseção analisada cair acima da curva que retrata a combinação de número de faixas existente. Na Figura 2.8, o eixo das abscissas se refere à soma do fluxo horário de todas as aproximações da via preferencial enquanto que o eixo das ordenadas corresponde ao fluxo horário de veículos da aproximação mais carregada das vias não preferenciais.

O período de uma hora escolhido pode ser formado por quaisquer quatro intervalos consecutivos de 15 minutos de um dia típico.

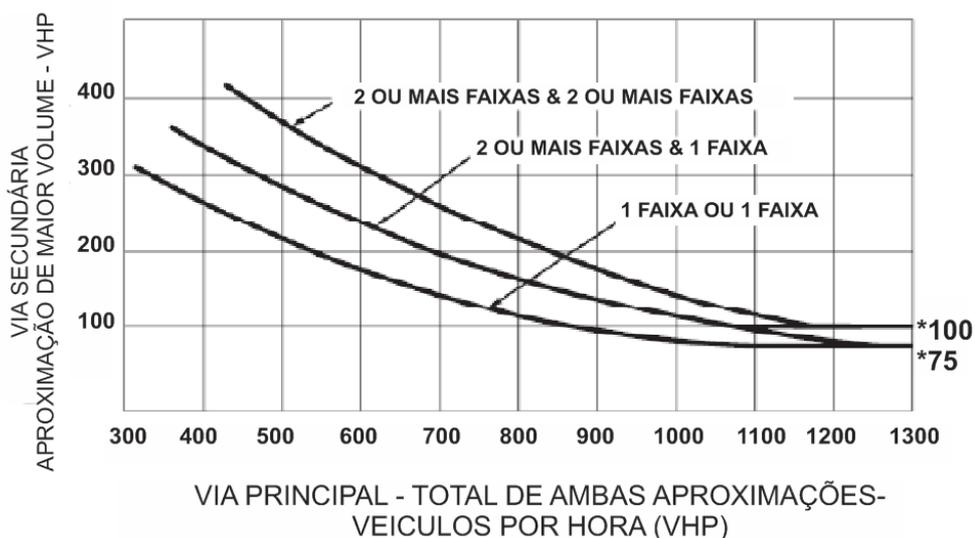


*150 vph é o limite inferior do volume para uma via secundária com duas ou mais faixas e 100

vph é o limite inferior do volume para uma via secundária de uma faixa.

Figura 2.8: Relação entre o volume veicular das vias principal e secundária (FHWA, 2003)

Neste critério, também é considerado o caso particular em que a velocidade permitida na via preferencial exceder a 70 km/h, ou se a interseção estiver localizada numa área isolada, com uma população inferior a 10.000 habitantes, utiliza-se a Figura 2.9 a seguir:



*100 vph é o limite inferior do volume para uma via secundária com duas ou mais faixas e 75

vph é o limite inferior do volume para uma via secundária de uma faixa.

Figura 2.9: Relação entre o volume veicular das vias principal e secundárias para os casos específicos em relação a velocidade (FHWA, 2003)

b) Metodologia argentina: esta metodologia considera ainda como critérios para implantação de semáforos i) a categoria da via preferencial onde é feita a separação das vias em urbana ou semi-urbana de acordo com as características das edificações, atividades comerciais e o número de habitantes; ii) determinação da velocidade máxima regulamentada nas vias que formam a interseção, onde indica-se a possibilidade de implantar semáforo quando a velocidade máxima das vias analisadas for igual ou inferior a 60 km/h; iii) caracterização do local onde se pretende instalar o semáforo, feita através de levantamentos de aspectos físicos, circulação viária e uso do solo; iv) determinação do fluxo na hora pico, indicando-se a realização de pesquisas volumétricas em todas as aproximações da interseção e v) que trata a determinação do fluxo horário de trânsito equivalente, que relaciona a quantidade de veículos pesados e o fator hora pico das vias que compõem a interseção.

c) Metodologia australiana: esta metodologia realiza ainda considerações a cerca da combinação de critérios, considerando casos excepcionais, em que um semáforo pode ser implantado quando um dos critérios não é satisfeito, mas quando dois ou mais critérios: volume veicular, interrupção do tráfego contínuo e fluxo de pedestres são satisfeitos em 80% ou mais que os valores indicados.

d) Metodologia escocesa: considera também a possibilidade da implantação de semáforo para substituir a operação de agentes de trânsito, em locais que os mesmos executem, constantemente, o direito de passagem das correntes de trânsito conflitantes de uma interseção durante, no mínimo, duas horas por dia e os casos de interseções que apresentam conflitos em curtos períodos de tempo, em que os condutores sofrem atraso ou perigo, indica-se a instalação de semáforo de tempo parcial desde que os volumes mínimos do critério de volume veicular e interrupção de tráfego contínuo sejam obedecidos durante o período de conflito.

e) Metodologia do DENATRAN: esta metodologia considera ainda os seguintes critérios: i) volumes conflitantes de interseções com cinco ou mais

aproximações, onde justifica-se a implantação de semáforo neste caso quando o volume total da soma de todas as aproximações for de no mínimo 800 veículos por hora, excluindo-se a possibilidade de transformar a interseção a uma equivalente a 4 aproximações; ii) combinação de critérios, considerado nos casos em que não ocorram os critérios: volume veicular, interrupção do tráfego contínuo, volumes conflitantes de interseções com cinco ou mais aproximações, fluxo de pedestres e acidentes de trânsito, em sua totalidade, a combinação de critérios será aplicada e será indicada a implantação de semáforo quando dois dos critérios descritos forem observados em no mínimo 80%, ou quando três destes forem observados em no mínimo 70%; iii) considerada os casos de situações locais e específicas desde que a implantação do dispositivo seja justificada pelo técnico responsável, além de considerações acerca da distância de visibilidade, nos casos em que justifica-se a implantação por problemas de má visibilidade os critérios anteriores (volume veicular, interrupção do tráfego contínuo, volumes conflitantes de interseções com cinco ou mais aproximações, fluxo de pedestres e acidentes de trânsito) devem ser atendidos 80% dos valores mínimos e para os casos de boa visibilidade os critérios anteriores devem ser atendidos em 120% dos valores mínimos.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a revisão bibliográfica das metodologias estudadas neste capítulo, foi possível perceber que os critérios de instalação de semáforos das metodologias estudadas possuem diferenças significativas uma vez que foram formulados de acordo com as características locais de cada região. Em suma, os critérios relativos a acidentes de trânsito, tratam apenas da quantidade não relacionando a gravidade dos acidentes na decisão de implantação.

Questões como a visibilidade, largura das faixas, existência de canteiro central, obstruções dentre outros não são considerados em grande parte dos materiais pesquisados. Segundo VILANOVA (2007), em nenhum critério sopesam-se fatores tais como distância de visibilidade dos veículos que chegam pelas vias não preferenciais, rampas, largura de faixas, mobiliário urbano, vegetação, etc. É conhecido

que as características físicas da interseção e de seu entorno constituem elemento chave para se decidir sobre a necessidade, ou não, da implantação de um novo semáforo.

Em nenhuma das metodologias analisadas é abordada a utilização de mecanismos que auxiliem a tomada de decisão, de estudos comparativos preliminares à implantação do dispositivo. Critérios adaptados de outros países, aplicados a realidades diferentes de tráfego podem ocasionar em implantações equivocadas, o que acarreta a longo prazo em desobediência da sinalização, aumento do número de certos tipos de acidentes de trânsito dentre outras problemáticas.

Os problemas encontrados atualmente nos órgãos executores de trânsito brasileiros, como a falta de profissionais capacitados e os obstáculos encontrados para a implantação de medidas alternativas a implantação de semáforos, aliado a ausência de estudos com critérios adequados que contribuam para a tomada de decisão de dispositivos de controle de tráfego tornam a decisão de implantação de semáforos uma atividade que é executada sem o comprometimento que a decisão exige.

CAPÍTULO 03

ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DE SEMÁFOROS E MODELOS DE SIMULAÇÃO

3.1 INTRODUÇÃO

Iniciando este capítulo, será realizada uma revisão bibliográfica sobre as estratégias de controle dos semáforos, destacando os modos de operação utilizados, o modelo de otimização *TRANSYT* (CRABTREE,1999), além dos modelos de simulação utilizados na engenharia de tráfego. Posteriormente serão feitas considerações sobre o microssimulador *INTEGRATION* (RAKHA, 2002)

3.2 ESTRATÉGIA OPERACIONAL DO SEMÁFORO

Após a decisão de implantação do semáforo, através dos critérios descritos no Capítulo 02, a etapa a seguir contempla a análise das condições de operação desejáveis para cada cruzamento, a fim de especificar os recursos que o controlador deverá ter para comandar os semáforos, de acordo com a estratégia de controle adotada (DENATRAN, 1984).

Semáforos são utilizados para regular e controlar os conflitos existentes entre movimentos conflitantes de veículos ou pedestres. Sem a implantação deste dispositivo, determinadas aproximações de vias de maior fluxo iriam dominar o direito de passagem de certos cruzamentos, tornando a inserção dos veículos da via secundária (menor fluxo) impossível de ser realizada, ou muito perigosa. Em outros locais a inserção de veículos da via secundária pode interromper o fluxo de tráfego da via principal de tal forma que possa ocorrer congestionamentos excessivos. Desta forma, os semáforos podem não somente melhorar a capacidade das interseções, permitir o direito de passagem para os transportes não motorizados, como também aumentar a segurança viária.

De acordo com DENATRAN (1984) existem três categorias de estratégias de operação em interseções:

- *Controle isolado*: o controle dos movimentos de tráfego baseia-se apenas nos volumes de veículos existentes no cruzamento, não sendo consideradas as eventuais influências exercidas pela operação de interseções adjacentes.
- *Controle arterial de cruzamentos (rede aberta)*: prioriza o sistema progressivo de uma via principal, de forma a dar continuidade aos movimentos entre as interseções adjacentes.
- *Controle de cruzamentos em área (rede fechada)*: são consideradas todas as interseções semaforizadas de uma determinada região.

3.2.1 Controle Isolado

Os controladores de tráfego modernos são flexíveis e podem ser programados para múltiplas fases, como a inclusão de estágio para pedestres, tempos pré-determinados, prioridade para veículos de emergência e transporte coletivo, dentre outras facilidades. Quando um semáforo é isolado, não há necessidade de manter sincronismo com os demais semáforos adjacentes. Desta forma, não sendo necessária a operação em um ciclo constante, podendo os tempos de verde variar de acordo com a demanda de veículos.

O controle isolado é dividido em três formas de operação segundo WEBSTER e COBBE (1966) e o DENATRAN (1984): tempo fixo, atuado e semi-atuado por veículo.

a) Controle Isolado em Tempo Fixo

A proporção de verde atribuída para cada aproximação, assim como a duração do ciclo é pré-definida de acordo com os dados históricos de tráfego. Este tipo de controle é relativamente barato, e por não ser flexível, a demanda veicular necessita de ajuste cuidadoso dos tempos. Pode-se ter programações fixas ao longo do dia para atender diferentes demandas de tráfego.

Na operação de semáforos isolados com tempo fixo as modificações decorrentes do tempo de verde, entreverde, e período de ciclo, são sempre constantes. Os planos são pré-calculados com base no conhecimento dos volumes do tráfego. HOMBURGER

(1996) destacou as principais vantagens e desvantagens deste tipo de controle como indicadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Vantagens e Desvantagens do Controle Isolado em Tempo Fixo

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> • Equipamento controlador simples, de fácil manuseio e manutenção; • Pode ser coordenado para oferecer um fluxo contínuo de tráfego em uma determinada velocidade de uma rota específica; • Ajustado facilmente em campo; • Sob certas condições, pode ser programado para atuar em condições de pico; • Menor custo de implantação e operação, comparado com os demais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não reflete ou acomoda variações da demanda veicular; • Pode causar excessivo atraso para veículos e pedestres durante os períodos de pico e entre - pico.

Fonte: HOMBURGER (1996)

Os controles de interseções com tempo fixo requerem uma série de parâmetros pré-estabelecidos como o tempo de ciclo e a seqüência e duração dos estágios, que dependem diretamente das características de tráfego no cruzamento.

b) Controle Isolado Atuado

Este tipo de controle se adéqua aos movimentos e a demanda veicular, através de detectores, de forma a destinar um tempo de verde para cada aproximação de acordo com seu acionamento e necessidade. O tempo de verde e o período de ciclo estão relacionados à demanda de tráfego, através de detectores instalados na superfície da via em todas as suas aproximações. O detector pode estender ou encurtar o tempo de verde conforme solicitação da demanda, ou seja, fornece respostas rápidas e pode minimizar os atrasos e maximizar a capacidade de semáforos isolados. Na ausência de acionamento dos detectores em uma das aproximações, o equipamento ficará rodando indefinidamente a fase que fora acionada por último. São muito eficientes para auxiliar os veículos de emergência e transporte público.

Tabela 3.2: Vantagens e Desvantagens do Controle Isolado Atuado

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> • Usualmente reduz o atraso veicular; • Adaptável às flutuações de curto prazo do fluxo; • Geralmente aumenta a capacidade da via; • Proporciona uma operação contínua sobre baixos volumes e aumenta a segurança; • Bastante efetivo nas interseções com três ou mais fases. 	<ul style="list-style-type: none"> • O custo de implantação do sistema atuado é mais elevado comparado com a isolada em tempo fixo; • Os controladores atuados são bem mais complicados que os controladores de tempo fixo, havendo uma constante manutenção e inspeção, requerendo assim mais verbas; • A instalação dos detectores é onerosa e requer uma completa inspeção e manutenção para sua adequada operação para garantir o funcionamento adequado.

Fonte: HOMBURGER (1996)

Este tipo de controle é aplicado nos casos em que existem volumes razoáveis de veículos em todas as aproximações, necessitando de mudança sucessiva do estágio sempre que acabar a fila de uma aproximação. Costuma-se usar sistemas atuados quando o tráfego não tem um comportamento cíclico, ocorrendo muitas variações ao longo do dia, ou ainda, quando há volumes muito baixos, que apresentem grandes variações percentuais. O sistema, através da detecção do veículo, mede o tráfego e varia automaticamente a programação.

c) Controle Isolado Semi-Atuado

Este tipo de controle acontece quando o direito de passagem recai sobre a via principal, através da instalação de detectores na via secundária, que ao ser acionado, a fase de verde é destinada a este movimento imediatamente, ou ao final de um tempo pré-definido. Este período de verde pode ser estendido de acordo com a demanda até um limite máximo pré-estabelecido. Quando o volume de tráfego em uma via é muito superior a outra, o detector é instalado apenas na via de menor volume, ficando o semáforo sempre com a fase verde para a via de maior volume, até o acionamento do laço pelo veículo da via de menor volume.

A opção de utilizar o controle de tráfego atuado faz com que a duração dos estágios deixe de ser pré-determinada, pois será ajustada de acordo com acionamento dos detectores. Contudo devem ser determinados os valores mínimos e máximos de cada estágio, assim como o tempo de extensão do verde. HOMBURGER (1996) relaciona ainda as características operacionais de um sistema semi-atuado:

- Somente as vias secundárias possuem detectores;
- A via principal recebe um intervalo mínimo de verde;
- O período de verde da via principal é prorrogado indefinidamente até que seja interrompido por acionamento do detector na via secundária;
- A via secundária recebe a fase de verde após a detecção, quando o intervalo mínimo de verde da via principal se completar;
- A via secundária tem um período mínimo de verde inicial;
- O tempo de verde da via secundária pode ser estendido por acionamentos adicionais do detector até um valor máximo permitido;
- Caso o verde da via secundária seja estendido até o limite máximo, a fase de verde retornará para esta via quando for rodado o verde mínimo da via principal;
- Os tempos de amarelo e vermelho são predefinidos para as fases.

Ainda de acordo com a classificação dos tipos de controle em interseções do DENATRAN (1984), têm-se agora a definição do controle arterial de cruzamentos (rede aberta) ou também chamado de controle coordenado.

3.2.2 Controle Coordenado

Com o constante aumento de veículos e conseqüente mais implantações de semáforos nas grandes cidades, torna-se assim cada vez mais importantes a definição de estratégias para minimizar os atrasos e o número de paradas nas interseções. A estratégia de controle coordenado tem como objetivo principal operar, de forma coordenada, os semáforos ao longo de uma via arterial, estabelecendo um sistema

progressivo de abertura que resultará numa continuidade de movimento entre as interseções adjacentes, e minimização da interrupção ao fluxo de veículos. Os semáforos deste tipo de controle não são considerados isolados, mas sim operados como um todo.

Para se atingir estes objetivos, se faz necessária a determinação de parâmetros como o tempo de ciclo, o tempo de verde de cada aproximação e defasagens. De acordo com LEANDRO (2001), para se ter uma boa coordenação entre os semáforos de uma via arterial é estritamente necessário que estes estejam operando com o mesmo tempo de ciclo semaforico, ou em ciclos múltiplos. Uma coordenação em uma via arterial é comumente chamada de onda verde (porção do ciclo em que um pelotão de veículos, movimentando-se a uma velocidade constante, pode cruzar um conjunto de interseções sem ser parado pela fase vermelha).

A denominação de rede aberta para o controle coordenado e rede fechada para controle centralizado, faz referência ao fato de que em algumas cidades não há regiões adensadas de semáforos, sendo necessário apenas o sincronismo de vias arteriais, em coordenação de rede aberta. Em outras cidades, a malha viária é bem complexa formada por uma densa malha viária, sem uma hierarquização bem definida das vias. Neste caso, uma simples coordenação com progressão nas vias arteriais não resolveria o problema de tráfego desta área. Portanto, torna-se necessário que se tenha uma coordenação por área, incluindo diversas interseções semaforizadas, ou seja, uma coordenação em uma rede fechada.

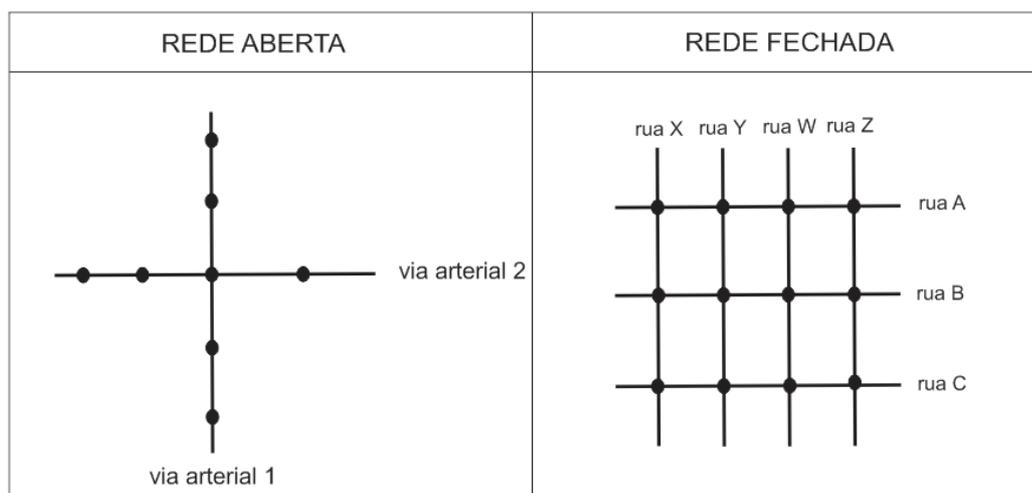


Figura 3.1: Comparação entre rede aberta e rede fechada. Fonte: DENATRAN (1984)

O ajuste da defasagem é a diferença de tempo entre o instante de início de um estágio predeterminado para uma interseção e o correspondente estágio de outra interseção de referência. Para auxiliar a coordenação de semáforos de uma rede, a defasagem deve ser constante ao longo do tempo, como também os instantes relativos ao início dos estágios, o que implica na adoção de um valor de ciclo comum a todas as interseções do sistema.

Na coordenação por área, assim como na progressão arterial, todos os semáforos devem estar operando com o mesmo ciclo semaforico para que seja possível obter uma constante coordenação entre os mesmos. Entretanto, nesta situação é possível que alguns cruzamentos controlados operem em ciclo duplo, ou seja, com o valor de tempo de ciclo correspondente a metade do valor dos demais. Comumente esta situação é necessária, quando se tem em uma mesma área, interseções que necessitam operar com tempos maiores de ciclo por terem maiores volumes em suas aproximações, e outras interseções que possuem volumes bem menores e, portanto, podem trabalhar com ciclos mais baixos LEANDRO (2001).

Quando se trata de semáforos atuados em uma rede de semáforos, é necessário manter o sincronismo para não prejudicar o rendimento do sistema. Tenta-se identificar o fluxo de veículo em algumas aproximações mais significativas da rede e a partir dessa medição determina-se a operação dos planos do controlador. Para obter uma boa coordenação semaforica em áreas, ou em corredores, é necessário que se tenha uma boa modelagem do tráfego, para que se possa simular eficientemente o seu comportamento.

Uma das mais conhecidas e eficientes modelagens do tráfego por área, amplamente utilizada em todo o mundo, é o programa *Traffic Network Study Tool – TRANSYT* (CRABTREE,1999), escrito e desenvolvido pelo *Transport and Road Research Laboratory* (TRRL). Com o sucesso da operação coordenada de interseções semaforizadas, e o crescente aumento do número destas interseções, a evolução do controle de tráfego por área foi obtido com um maior controle dos semáforos através da centralização da operação.

3.2.3 Controle Centralizado

Com o aumento da demanda de viagens, os principais corredores de tráfego tornam-se cada vez mais carregados e congestionados. Em decorrência deste aumento do volume de tráfego, os motoristas, para fugirem dos congestionamentos, começam a procurar vias alternativas, passando a utilizar vias secundárias, com características residenciais, em suas rotas. Desta forma, os semáforos que eram implantados quase que exclusivamente em vias arteriais, passam a ser necessários em diversos outros cruzamentos da malha viária, surgindo assim uma grande rede de semáforos o que deu origem ao controle centralizado ou controle de cruzamentos em área (rede fechada).

De acordo com DENATRAN (1984), desde 1960 tem se desenvolvido sistemas centralizados de controle de tráfego, onde os controladores e detectores são gerenciados por uma central de controle. Dentre as várias vantagens na operação desse tipo de sistema, algumas facilidades da utilização são: controle de falhas que permite uma rápida identificação das falhas e posterior correção; flexibilidade e facilidade de mudança de planos através de tabela horária, programada de acordo com as características de cada cruzamento; facilidade de supervisão possibilitando a identificação de anormalidades e proposições de medidas corretivas; e facilidade de implantação de estratégias mais complexas de controle de tráfego.

WEBSTER e COBBE (1966) relacionaram as vantagens e facilidades de sistemas de controle de tráfego em área:

- Prevê programações coordenadas de acordo com as condições do tráfego;
- Redireciona o fluxo de rotas congestionadas para vias alternativas com capacidade disponível;
- Seleciona períodos para funcionamento de faixas, ou vias, reversíveis;
- Restringe movimentos quando há formação de filas nos semáforos subsequentes;
- Prioriza movimentos para limpeza de filas;

- Adequa programações de emergência em condições de bloqueio por acidentes, obras eventos especiais, clima, etc.

O controle centralizado está dividido em três tipos de operação: operação centralizada em tempo fixo; operação centralizada por seleção dinâmica; e operação centralizada em tempo real.

a) Operação Centralizada em Tempo Fixo

A diferença da operação isolada para a centralizada em tempo fixo diz respeito à existência de um controle por computador que centraliza as ações das interseções, ou seja, comanda os controladores de campo. Na operação centralizada em tempo fixo, um computador armazena e implementa os planos semafóricos previamente calculados, com dados que refletem condições padrões esperadas do tráfego. Estas condições são obtidas em dias típicos, periodicamente, ou em ocasiões especiais, como eventos esportivos ou sociais. Nesta operação, o momento da entrada de cada plano de tráfego, previamente calculado, ocorre por intermédio de uma tabela horária, ou seja, em uma determinada hora do dia, o computador central emite o plano pré-definido, que automaticamente entra em operação.

b) Operação Centralizada por Seleção Dinâmica

Nesta centralização dos semáforos, diferente da centralização em tempo fixo, a inserção dos planos fixos de tráfego não é comandada por uma tabela horária. Na seleção dinâmica, existe uma série de planos semafóricos armazenados no computador, correspondentes a diversos fluxos veiculares. Ou seja, caso em uma determinada área ou interseção, os volumes em suas aproximações aumentem ou diminuam, o computador selecionará automaticamente o plano previamente estabelecido para atender tal demanda. Para tanto, os planos devem ser previamente dimensionados e armazenados no computador.

Estes planos podem ser obtidos por meio de diversas metodologias, entre elas a do *TRANSYT* (CRABTREE,1999), os quais são inseridos no computador, e através de um programa é realizado o controle e envio dos planos semafóricos para os controladores de acordo com o volume detectado na via. Portanto, é indispensável a

existência de detectores veiculares nas vias, mas não é necessário que se tenha detectores em todas as aproximações, e sim, somente em alguns pontos estratégicos, determinados pelos técnicos responsáveis pela gerência do tráfego.

c) Operação Centralizada em Tempo Real

Na centralização em tempo real, as informações dos detectores são recebidas por um computador central que analisa os dados, minimiza uma função objetivo modificando os planos semaforicos referente aos tempos de ciclo, tempos de verde e defasagens das interseções, e os enviam aos controladores de campo. Estes parâmetros são continuamente adaptados no controle em tempo real, por freqüentes ajustes para atender as condições reais do tráfego.

O ciclo e os tempos de verde são ajustados para manter um aceitável grau de saturação nas aproximações das interseções, enquanto as defasagens são ajustadas para minimizar os atrasos e/ou paradas dos veículos. Para manter a coordenação ao longo do tempo, grupos de interseções adjacentes são predefinidos para operar num mesmo ciclo. As condições do tráfego são continuamente monitoradas com base na detecção veicular e na informação de mudança nos tempos dos semáforos pelos controladores.

Os modelos de otimização são normalmente implementados junto com um computador central numa arquitetura de comunicação, na qual a troca de dados é realizada entre equipamentos nas interseções e o computador central, podendo ou não haver intervenção dos operadores de tráfego. Não são considerados sistemas de controle em tempo real os sistemas que se baseiam em “seleção dinâmica de planos” ou “seleção automática de planos”. Estes sistemas selecionam planos fixos e pré-determinados a partir das informações de detectores veiculares, como informado no item “a”, mas não são, portanto, capazes de adequar, em tempo real, os parâmetros do plano semaforico às condições presentes do tráfego. Além disso, adotam o plano (já previamente definido) que melhor se ajusta às condições de tráfego detectadas, não eliminando, portanto, a necessidade da elaboração antecipada de planos de tempos fixos para possibilitar sua operação.

Também não são considerados sistemas de controle em tempo real, os sistemas que se baseiam em “atuação veicular”, nas quais os tempos de verde são determinados

simplesmente em função de extensões de verde geradas pela detecção de veículos. Estes sistemas tratam cada interseção de forma individual e isolada, não existindo uma análise global de toda sub-área controlada pelos computadores centrais.

O custo de implantação de um sistema centralizado em tempo real é bem superior aos demais sistemas. Nele estão incluídos os custos de equipamentos mais complexos, do computador central e seu sistema de controle, da inserção de detectores veiculares em todas as aproximações, da confiabilidade da rede de comunicação, da calibração do sistema, ou seja, da validação dos dados em campo necessários para o adequado funcionamento do sistema (LEANDRO, 2001).

3.3 DEFINIÇÃO DO MODO DE COORDENAÇÃO DO SEMÁFORO

Definidos os modos de operação de semáforos em vias urbanas, são relacionados, a seguir, os critérios considerados para a definição do modo de coordenação, definições de quais interseções constituirão um sistema independente, e quais cruzamentos devem ser agrupados e controlados de forma conjunta e coordenada. Desta forma, DENATRAN (1984) descreve alguns critérios para a definição do tipo de operação de semáforos, isolados ou coordenados:

- *Relação geográfica*: considera a distância entre as interseções e a existência de barreiras naturais/artificiais entre elas (cruzamento com ferrovia em nível, entre outros);
- *Volume de tráfego*: quanto maior for o volume de veículos nas vias, maior é a necessidade de coordenação dos semáforos;
- *Características do fluxo*: se relaciona à taxa de chegada de veículos, se for constante, o período de vermelho produzirá os mesmos valores de atraso e paradas, independentemente do instante do início de vermelho no ciclo. Porém, se a chegada ocorrer em pelotões cíclicos, a coordenação dos semáforos permitirá uma redução do atraso e do número de paradas.

O Manual do DENATRAN (1984) apresenta ainda um critério para auxiliar na decisão da estratégia entre semáforos adjacentes, o Índice de Interdependência (Equação 3.1).

$$I = \frac{0,5}{1+t} \left(\frac{n \cdot q_{max}}{q_1 + q_2 + \dots + q_n} - 1 \right) \quad 3.1$$

Onde:

I = índice de interdependência;

t = tempo de percurso entre os semáforos adjacentes, que é o comprimento do trecho dividido pela velocidade média dos veículos;

n = número de faixas de tráfego que escoam os veículos procedentes do cruzamento anterior;

q_{max} = fluxo direto procedente do trecho anterior;

$q_1 + q_2 + \dots + q_n$ = fluxo total que chega à intersecção

De acordo com esse critério, o índice de interdependência assume valores compreendidos entre zero e um, representando condições de menor e maior necessidade de coordenação, respectivamente. A escala da Figura 3.2 fornece um recurso adicional para o auxílio na determinação do tipo de operação necessária.

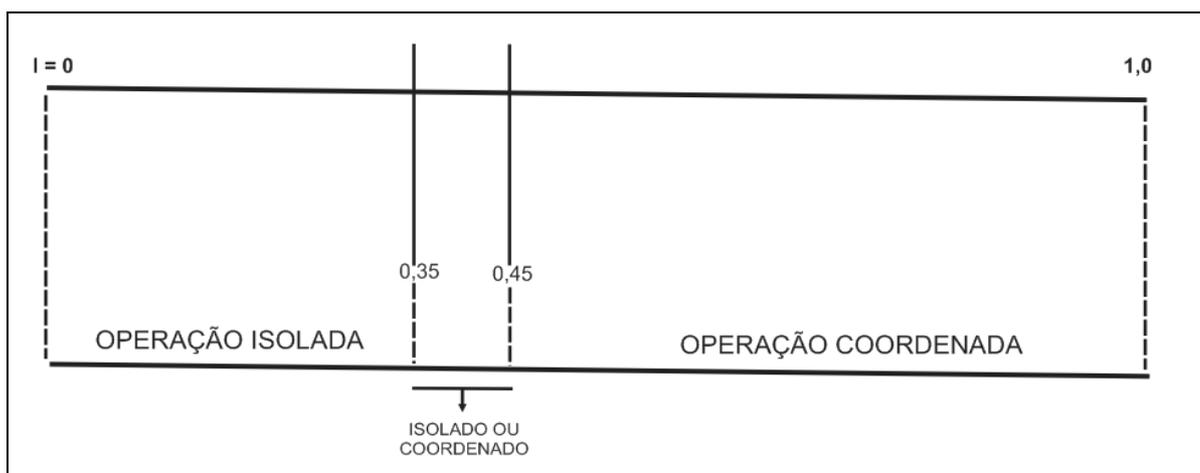


Figura 3.2: Determinação do tipo de operação do semáforo. Fonte: DENATRAN (1984)

Observando-se o Gráfico da Figura 3.2, quando o Índice de Interdependência for aplicado em um par de semáforos e o mesmo resultar em um valor menor que 0,35 é indicada a operação isolada, caso o valor fique entre 0,35 e 0,45 é um ponto de decisão entre a operação isolada e coordenada e quando o valor for maior que 0,45 indica-se a operação coordenada dos semáforos.

No trabalho realizado por FREITAS *et al.* (2009), o método utilizado pelo DENATRAN (1984) foi adaptado para a realidade de Fortaleza, correspondente a uma amostra de 277 semáforos, totalizando 27% da rede. Utilizando-se a média e desvio padrão do Índice de Interdependência dos semáforos isolados e coordenados da amostra, foi definida uma nova escala, como mostra a Figura 3.3.

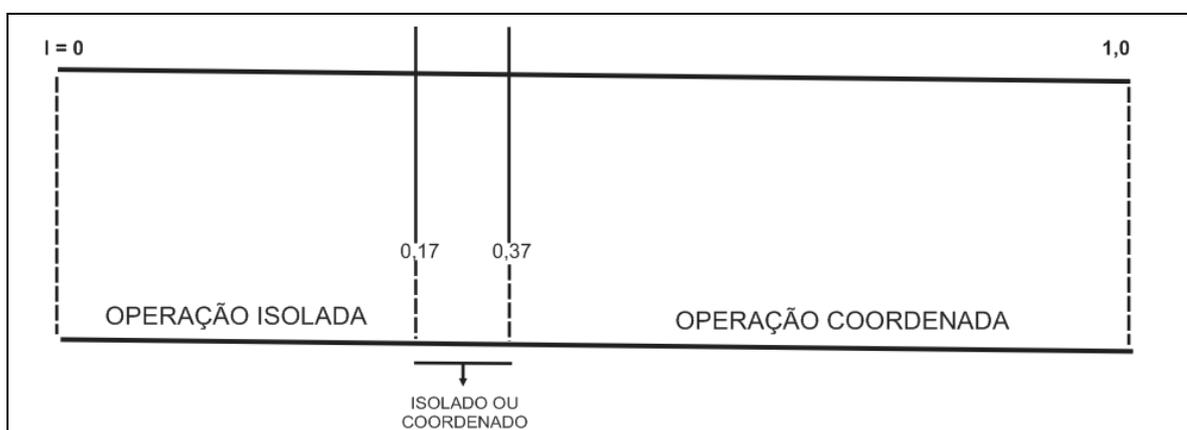


Figura 3.3: Escala do índice de interdependência Fonte: FREITAS *et al.* (2009)

Assim como acontece com o Gráfico da Figura 3.2, o Gráfico da Figura 3.3 especifica os valores encontrados por FREITAS *et al.* (2009) ou seja, quando o Índice de Interdependência for aplicado em um par de semáforos e o mesmo resultar em um valor menor que 0,17 é indicada a operação isolada, caso o valor fique entre 0,17 e 0,37 é um ponto de decisão entre a operação isolada e coordenada e quando o valor for maior que 0,37 indica-se a operação coordenada dos semáforos.

3.4 MODELO DE OTIMIZAÇÃO

Um modelo de tráfego deve descrever o comportamento da dinâmica dos veículos nas vias da área em estudo, considerando suas características físicas, os comportamentos dos veículos e dos semáforos existentes, e posteriormente o modelo

avalia, ou simula, o cenário descrito e a eficácia através dos dados de saída, tais como: atraso médio ou total, número de paradas, consumo de combustível, eficiência da largura de banda, filas médias ou máximas, etc.

Os modelos computacionais de tráfego compõem um amplo conjunto de ferramentas com largo potencial de aplicação, são utilizados para a avaliação de alternativas no sistema de tráfego, no planejamento como suporte a outras ferramentas e sistemas (sistemas de controle de tráfego e otimização, sistemas inteligentes, etc.), e para o treinamento de técnicos na área de tráfego, entre outras aplicações.

Neste estudo, será utilizada a ferramenta de otimização *TRANSYT* (CRABTREE,1999), de forma a auxiliar na identificação dos ciclos e de cada fase dos semáforos a serem simulados na área a ser avaliada.

3.4.1 *TRANSYT*

O programa *TRANSYT* (CRABTREE,1999), teve sua primeira versão em 1969, é definido como um método para se determinar planos de tráfego de tempo fixo, com o objetivo de minimizar os atrasos e o número de paradas dos veículos que percorrem a rede viária. O programa simula o comportamento do fluxo de tráfego, em trechos de vias e, através de uma função de otimização, define as defasagens e os tempos ótimos de verde para cada aproximação da interseção analisada, ou seja, o programa é constituído de dois modelos: um comportamental do fluxo de tráfego e um modelo matemático de otimização.

O modelo do fluxo de tráfego assume as seguintes hipóteses: todas as interseções importantes da rede são semaforizadas ou possuem regras de prioridade; os semáforos têm ciclos comuns ou a metade desse valor; os veículos entram na rede a uma taxa constante de chegada; as porcentagens de conversão nos cruzamentos são constantes; e as filas que se formam em uma aproximação sempre se desfazem, não existindo ciclos saturados.

No modelo de tráfego, o ciclo é subdividido em unidades de tempo iguais e todos os cálculos do programa são feitos com base nos valores médios de fluxo e nas filas de veículos presumíveis de ocorrerem a cada uma dessas unidades. Para cada unidade de

tempo, a simulação do comportamento do tráfego em cada aproximação da rede é realizada através da manipulação de três tipos de padrões de tráfego:

- *Padrão de chegada*: fluxo que chegaria na faixa de retenção no fim do link, se os veículos não fossem retidos pelo semáforo que controla o escoamento do link.
- *Padrão de saída*: fluxo de escoamento de tráfego de um link
- *Padrão de Saturação*: fluxo de escoamento, se durante todo o intervalo de verde, o tráfego saísse na capacidade máxima.

No modelo de otimização, de acordo com o modelo de tráfego, os veículos após serem liberados por um semáforo irão percorrer um trecho da via até atingir a próxima interseção semaforizada onde serão escoados no período de verde deste cruzamento. O atraso na interseção é calculado conhecendo-se o número de veículos que chegam e os que escoam no cruzamento. O modelo de otimização do *TRANSYT* procura determinar, para cada interseção da rede, qual o intervalo entre a chega e a partida do primeiro veículo da faixa de retenção, que apresenta melhor desempenho em relação a uma função objetivo, denominada de Índice de Performance (IP).

O modelo prediz o valor do Índice de Performance (IP) para a rede, para qualquer plano de tempo fixo e o ajusta com base na média de fluxo veicular. O modelo estima o valor do IP da rede para qualquer plano de tempo fixo, o qual é uma medida do custo global obtido como uma combinação linear dos atrasos e paradas experimentados pelo tráfego como pode ser visualizado na Equação 3.1 a seguir. O processo de otimização ajusta os tempos semafóricos e checa, a partir do modelo, se os ajustes resultam em redução no IP, adotando somente aqueles ajustes que reduzam seu valor, sendo os tempos semafóricos sucessivamente melhorados.

$$PI = \sum_{i=1}^N (W . w_i d_i + K . k_i s_i) \quad (3.1)$$

em que,

N = número de links;

W = custo global por atraso médio;

w_i = peso do atraso sobre o link i ;

d_i = atraso sobre o link i ;

K = custo global por parada;

k_i = peso da parada sobre o link i ;

s_i = número de paradas sobre o link i .

A partir da quinta versão, o *TRANSYT*, faz distinção entre as classes dos veículos, procurando minimizar o tempo total de viagens dos transportes coletivos na rede, favorecendo assim os veículos com maior índice de ocupação. Além de otimizar a defasagem, pode-se também otimizar a duração dos intervalos de verde das fases da interseção. Para cada etapa do processo de otimização o programa fornece relatórios para cada link e valores totais para toda rede.

Os dados de entrada do *TRANSYT* correspondem as características da rede (demanda fixa de veículos, número de interseções, número de vias, etc) e as indicações semafóricas iniciais. Concluindo, o *TRANSYT* é capaz de simular um cenário de operação, avaliar medidas de desempenho, alterar defasagens entre os semáforos, reprocessar a simulação, e reavaliar as medidas de desempenho até que atinjam um nível ótimo.

3.5 MODELOS DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

A demanda no sistema de transporte cresce mais rapidamente do que as melhorias que são realizadas nos centros urbanos. Modelos de simulação podem auxiliar os profissionais para a identificação de locais críticos e conseqüente proposição de melhorias no sistema de tráfego. Estes modelos estão cada vez mais sendo utilizados nos modelos de planejamento de sistema de transportes, quanto a avaliação operacional de sistema de tráfego.

Apesar da aplicação dos modelos de simulação trazer diversos benefícios para os profissionais que trabalham na área, quando utilizado incorretamente podem acarretar

em tomadas de decisão imprecisas ou soluções inadequadas que necessitem ser reavaliadas, posteriormente. Por isso, é importante a adequada compreensão do modelo empregado, assim como a correta interpretação dos dados de saída do simulador.

Segundo a definição de MAY (1990), simulação é uma técnica numérica para a realização de experimentos em um computador, que podem envolver características aleatórias de natureza microscópica ou macroscópica, e envolve modelos matemáticos que descrevem o comportamento de um sistema de transporte em períodos mais abrangentes, em tempo real. Simulação, também pode ser definida como uma técnica que permite o estudo complexo de um sistema em laboratório, ao invés do campo.

PORTUGAL (2005) considera que a técnica de simulação, entre as diversas técnicas utilizadas, tem se constituído uma importante ferramenta para auxiliar o trabalho do Engenheiro de Tráfego, permitindo apontar soluções para os vários problemas de trânsito. Com a simulação, podem-se analisar vários cenários e antecipar os impactos positivos e negativos causados a partir da implantação de uma determinada alternativa.

É relatado ainda por PORTUGAL (2005) que a simulação de tráfego permite replicar em um computador a seqüência de eventos hipotéticos do sistema estudado, ao longo do tempo, tratando-se as entidades que percorrem o modelo de forma agregada, ou individualizada. No caso do sistema de tráfego, TRB (2000), PORTUGAL (2005) e VASCONCELOS (2004) definem os tipos de abordagem da técnica da simulação, onde a principal diferença se refere principalmente ao nível em que os fenômenos do fluxo de tráfego estão sendo representados:

- *Macroscópica*: a individualidade dos veículos é desprezada, sendo a modelagem baseada em equações usadas na descrição do fenômeno de ondas de choque. Estes modelos são pouco detalhados e tendem a analisar variáveis sobre como o tráfego está se movendo.
- *Mesoscóptica*: os veículos são agrupados em pelotões e tratados desta forma quanto ao tamanho, localização, velocidade, e aceleração. São normalmente utilizados em redes semaforizadas e procuram explicar a deformação destes pelotões ao longo do tempo e do espaço, com base na

Teoria da Dispersão de Fluxos de Tráfego. Estes modelos revelaram-se adequado à análise de redes interurbanas, mas apresentavam sérias limitações em meio urbano.

- *Microscópica*: os veículos são tratados de forma individualizada, sendo os modelos tão detalhados quanto for o seu propósito. Cada veículo conserva, individualmente, todas as características de interesse para o sistema. O trânsito ao longo dos arcos é regido por leis de perseguição e o comportamento nas interseções é, normalmente, mais complexo e detalhado. Os modelos microscópicos procuram reproduzir a dinâmica de cada veículo na rede, com base nos comportamentos dos condutores e das características dos veículos. Esses comportamentos influenciam a aceleração, desaceleração, mudanças de faixa, manobras de mudança de faixa, a transformação do movimento execução, e a aceitação de brechas.

Quando devidamente calibrado e validado, o simulador é capaz de representar situações ainda inexistentes, ou que seriam dificilmente observadas na prática, tais como uma composição de tráfego diferente da real, um tipo de caminhão com características diferentes, um volume de tráfego muito maior que o observado, ou uma rodovia com uma faixa de tráfego adicional. A simulação permite a análise dos fenômenos sem a intervenção direta no sistema real, sendo possível, dessa forma, simular diversos cenários e analisar os impactos de diferentes composições e volumes de tráfego, em diferentes configurações geométricas (DEMARCHI, 2000).

São destacados na literatura, alguns aspectos negativos e positivos da utilização de simulação. Na Tabela 3.3, MAY (1990) destaca tanto a importância da utilização do modelo em si, como o processo de aprendizagem que é proporcionado aos técnicos e aos usuários.

Tabela 3.3: Vantagens da simulação de tráfego

-
- Possibilita a análise de novas situações diferentes das encontradas atualmente.
 - Possibilita o entendimento do comportamento de variáveis importantes e a relação entre elas.
 - O sistema pode ser estudado em tempo real, comprimido, ou tempo expandido.
 - Possibilita a realização de simulações que seriam arriscadas em campo sem nenhum riscos para os usuários.
-

-
- Permite uma melhor análise do sistema estudado.
 - Evita interrupções das operações de tráfego que muitas vezes acompanham os experimentos de campo.
 - Menos onerosa que implementações em campo.
 - Possibilita a comparação de alternativas.
 - Os dados de saída gerados inclui, na maioria dos casos, medidas de eficácia que não são facilmente obtidos.
 - Permite estudar os efeitos de alterações no funcionamento do sistema.
 - A demanda pode variar ao longo do tempo e do espaço.
-

Fonte: MAY (1990)

Além das vantagens, MAY (1990) também aponta algumas desvantagens da simulação de tráfego (Tabela 3.4). Observa que a abordagem é em torno da não utilização da simulação como única solução para todos os problemas, pois é apenas uma técnica analítica disponível para o especialista em transporte, e deve ser usada como uma ferramenta para apoiar a decisão. Para o usuário aplicar e utilizar corretamente o modelo de simulação, como uma ferramenta para melhorar o sistema de transporte e tráfego, é necessário que o mesmo compreenda o modelo, suas premissas e a lógica que as medidas eficácia se baseiam.

Tabela 3.4: Desvantagens da simulação de tráfego

-
- Pode existir maneiras mais fáceis de resolver o problema.
 - A simulação pode ser demorada.
 - Os modelos de simulação requerem características de entrada e de dados consideráveis, que pode ser de difícil obtenção.
 - Os modelos de simulação requerem calibração, verificação e validação. Podendo estas etapas ser esquecidas quando mal utilizadas, tornando o modelo inútil.
 - O modelo de simulação pode ser difícil para os que não possuem conhecimentos de disciplinas como: engenharia de tráfego, probabilidade, dentre outras.
 - A simulação só é possível quando o usuário compreende plenamente o sistema.
 - Alguns usuários podem aplicar modelos de simulação e tratá-los indevidamente e não entender o que eles representam.
 - Alguns usuários podem aplicar modelos de simulação e não conhecer limitações do modelo.
-

Fonte: MAY (1990)

3.6 ESCOLHA DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Com a existência de diversos modelos de simulação, surge a importância de uma correta identificação do modelo de simulação mais apropriado para aplicação pretendida. Esta identificação é importante para uma boa compreensão da simulação, e conseqüência uma adequada interpretação dos resultados, o que contribui para uma apropriada tomada de decisão. Desta forma, TRB (2000) apresenta alguns passos a fim de facilitar a identificação do problema e do objetivo do estudo. Um problema adequadamente definido resultará em uma correta seleção do modelo.

Tabela 3.5: Passos para identificação do problema e do objetivo do projeto

-
- A rede que está sendo estudada inclui vias urbanas, rodovias, vias rurais, ou uma combinação delas?
 - Qual é o tamanho e a topologia da rede? (cruzamentos isolados, vias arteriais, etc.)
 - Que tipos de veículos devem ser considerados? (carros, caminhões, etc.)
 - Quais métodos de controle de tráfego devem ser considerados? (semáforos em tempo real, sinalização de regulamentação, etc.)
 - Serão consideradas condições de tráfego saturado?
 - Qual é a duração do período de análise?
 - Serão consideradas mudanças geométricas durante o período de análise?
 - A demanda de tráfego varia significativamente?
 - Será considerada mudança do controle de tráfego?
 - Estão previstos o nível de detalhe?
 - Que informações estão disponíveis para a entrada do modelo, a calibração, e a validação?
 - Há mais de um método a ser considerado para a análise?
-

Fonte: TRB (2000)

Dependendo da aplicação, cada modelo de simulação tem suas próprias vantagens e desvantagens, surgindo assim à importância de relacionar as características relevantes dos modelos, necessárias para a análise, e assim determinar qual modelo que satisfaz tais necessidades.

Os modelos devem ser escolhidos de acordo com a disponibilidade de recursos e de dados, a facilidade de utilização, a aplicação do modelo, a validação e a calibração. Na primeira fase da escolha do modelo, é necessário que o usuário se familiarize com as vantagens e desvantagens, e como também das limitações de cada um destes modelos

de simulação, assim como saber interpretar corretamente as estatísticas de saída. Desta forma, são elencadas a seguir algumas características que são utilizadas para avaliar a capacidade do modelo de simulação de tráfego como:

- *Tamanho da Rede:* A maioria dos modelos tem limitações quanto ao tamanho da rede, os parâmetros que podem limitar o modelo incluem: número de nós, número de links, número de faixas em cada link, e o número de interseções semaforizadas.
- *Representação da rede:* refere-se à capacidade do modelo em representar a geometria de vias urbanas, rodovias, estradas rurais, ou qualquer combinação entre elas. Os principais elementos geométricos considerados nas categorias de vias citadas incluem: canalização da pista nos cruzamentos, baias e paradas de ônibus, faixas de aceleração e desaceleração, pistas auxiliares, rampas de acesso, distância de ultrapassagem, dentre outros.
- *Representação do tráfego:* definida com base no nível de agregação decorrente da natureza do modelo: microscópica, mesoscópica, ou macroscópica. Como já observado, os modelos microscópicos têm a capacidade de simular o movimento dos veículos, permitindo ao usuário realizar análises mais complexas do tráfego. Já os modelos mesoscópicos e macroscópicos geralmente não são adequados para avaliar condições complexas de tráfego, uma vez que eles usam medidas agregadas.
- *Composição do tráfego:* aborda os tipos de veículos que serão representados na simulação como: carros, ônibus, e caminhões. Tal classificação é utilizada para incorporar as diferenças de desempenho nas características de cada tipo de veículo.
- *Operações do tráfego:* o modelo escolhido deve ser capaz de modelar operações existentes na realidade do tráfego, como: mudança de faixa, operação do transporte público, restrição e bloqueio de faixas, estacionamentos, dentre outros.

- *Controle de Tráfego*: os métodos de controle incluem as vias de duplo sentido, cruzamentos com placa “Pare”, ou “Dê a Preferência”, semáforos de tempo fixo, acionados, ou em tempo real, controle de velocidade, coordenação entre semáforos, dentre outros.
- *Dados de saída do modelo*: de acordo com a simulação que será realizada deve ser escolhido o tipo de saída do modelo, arquivos gráficos ou medidas de desempenho. Os arquivos gráficos fornecem gráficos de saída, onde o usuário pode examinar visualmente os resultados do modelo de simulação, enquanto que as medidas de desempenho possibilitam uma análise numérica.

MAIA (2007) e PORTUGAL (2005) sugerem um escopo de aplicações de cada um dos tipos de modelos de simulação (macroscópicos, mesoscópicos, e microscópicos) como indicadas na Tabela 3.6.

Tabela 3.6: Escopo de aplicação de modelos de simulação

SIMULADOR	INTERVENÇÃO
MACRO	ESTRATÉGICA: longo prazo. Âmbito da cidade/metropolitano Simulação de médias/grandes áreas <ul style="list-style-type: none"> • Alterações de uso do solo • Aumento da capacidade e integração do sistema de transportes • Construção de vias expressas e arteriais • Duplicação de vias
MESO	TÁTICA: médio prazo. Âmbito regional <ul style="list-style-type: none"> • Simulação de médias/grandes áreas • Construção de novas vias • Definição de rotas de veículos • Políticas de estacionamento • Pedágio urbano • Construção de novas vias • Duplicação de vias • Melhoria do transporte coletivo por ônibus • Políticas tarifárias

MICRO	<p>OPERACIONAL: curto prazo. Âmbito de bairros</p> <ul style="list-style-type: none"> • Simulação de pequenas/médias áreas • Intervenções físicas na rede • Controle de tráfego • Alteração da configuração de semáforos • Pontos de ônibus • Entrada e saída de rampas • Definição de rotas de veículos • Regulamentação de estacionamentos
-------	--

Fonte: MAIA (2007) e PORTUGAL (2005)

Além da preocupação na escolha do melhor modelo de simulação, outro fator que requer atenção diz respeito à disponibilidade de dados. De acordo com TRB (2000), os modelos microscópicos requerem uma maior quantidade de dados e grande detalhamento, do que os modelos mesoscópicos e macroscópicos. São destacados três tipos de dados para o sucesso de uma simulação de tráfego: os dados de entrada, os dados para calibração, e os da validação do modelo.

Os dados de entrada englobam os itens básicos para descrever a rede e as condições de tráfego existentes, que podem ser classificados em: dados da rede de transportes composto de informações como: o comprimento do link, o número de faixas, os dados do controle de tráfego existente em todas as interseções da rede, os dados da operação do tráfego que inclui itens como a capacidade e a velocidade de fluxo livre, e os dados referente a demanda de tráfego como composição do tráfego e caminhos entre origem e destino.

Os dados para a calibração do modelo são aqueles parâmetros que necessitam ser ajustados para melhor representar o ambiente do tráfego em estudo como: dados do comportamento dos motoristas como velocidade e atraso, dados do veículo que é composto pelas características de desempenho dos veículos na rede, e a categoria dos mesmos. Já os dados necessários para a validação, onde se compara os resultados do modelo com os valores observados em campo, para garantir que os resultados representem de forma realista o sistema em análise. São considerados os seguintes parâmetros: comprimento da fila, tempo de viagem, atraso, dentre outros. Na fase de coleta de dados devem ser identificados os dados disponíveis e aqueles que estão

faltando para que sejam coletados em campo. Esta etapa demanda grande disponibilização de recursos.

Depois da definição do modelo a ser utilizado e da coleta dos dados necessários para toda simulação, inicia-se a criação dos arquivos de entrada de acordo com as exigências do modelo selecionado.

No processo de calibração do modelo, o usuário confirma se o mesmo proporciona uma aproximação da realidade, ajustando os parâmetros para que os resultados correspondam ao real. Caso o modelo não esteja devidamente calibrado e validado com base nas características locais, o usuário deve utilizar o modelo com muita cautela.

Já o processo de validação do modelo ocorre quando os dados de saída do modelo são comparados estatisticamente com os dados observados em campo. Os parâmetros que geralmente são ajustados são: velocidade, atraso, e comprimento da fila. Segundo o TRB (2000), nos modelos microscópicos, o comportamento do condutor e do veículo são parâmetros que são específicos do local analisado e precisando ser calibrados. Nos modelos macroscópicos e mesoscópicos apenas alguns parâmetros, de um determinado link, precisam ser calibrados, como a capacidade e velocidade de fluxo livre. Uma vez calibrado e validado o usuário pode realizar uma análise estatística dos dados de saída do modelo.

A análise de alternativas é um dos benefícios da utilização de simulação de tráfego. Variando a geometria, o controle de tráfego, e a demanda tem-se uma diversidade de alternativas de análise.

De acordo com PORTUGAL (2005), o nível de informação requerida para o processamento da simulação dos modelos microssimuladores é mais detalhada que nos macros e mesossimuladores, por estes serem utilizados em áreas relativamente menores, e processarem intervenções operacionais restritas ao local em estudo, e em horizontes de curto prazo. Desta forma, tem-se a seguir o resumo do simulador selecionado para o estudo.

3.6.1 INTEGRATION

O *INTEGRATION* (RAKHA, 2002) foi desenvolvido na década de 80 por Van Aerde para ser uma ferramenta flexível para realizar análises de engenharia de tráfego. O modelo é considerado microscópico uma vez que o fluxo de tráfego é representado por veículos individuais. É utilizado na representação de vias expressas, vias arteriais, interseções semaforizadas, vias com regra de prioridade, trechos de convergência, divergência e entrelaçamento de fluxos, dentre outros. Nas simulações em vias urbanas e vias expressas, é possível a utilização de regras de prioridade, semáforos isolados ou coordenados, ou ainda na análise operacional de rotatórias, como é abordado nos estudos de BERTONCINI (2005) e BESSA JÚNIOR *et al.* (2006).

A abordagem do *INTEGRATION* permite a análise microscópica de muitos fenômenos dinâmicos do tráfego, como ondas de choque, à aceitação de brecha além de permitir grande flexibilidade para representar variações espaciais nas condições de tráfego. Embora sua abordagem seja essencialmente microscópica, pois o movimento de cada veículos é modelado individualmente, o modelo é calibrado de forma que o comportamento emergente do fluxo de veículos como um todo, em condições de equilíbrio, satisfaça também as relações macroscópicas de tráfego, tal como a relação fluxo-velocidade (VAN AERDE, 1997).

A maioria dos modelos considera as condições de tráfego uniformes ao longo do *link*, enquanto o *INTEGRATION* permite a variação da densidade do volume, o que permite a representação dos pelotões que partem de semáforos para a propagação de ondas de choque. Uma das características, que permite que o modelo represente melhor operacionalmente uma rede, é a restrição do uso de uma das faixas de determinado *link*, implementada para um específico tipo de veículo. Como exemplo, em uma rede pode ser reservada uma faixa específica para caminhão, restringindo sua circulação nas demais faixas. Outro tipo de restrição pode acontecer quando os veículos são direcionados a fazerem apenas determinados movimentos de conversão, em faixas de tráfego específicas, estas definições dependem do período em que serão implementadas restrições de acesso como a utilização de faixa reversível.

Os dados de entrada do *INTEGRATION* podem ser divididos em fundamentais e avançados. Os fundamentais são essenciais para executar o modelo, e os avançados

permitem a utilização de recursos opcionais. Cinco arquivos de dados obrigatórios para simulação encontram-se descritos a seguir:

- *Arquivo mestre* – contém dados sobre a duração da simulação, nome dos arquivos de dados que serão lidos pelo modelo;
- *Arquivo de nós* – especifica as coordenadas cartesianas dos nós da rede, e o tipo dos nós (origem, destino, origem-destino, intermediário);
- *Arquivo de tramos* – contém informações sobre o tramo referentes ao tamanho, número de faixas, fluxo saturação, velocidade de fluxo livre, velocidade na capacidade, densidade de congestionamento, coeficiente de variação da velocidade e proibição de conversões por tramo e as prioridades. Este arquivo também contém informações do tipo de controle existente em cada tramo;
- *Arquivo de semáforos* – contém dados das vias que terão controle feito por semáforos, informações da programação semaforica, entrada de planos, duração do ciclo em segundos, divisão de fases, tempos de verde e entre – verde;
- *Arquivo de demandas* – contém a matriz origem e destino da rede simulada, nó inicial e final, e informações da composição do tráfego;
- *Arquivo de incidentes* – contém dados para a simulação das ocorrências de incidentes, os links impactados, o número de vias afetadas, e o horário de início e fim.

Quanto aos dados opcionais do modelo, estes são constituídos dos arquivos de *greide*, dos parâmetros veiculares de utilização de faixas, e dos detectores e paradas de ônibus. Os arquivos de saída do simulador possibilitam identificar possíveis erros apresentados durante a simulação incluindo, o total do número de veículos, a demanda dos fluxos, o tempo total de viagem, o número de paradas, o tempo total de atraso, o tempo de aceleração e desaceleração, o consumo de combustível, a emissão de poluentes, dentre outros. Podendo ser obtidos por tramo, por veículo, ou por par origem-destino.

3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inicialmente, foram descritas as estratégias de controle dos semáforos, essenciais para identificar os modos de operação utilizados de acordo com as características do tráfego e da tecnologia disponível. Após a constatação de implantação de semáforos, a definição do modo de controle é necessária, uma vez que este deve atender aos objetivos pelo qual o semáforo deve ser implantado, como nos casos de: semáforos demandados, semáforos para pedestres. ou aqueles destinados a melhoria do sistema progressivo.

Este capítulo foi importante também para o conhecimento das características dos modelos de otimização, assim como dos modelos de simulação utilizados na engenharia de tráfego, de modo a selecionar aqueles modelos que mais atendem aos objetivos da presente pesquisa. As definições realizadas neste capítulo, assim como no Capítulo 02, são essenciais para a estruturação do Capítulo 04 onde serão aplicados os conhecimentos adquiridos ao longo desta pesquisa.

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será realizada inicialmente uma caracterização da área de estudo analisada, serão descritas as etapas de aplicação prática das metodologias de implantação de semáforos abordadas no Capítulo 02, e a etapa de análise operacional dos cenários propostos oriundos da aplicação dos critérios de implantação com base na ferramenta da microssimulação descrita no Capítulo 03.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CORREDOR ANALISADO

Com uma população estimada em 2.452.185 habitantes (IBGE, 2010), a cidade de Fortaleza, assim como os demais centros urbanos passa por um crescente aumento da frota veicular, no ano de 2010 existia 01 veículo para cada 3,5 habitantes. A cada mês são acrescidos em torno de 5.500 novos veículos à frota. A Figura 4.1 mostra a evolução da frota de Fortaleza, no período de 1990 a junho de 2011, onde se pode observar que o número de veículos praticamente triplicou nas últimas duas décadas.

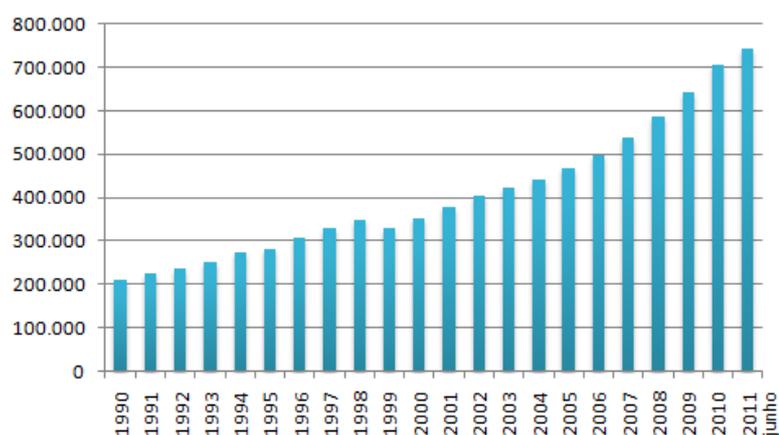


Figura 4.1: Evolução da frota de Fortaleza. Fonte: DETRAN/CE (2011)

Atualmente, a cidade de Fortaleza enfrenta além da problemática do crescimento da frota, a concentração de atividades em certas regiões, e conseqüentemente, a concentração de viagens para estes locais, o que provoca grandes congestionamentos e redução das velocidades dos veículos, traduzindo tudo isto em baixa mobilidade das

pessoas. Segundo LOUREIRO *et al.* (2004), as vias destas áreas onde ocorrem problemas relacionados ao trânsito, apresentam elevadas saturações e velocidades operacionais em médias igual a 20 km/h, no horário de pico. Avaliando o cenário atual da qualidade do tráfego destas áreas, conjuntamente com a tendência de crescimento da frota, e ainda a oferta restrita de infra-estrutura viária, percebe-se a necessidade do planejamento de ações mitigadoras de congestionamento, visando garantir a manutenção da qualidade do tráfego em níveis satisfatórios mínimos (PAULA *et al.* 2005).

No controle do tráfego, atualmente a cidade conta com aproximadamente 610 semáforos, sendo que 300 destes funcionam em tempo real, tendo os tempos otimizados pelo sistema *Split, Cycle and Offset Optimisation Technique- SCOOT* do CTAFOR, O restante dos semáforos opera em tempo fixo, com mudança de ciclo e tempo de verde programadas antecipadamente. A maioria dos semáforos em tempo real estão localizados na região leste da cidade, os demais encontram-se espalhados na região sul e oeste, prioritariamente nos locais em que há uma grande variabilidade do fluxo veicular ao longo do dia.

Na região central e oeste da cidade há grande concentração dos semáforos em tempo fixo, contudo estão sendo realizados estudos para tornar a operação destes semáforos em tempo real. Visualiza-se na Figura 4.2 a seguir a distribuição espacial dos semáforos existentes na cidade.

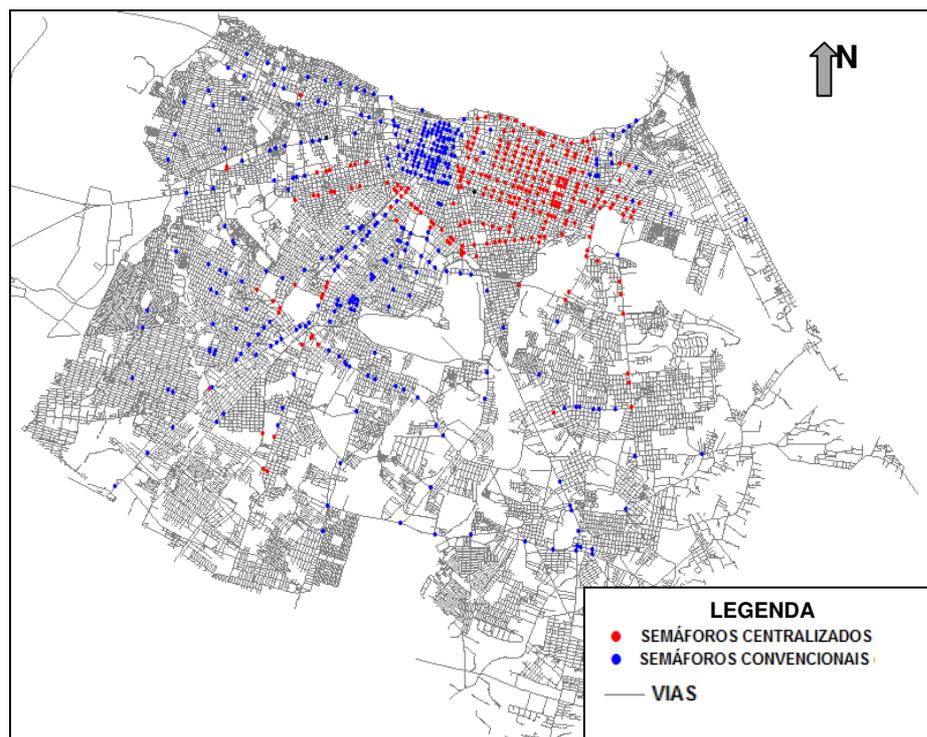


Figura 4.2: Distribuição espacial dos semáforos de Fortaleza

De acordo com o Plano Diretor de Semáforos de Fortaleza (AMC, 2009), houve na rede semafórica da cidade um crescimento de mais de 50% no número total de semáforos, entre os anos de 2000 e 2009, o que correspondeu a uma média de 02 semáforos implantados por mês na cidade. A Figura 4.3 indica a quantidade de semáforos implantados por ano no período de 2000 a janeiro de 2011. Pode-se observar que houve um declínio no ritmo de implantações nos anos de 2000 e 2001, e também nos anos 2004 e 2005, que são justificadas pelas mudanças administrativas de gestão política no órgão gestor, a AMC, ocorridas nestes anos.

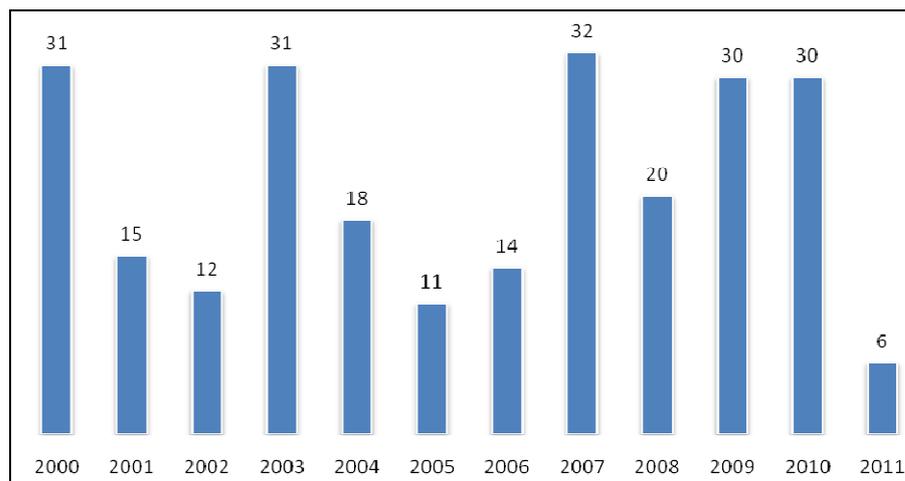


Figura 4.3: Semáforos implantados de janeiro de 2000 a janeiro de 2011

Diante este atual cenário, verifica-se que a cada ano o número de semáforos implantados na cidade vem crescendo sem o embasamento de um estudo científico que mostre os reais benefícios para o tráfego em geral, resultante de tais implantações. Assim, a presente pesquisa objetiva selecionar um corredor da cidade para representar adequadamente o comportamento de tráfego, com ou sem a implantação de semáforo nas interseções.

A via selecionada para a realização deste estudo de caso foi a Rua Meton de Alencar que, segundo a Lei de Uso e Ocupação do Solo de Fortaleza – LUOS/FOR (PMF, 1996), é classificada como via Comercial, definida como uma via destinada ao tráfego local nas áreas de urbanização prioritária com baixo padrão de fluidez, adequada às atividades comercial e de serviços com desenvolvimento limitado da atividade residencial.

Situa-se na região central de Fortaleza (Figura 4.4), tem baixo padrão de fluidez, atende ao tráfego local e também serve de escoamento ao tráfego da área por interligar-se com importantes vias do sistema viário: (i) as Avs. do Imperador e Tristão Gonçalves que são corredores de transportes coletivos, ligam a área central a região sul; (ii) a Av. Bezerra de Menezes, sendo também um corredor de transporte coletivo e que se conecta diretamente com a BR 222, saída oeste da cidade; e (iii) a Av. Dom Manuel, principal via de ligação da área central com a saída sul da cidade, a BR 116. Atualmente passam pela Rua Meton de Alencar 03 (três) linhas de transporte coletivo operadas por vans, com dois pontos de paradas no trecho em estudo.

A Figura 4.4 mostra a localização do trecho da Rua Meton de Alencar a ser estudado, posicionado na zona sul do núcleo central da cidade, com maior concentração de pessoas e veículos.

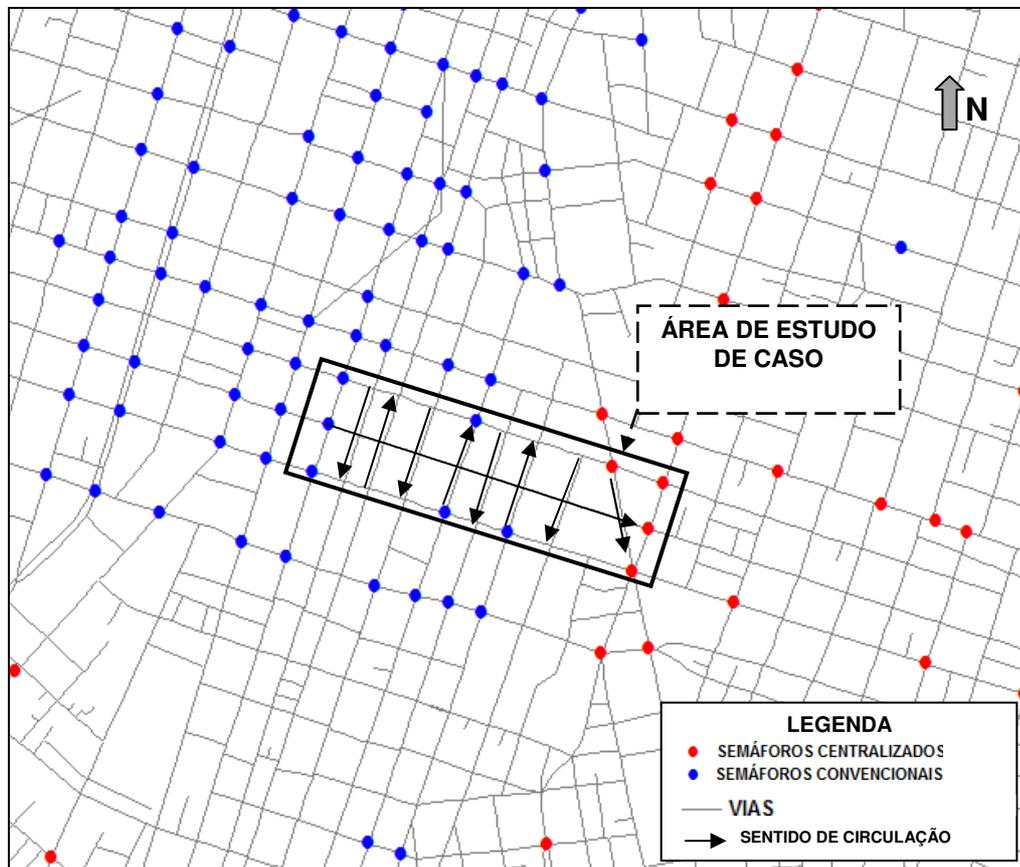


Figura 4.4: Localização do Trecho Analisado da Rua Meton de Alencar

Na Figura 4.5 tem-se o levantamento do uso do solo que foi realizado na região em março de 2011, classificado em: comercial, residencial, ensino ou institucional.

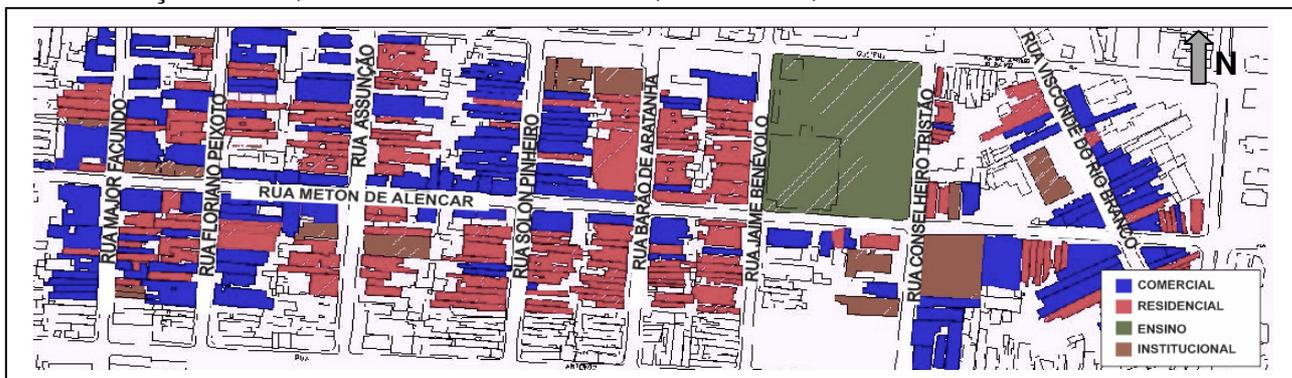


Figura 4.5: Uso do solo no corredor de estudo

Como verificado na Figura 4.5, este corredor possui características de uso do solo predominantemente residencial unifamiliar e comercial, circula pela via intenso volume de veículos de passeio e comercial, o que resulta em problemas relacionados ao tráfego, como os congestionamentos cada vez mais expressivos nos horários de pico, produzindo deslocamentos mais lentos e alto índice de acidentes de trânsito, com destaque para as colisões e abalroamentos.

O trecho da Rua Meton de Alencar, a ser estudado, tem cerca de 820 metros de extensão, possui uma pista de rolamento de aproximadamente 5,5 m de largura com duas faixas de tráfego com sentido único de circulação, oeste/leste. As vias transversais, que cruzam este trecho, possuem sentido único de circulação, com duas faixas de tráfego, e formam binário de tráfego com sentido de circulação norte/sul e sul/norte (Figura 4.4).

A Rua Meton de Alencar é via preferencial em cinco das oito interseções analisadas, e as secundárias são sinalizadas com placa de *Parada Obrigatória* (ver Tabela 4.1). Estas alternâncias de regras de prioridade de passagem ao longo do trecho se dão devido ao fato de que algumas vias possuem volume veicular superior à Rua Meton de Alencar, o que produz paradas sucessivas do tráfego, além de propiciar a ocorrência de acidentes de trânsito tipo abalroamento, uma vez que essas mudanças de prioridade requerem maior atenção dos motoristas.

Tabela 4.1: Interseções analisadas do corredor de estudo

Numeração	Interseções	Controle do tráfego
01	R. Meton de Alencar x R. Major Facundo	Preferencial
02	R. Meton de Alencar x R. Floriano Peixoto	Preferencial
03	R. Meton de Alencar x R. Assunção	Preferencial
04	R. Meton de Alencar x R. Solon Pinheiro	Secundária
05	R. Meton de Alencar x R. Barão de Aratanha	Preferencial
06	R. Meton de Alencar x R. Jaime Benévolo	Secundária
07	R. Meton de Alencar x R. Conselheiro Tristão	Preferencial
08	R. Meton de Alencar x R. Visconde do Rio	Secundária

4.3 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS REALIZADAS

O estudo de caso foi dividido em três etapas, a primeira contempla a aplicação dos critérios de implantação de semáforos constantes nas metodologias estudadas, descritas no Capítulo 02, a segunda consiste da definição de estratégias de coordenação dos semáforos resultantes da utilização de um otimizador de tráfego, e a terceira aborda a análise operacional dos cenários propostos com base na aplicação dos critérios de implantação através da ferramenta de microssimulação.

- Etapa 1- Aplicação das metodologias de implantação de semáforos: esta fase contempla visita ao trecho e levantamentos de aspectos como: uso do solo, geometria, conflitos do tráfego, coleta de dados (volume veicular de acordo com os períodos de análise de cada metodologia), e dados relativos aos acidentes de trânsito. O objetivo desta etapa é identificar em quais as interseções serão necessárias implantações de semáforos, de acordo com os procedimentos de cada metodologia aplicada, para posterior montagem dos cenários que serão simulados.
- Etapa 2 - Definição da estratégia de coordenação: definição do modo de operação dos semáforos (isolados ou coordenados), identificação dos horários de início e fim dos ciclos, definição do número de fases de cada semáforo, assim como os tempos de verde e entre - verde. Nesta fase será utilizada uma ferramenta de otimização para definir a melhor estratégia de coordenação semafórica para o corredor de estudo.
- Etapa 3 - Análise operacional da implantação de semáforos: consiste no levantamento geométrico do trecho, na coleta de dados (volume veicular direcional), e na calibração e validação do simulador utilizado. Nesta etapa, serão simulados tanto o cenário atual no corredor com 8 interseções não semaforizadas, como também os cenários oriundos da primeira etapa.

As três etapas, a serem desenvolvidas no estudo de caso, podem ser visualizadas na Figura 4.6.

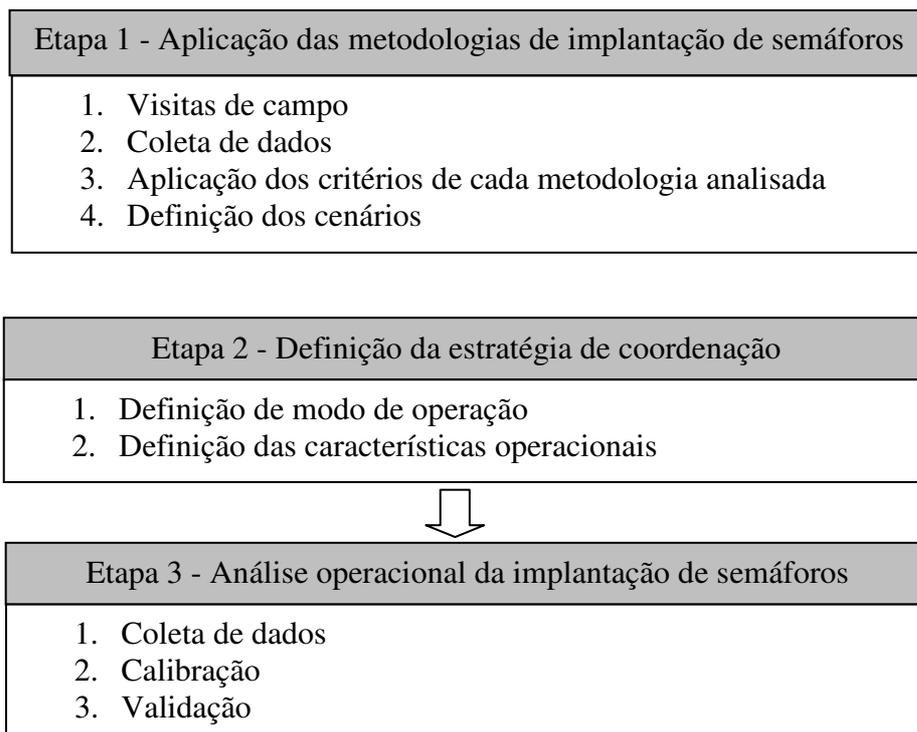


Figura 4.6: Fluxograma das Etapas do Estudo de Caso

Foram realizadas visitas em cada interseção analisada durante os picos da manhã, do meio dia e da tarde, a fim de se verificar os seguintes aspectos: condições das sinalizações verticais e horizontais, geometria do local (largura dos passeios, canteiro central e raio de giro), existência de semáforo nas proximidades, condições da pavimentação, existência de deformações na via, visibilidade dos condutores e pedestres dos movimentos conflitantes, iluminação da via, dos passeios, e das travessias, condições dos passeios (áreas de espera, obstruções, e rebaixamento de guias), aspectos do uso do solo (zona comercial, residencial e outros), existência de estacionamento, e localização dos pontos de parada dos transportes coletivos.

Esta etapa do estudo é importante para o conhecimento das características do trecho analisado, como também para identificar as dificuldades encontradas pelas pessoas e veículos quando circulam pelos cruzamentos. Dentre os problemas observados, destacam-se os constantes acidentes de trânsito e os congestionamentos. Serão discriminados, a seguir, os resultados dos levantamentos dos aspectos observados em cada interseção:

- *Sinalização vertical*: de todas as interseções visitadas somente uma apresenta deficiências quanto à sinalização vertical, estando esta encoberta por vegetação.
- *Sinalização horizontal*: a sinalização horizontal encontra-se desgastada ou completamente apagada nos seguintes cruzamentos da Rua Meton de Alencar: Rua Assunção, Rua Sólon Pinheiro, Rua Conselheiro Tristão e Av. Visconde do Rio Branco.
- *Geometria do local/Larguras de passeio/Raio de Giro*: a região em análise caracteriza-se por ter uma malha reticulada, com geometria padronizada, mesmo raio de giro nos cruzamentos e passeios de mesma largura. Nas vistorias não foram constatados problemas relacionados a estes aspectos.
- *Pavimentação*: as vias estão com pavimentação em bom estado de conservação, não sendo verificadas deformações que prejudicasse a fluidez do tráfego.
- *Visibilidade*: os condutores circulam pelas vias secundárias enfrentam problemas de visibilidade devido às edificações e áreas de estacionamentos posicionadas ao longo da Rua Meton de Alencar. Os pedestres têm boa visibilidade dos fluxos de tráfego nos cruzamentos.
- *Iluminação*: não foram verificados problemas de iluminação pública.
- *Condições dos passeios*: ao longo da Rua Meton de Alencar, assim como as vias transversais, os passeios não possuem pavimento padronizado, e os locais de espera são confortáveis, não se verificando obstruções.
- *Travessia de pedestres*: o fluxo de pedestre se distribui uniformemente ao longo das vias, não sendo constatados períodos de concentração de pedestres nas travessias, estas são realizadas de maneira segura, devido a existente de brechas e a pequena largura das vias.

- *Rebaixamento de guias*: em nenhuma das vias analisadas foi verificado o rebaixamento de guias nos cruzamentos ou em locais necessários.
- *Estacionamento*: na Rua Meton de Alencar é permitido o estacionamento de veículos ao longo da via, na faixa da esquerda, enquanto que nas vias transversais o estacionamento é permitido na faixa da direita ou da esquerda.
- *Paradas de ônibus*: atualmente existem duas paradas de ônibus no trecho em estudo, uma na quadra entre as Ruas Barão do Rio Branco e Major Facundo e a outra entre as Ruas Assunção e Sólon Pinheiro. Estas paradas geram conflitos no tráfego de passagem, uma vez que a via só possui duas faixas de tráfego, ficando a da esquerda obstruída pelos estacionamentos, e a da direita, por onde circulam os veículos, fica bloqueada constantemente devido à operação de embarque/desembarque dos passageiros do transporte coletivo.

Após o levantamento inicial das características físicas e operacionais relacionadas ao tráfego, ao longo do corredor e das vias transversais, serão aplicadas as metodologias de implantação de semáforos descritas no Capítulo 02.

4.4 ETAPA 01: APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS

Nas vistorias realizadas nas interseções do corredor em estudo, verificou-se que os conflitos existentes são, em sua maioria, veiculares. Os poucos pedestres que circulam ao longo da Rua Meton de Alencar e nas suas vias transversais não sofrem atrasos excessivos nos seus deslocamentos.

Ao se analisar os acidentes de trânsito ocorridos ao longo da Rua Meton de Alencar entre os anos 2004 a 2010 de acordo com o Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito - SIAT-FOR (2010), constatou-se, como pode ser visualizado no gráfico da Figura 4.7, que não foi registrado nenhum acidente envolvendo pedestre. Ocorreram 401 acidentes envolvendo veículos dos tipos colisão e abalroamento, sendo que 80% destes aconteceram durante os dias úteis, de segunda-feira a sexta-feira. Tais

acidentes confirmam os conflitos veiculares na área em estudo.

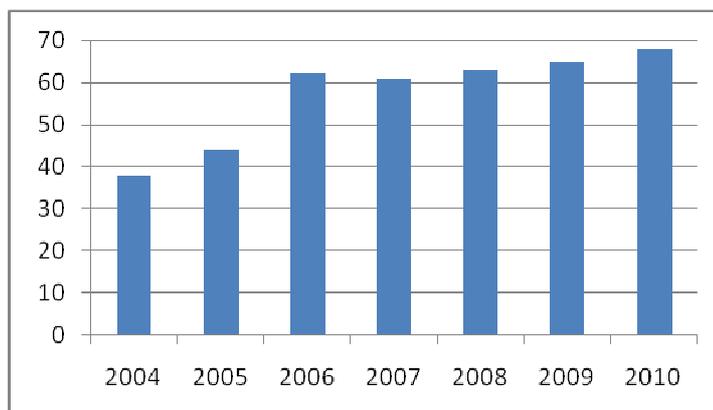


Figura 4.7: Número de acidentes na Rua Meton de Alencar entre as Ruas Barão do Rio Branco e Av. Dom Manuel. Fonte: SIATFOR (2010)

As informações necessárias para as aplicações das metodologias de implantação de semáforo analisadas, incluem as seguintes:

- *volume veicular*: foram realizadas contagens manuais de veículos nas oito interseções estudadas, durante os períodos solicitados por cada metodologia: hora de pico, quatro, oito e dez horas de maior volume.
- *acidentes de trânsito*: os dados relativos aos acidentes de trânsito, em cada local analisado, foram extraídos do banco de dados do SIAT-FOR, durante os últimos 12 meses, como considerado nas metodologias.

4.4.1 Aplicação da Metodologia Americana

A metodologia americana sugere que o semáforo não deve ser implantado sem que, ao menos um ou mais dos oito critérios propostos sejam atendidos. Entretanto reforça que, a satisfação de um ou mais critérios não é justificativa para a implantação do semáforo, devendo ser complementado com análise das condições do local, além do julgamento por parte de técnicos. Caso nenhum dos critérios seja satisfeito, indica-se a análise de outras alternativas para solução dos problemas.

Seguindo a Metodologia Americana são aplicados os seguintes critérios: (i) 08 (oito) horas de maior volume (600 veículos/hora na via principal e 200 veículos/h na via

secundária); (ii) 04 (quatro) horas de maior volume (ver Figura 2.6); e (iii) Índice de Acidentes (ocorrência de no mínimo 5 acidentes com vítimas nos últimos 12 meses).

Analisando os dados de volumes de veículos das 08 horas mais carregadas e os índices de acidentes nos cruzamentos estudados, como visualizados na Tabela 4.2, constatou-se que em apenas dois cruzamentos, Rua Meton de Alencar com a Rua Floriano Peixoto e com a Av. Visconde do Rio Branco, possuem dados suficientes para justificar a implantação de semáforo.

Tabela 4.2: Aplicação dos critérios da Metodologia Americana (volume de 08 horas)

Via Principal	Volume de 08 horas da Via Principal (veic/h)	Via Secundária	Volume de 08 horas da Via Secundária (veic/h)	Índice de Acidentes
Meton de Alencar	528	Major Facundo	246	3
Meton de Alencar	604	Floriano Peixoto	287	5
Meton de Alencar	583	Assunção	264	1
Solon Pinheiro	570	Meton de Alencar	530	6
Meton de Alencar	401	Barão de Aratanha	354	2
Jaime Benévolo	459	Meton de Alencar	331	7
Meton de Alencar	455	Conselheiro Tristão	74	0
Visconde do Rio	647	Meton de Alencar	380	5

Aplicando-se os critérios das 04 (quatro) horas de maior volume e o índice de acidentes nos oitos cruzamentos estudados, foram identificados 02 cruzamentos para implantação de semáforo, Rua Solon Pinheiro com Rua Meton de Alencar, e Av. Visconde do Rio Branco com Rua Meton de Alencar. Ou seja, só nestes dois cruzamentos foram atendidos, simultaneamente, aos critérios para a implantação.

Tabela 4.3: Aplicação dos critérios da Metodologia Americana (volume de 04 horas)

Via Principal	Volume de 04 horas da Via Principal (veic/h)	Via Secundária	Volume de 04 horas da Via Secundária (veic/h)	Índice de Acidentes
Meton de Alencar	646	Major Facundo	304	3
Meton de Alencar	662	Floriano Peixoto	306	5
Meton de Alencar	620	Assunção	297	1
Solon Pinheiro	623	Meton de Alencar	620	6

Meton de Alencar	451	Barão de Aratanha	387	2
Jaime Benévolo	494	Meton de Alencar	356	7
Meton de Alencar	530	Conselheiro Tristão	94	0
Visconde do Rio Branco	765	Meton de Alencar	441	5

Como foram obtidos resultados diferentes na aplicação da Metodologia Americana foi decidido utilizar ambos os resultados na etapa de análise dos cenários propostos de acordo com as metodologias.

4.4.2 Aplicação da Metodologia Australiana

No “*Guide To Traffic Engineering Practice Series*” publicado em 2003, são encontrados os critérios acerca da implantação ou não de semáforos, indica-se que os mesmos sejam aplicados em locais que tenham velocidade igual ou inferior a 80 km/h, pois quando aplicados em locais com velocidade superior a 80 km/h devem ser tomadas medidas para garantir a operação segura do dispositivo. As orientações gerais para instalação de semáforos em cruzamento são, sempre que os critérios alternativos, ou suplementares, possam ser aplicados, todos os outros fatores relevantes devem ser levados em conta, e o julgamento adequado da engenharia deve ser exercido.

Os locais identificados para a implantação de semáforo, segundo a Metodologia Australiana, devem atender simultaneamente aos requisitos: (i) demanda de veículo (04 horas de maior volume (600 veículos/h na via principal e 200 veículos/h na via secundária); e (ii) índice de Acidentes (ocorrência de 03 (três) ou mais acidentes com vítimas por ano). A Tabela 4.4 apresenta os dados dos cruzamentos, segundo os critérios adotados na Metodologia Australiana, com destaque aos 05 (cinco) locais indicados para a implantação de semáforos.

Tabela 4.4: Aplicação dos Critérios da Metodologia Australiana

Via Principal	Volume de 04 horas Via Principal (veic/h)	Via Secundária	Volume de 04 horas Via Secundária (veic/h)	Índice de Acidentes
Meton de Alencar	646	Major Facundo	304	3
Meton de Alencar	662	Florian Peixoto	306	5
Meton de Alencar	620	Assunção	297	1

Solon Pinheiro	623	Meton de Alencar	620	6
Meton de Alencar	451	Barão de Aratanha	387	2
Jaime Benévolo	494	Meton de Alencar	356	7
Meton de Alencar	530	Conselheiro Tristão	94	0
Visconde do Rio Branco	765	Meton de Alencar	441	5

4.4.3 Aplicação da Metodologia Escocesa

Na aplicação da Metodologia Escocesa devem ser atendidos, simultaneamente, os critérios: (i) fluxo veicular mínimo correspondente às 04 horas de maior volume (500 veículos/h na via principal e 150 veículos/h na via secundária para as vias localizadas no grande centro urbano); e (ii) índice de acidentes de trânsito, correspondente a ocorrência de no mínimo 5 acidentes com vítima, durante o período de um ano. Visualiza-se na Tabela 4.5, os dados dos cruzamentos correspondentes aos critérios da Metodologia Escocesa, sendo identificados 03 cruzamentos para a implantação de semáforo, na Rua Meton de Alencar com a Rua Floriano Peixoto, Rua Sólton Pinheiro e Av. Visconde do Rio Branco.

Tabela 4.5: Aplicação dos Critérios da Metodologia Escocesa

Via Principal	Volume de 04 horas Via Principal (veic/h)	Via Secundária	Volume de 04 horas Via Secundária (veic/h)	Índice de Acidentes
Meton de Alencar	646	Major Facundo	304	3
Meton de Alencar	662	Floriano Peixoto	306	5
Meton de Alencar	620	Assunção	297	1
Solon Pinheiro	623	Meton de Alencar	620	6
Meton de Alencar	451	Barão de Aratanha	387	2
Jaime Benévolo	494	Meton de Alencar	356	7
Meton de Alencar	530	Conselheiro Tristão	94	0
Visconde do Rio Branco	765	Meton de Alencar	441	5

4.4.4 Aplicação da Metodologia do DENATRAN

A Metodologia do DENATRAN (1984) informa que os critérios não são absolutos e servem apenas como guia geral para análise da necessidade de instalação de

um semáforo. É enfatizado que os julgamentos pessoais, fundamentados no conhecimento do local são também bastante importantes na tomada de decisão. Nas análises são considerados, simultaneamente, os seguintes critérios para a identificação dos locais onde devem ser implantado semáforo: (i) volume veicular mínimo, sendo analisada a média das 08 (oito) horas de maior volume da via principal e na via secundária (600 veículos/h na via principal e 200 veículos/h na via secundária) e (ii) índice de acidentes, considerando a ocorrência de no mínimo 5 acidentes com vítimas por ano.

Desta forma, tem-se na Tabela 4.6 os dados levantados para cada interseção analisada, assim como destacados os 02 cruzamentos que atenderam aos critérios necessários para a implantação de semáforo, Rua Meton de Alencar com Rua Floriano Peixoto e Rua Meton de Alencar com Av. Visconde do Rio Branco.

Tabela 4.6: Aplicação dos Critérios da Metodologia do DENATRAN

Via Principal	Volume 08 horas Via Principal (veic/h)	Via Secundária	Volume 08 horas Via Secundária (veic/h)	Índice de Acidentes
Meton de Alencar	528	Major Facundo	246	3
Meton de Alencar	604	Floriano Peixoto	287	5
Meton de Alencar	583	Assunção	264	1
Solon Pinheiro	570	Meton de Alencar	530	6
Meton de Alencar	401	Barão de Aratanha	354	2
Jaime Benévolo	459	Meton de Alencar	331	7
Meton de Alencar	455	Conselheiro Tristão	74	0
Visconde do Rio	647	Meton de Alencar	380	5

4.4.2 Aplicação da Metodologia Argentina

O manual da Metodologia de Instalação de semáforo destaca que, caso a implantação do dispositivo for realizada corretamente, esta poderá trazer muitos benefícios, porém se um ou mais semáforos forem instalados e operarem de forma deficiente, poderão perturbar tanto o trânsito de veículos, como o de pedestres. Indica ainda que seja realizado um estudo completo das condições da interseção e do trânsito em geral.

Para a definição dos locais indicados para implantação de semáforos, segundo a metodologia Argentina, foram considerados os seguintes critérios: (i) categoria da via preferencial, e que esteja localizada em área urbana; (ii) determinação da velocidade máxima permitida de 60km/h, regulamentada nas vias que formam a interseção; (iii) caracterização do local onde se pretende instalar o semáforo; e (iv) volume veicular mínimo da vias da interseção, sendo analisado o intervalo de 10 horas (400 veículos/h na via principal e 150 veículos/h na via secundária).

Aplicando-se os critérios da Metodologia Argentina nos cruzamentos estudados, tem-se na Tabela 4.7 os dados levantados de cada interseção, segundo os critérios analisados, sendo que em apenas um cruzamentos tais critérios não foram atendidos, na Rua Meton de Alencar com a Rua Conselheiro Tristão.

Tabela 4.7: Aplicação dos Critérios da Metodologia Argentina

Via Principal	Volume de 10 horas Via Principal (veic/h)	Via Secundária	Volume de 10 horas Via Secundária (veic/h)	Índice de Acidentes
Meton de Alencar	582	Major Facundo	277	3
Meton de Alencar	631	Floriano Peixoto	296	5
Meton de Alencar	610	Assunção	278	1
Solon Pinheiro	587	Meton de Alencar	591	6
Meton de Alencar	420	Barão de Aratanha	368	2
Jaime Benévolo	476	Meton de Alencar	342	7
Meton de Alencar	501	Conselheiro Tristão	81	0
Visconde do Rio	710	Meton de Alencar	418	5

Concluída esta primeira etapa do estudo, cujo objetivo foi a aplicação das metodologias estudadas para a implantação de semáforo nos 08 (oito) cruzamentos de um trecho da Rua Meton de Alencar, onde foram considerados como critério de avaliação o volume veicular, cujo período de análise é diferente em cada metodologia, 10 horas, 08 horas, e/ou 4 horas de maior volume, e também foi observado o índice de acidentes de trânsito em cada local, com quantidade mínima de acidentes de 03 e 05 ocorrências por ano, exceto na metodologia Argentina que não considera este critério.

Tem-se na Tabela 4.8 o resumo das aplicações das metodologias estudadas, onde é possível visualizar os locais que foram indicados ou não, a implantação de semáforos que irão compor os cenários que serão avaliados na terceira etapa do presente estudo. Observa-se que, a Metodologia Americana apresenta duas situações: A (volume de 08 horas) e B (volume de 04 horas), sendo que a situação A apresentou os mesmos resultados da Metodologia do DENATRAN, tendo os mesmos locais para implantação de semáforos. Desta forma, serão considerados como cenários os resultados das Metodologias: DENATRAN, Argentina, Austrália, Escócia e as situações A e B da Americana.

Tabela 4.8: Resumo das indicações de semáforos segundo cada metodologia analisada

CRUZAMENTO	METODOLOGIA					
	AMERICANA		AUSTRALIANA	ESCÓCIA	DENATRAN	ARGENTINA
	A	B				
Meton de Alencar x Major Facundo	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM
Meton de Alencar x Floriano Peixoto	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM
Meton de Alencar x Assunção	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM
Meton de Alencar x Solon Pinheiro	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM
Meton de Alencar x Barão de Aratanha	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM
Meton de Alencar x Jaime Benévolo	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM
Meton de Alencar x Conselheiro Tristão	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Meton de Alencar x Visconde do Rio	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

4.5 ETAPA 02: DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE COORDENAÇÃO E OPERAÇÃO DOS SEMÁFOROS

Após a definição dos locais indicados para implantação de semáforo, conforme os critérios de cada metodologia analisada, nesta segunda etapa do estudo será definido o modo de coordenação dos semáforos, determinando se estes semáforos propostos irão

operar de forma isolada, ou coordenados. Esta determinação terá como base a aplicação do “Índice de Interdependência” estabelecido pelo DENATRAN (1984) e especificado no Capítulo 03.

4.5.1 Definição da Estratégia de Coordenação

Para esta etapa, além dos semáforos considerados na análise do trecho da via estudado, foram também incluídos os semáforos existentes próximos a este local, por influenciarem o tráfego da área, controlando tanto os veículos que entram, como os que saem no trecho em estudo (Figura 4.8). Foram analisados pares consecutivos de cruzamentos semaforizados, de forma a identificar, com a aplicação do Índice de Interdependência, aqueles que irão operar de forma isolada ou coordenada. Assim, foram também analisados os cruzamentos semaforizados descritos na Tabela 4.9 seguir.

Tabela 4.9: Relação dos cruzamentos também considerados para a análise do modo de coordenação dos semáforos do corredor de estudo

CÓDIGO DO SEMÁFORO EXISTENTE	CRUZAMENTO
107	R. Sólon Pinheiro x R. Clarindo de Queiróz
516	R. Visconde do Rio Branco x R. Clarindo de Queiróz
228	R. Br. do Rio Branco x R. Meton de Alencar
227	Av. Dom Manuel x R. Meton de Alencar
010	R. Sólon Pinheiro x R. Antônio Pompeu
132	R. Jaime Benévolo x R. Antônio Pompeu
090	Av. Dom Manuel x Rua Antônio Pompeu

A Figura 4.8 mostra a localização das 08 (oito) interseções a serem analisadas ao longo do trecho da Rua Meton de Alencar, e também os 07 (sete) cruzamentos

002	008	ISOLADO	ISOLADO
008	227	COORDENADO	COORDENADO
008	516	COORDENADO	COORDENADO
008	090	COORDENADO	COORDENADO

Analisando as informações da Tabela 4.10, verifica-se que os resultados do modo de coordenação aplicados a Metodologia Americana – Situação A, foram os mesmos tanto para o Índice de Interdependência com a escala do DENATRAN (1984) quando de FREITAS *et al.* (2009), sendo assim indicados dois grupos de coordenação semafóricas na área de estudo, o que não aconteceu no caso da aplicação para a Metodologia Americana – Situação B, conforme Tabela 4.11, onde em dois pares de semáforos analisados apresentaram divergências quanto ao modo de coordenação, ou seja, na aplicação do índice de interdependência DENATRAN (1984), para os pares “228/004” e “004/008” foi indicado o controle do tipo isolado, enquanto que na aplicação das escalas propostas por FREITAS *et al.* (2009) foi atribuído o controle com semáforos coordenados.

Tabela 4.11: Resultado dos Modos de Coordenação conforme Cenário Proposto pela metodologia Americana – Situação B

SEMÁFORO 01	SEMÁFORO 02	RESULTADO DO ÍNDICE DE	
		DENATRAN (1984)	FREITAS <i>et. al</i> (xxxx)
228	004	ISOLADO	COORDENADO
010	004	COORDENADO	COORDENADO
004	107	COORDENADO	COORDENADO
004	008	ISOLADO	COORDENADO
008	227	COORDENADO	COORDENADO
008	516	COORDENADO	COORDENADO
008	090	COORDENADO	COORDENADO

Na Tabela 4.12 a seguir, para os pares de cruzamentos semafóricos analisados pela Metodologia da Austrália, o modo de coordenação apresentou os mesmos resultados quando foi aplicado o índices com as escalas do DENATRAN (1984) e de FREITAS *et. al* (xxxx) em todos os 11 pares de semáforos analisados. Desta forma, sendo indicados a separação dos semáforos da região analisada em dois grupos de coordenação.

Tabela 4.12: Resultado dos Modos de Coordenação conforme Cenário Proposto pela Metodologia da Austrália

SEMÁFORO 01	SEMÁFORO 02	RESULTADO DO ÍNDICE DE	
		DENATRAN (1984)	FREITAS <i>et. al</i> (xxxx)
228	001	COORDENADO	COORDENADO
001	002	COORDENADO	COORDENADO
002	004	COORDENADO	COORDENADO
010	004	COORDENADO	COORDENADO
004	107	COORDENADO	COORDENADO
004	006	COORDENADO	COORDENADO
132	006	COORDENADO	COORDENADO
006	008	ISOLADO	ISOLADO
008	227	COORDENADO	COORDENADO
008	516	COORDENADO	COORDENADO
008	090	COORDENADO	COORDENADO

Com a aplicação do índice aos resultados obtidos com a aplicação da Metodologia da Escócia, dois pares de semáforos analisados tiveram indicação diferentes para o modo de coordenação. Ou seja, na aplicação do índice de interdependência DENATRAN (1984), para os pares “002/004” e “004/008”, foi indicado o controle do tipo isolado, enquanto que na aplicação das escalas propostas por FREITAS *et al.* (2009), foi indicado a coordenação dos semáforos.

Tabela 4.13: Resultado dos Modos de Coordenação conforme Cenário Proposto pela Metodologia da Escócia

SEMÁFORO 01	SEMÁFORO 02	RESULTADO DO ÍNDICE DE	
		DENATRAN (1984)	FREITAS <i>et. al</i> (xxxx)
228	002	COORDENADO	COORDENADO
002	004	ISOLADO	COORDENADO
010	004	COORDENADO	COORDENADO
004	107	COORDENADO	COORDENADO
004	008	ISOLADO	COORDENADO
008	227	COORDENADO	COORDENADO
008	516	COORDENADO	COORDENADO
008	090	COORDENADO	COORDENADO

Já a Tabela 4.14 a seguir, apresenta os resultados da aplicação do índice na Metodologia do DENATRAN, onde é possível constatar que, para as duas escalas adotadas, todos os pares de semáforos analisados não apresentaram divergências quanto ao modo de coordenação, sendo formados dois grupos de coordenação com os semáforos que compõem a área de estudo.

Tabela 4.14: Resultado dos Modos de Coordenação conforme Cenário Proposto pela Metodologia do DENATRAN

SEMÁFORO 01	SEMÁFORO 02	RESULTADO DO ÍNDICE DE	
		DENATRAN (1984)	FREITAS <i>et. al</i> (xxxx)
228	002	COORDENADO	COORDENADO
002	008	ISOLADO	ISOLADO
008	227	COORDENADO	COORDENADO
008	516	COORDENADO	COORDENADO
008	090	COORDENADO	COORDENADO

Para os pares de cruzamentos semafóricos indicados na Tabela 4.15, a definição do modo de coordenação dos pares de semáforos analisados foram os mesmos na aplicação da Metodologia da Argentina, quando se aplicou o índice considerando a escala do DENATRAN (1984) e de FREITAS *et al.* (2009), sendo indicada, desta forma, a separação dos semáforos da área de estudo em dois grupos de isolamento.

Tabela 4.15: Resultado dos Modos de Coordenação conforme Cenário Proposto pela Metodologia da Argentina

SEMÁFORO 01	SEMÁFORO 02	RESULTADO DO ÍNDICE DE	
		DENATRAN (1984)	FREITAS <i>et. al</i> (xxxx)
228	001	COORDENADO	COORDENADO
001	002	COORDENADO	COORDENADO
002	003	COORDENADO	COORDENADO
003	004	COORDENADO	COORDENADO
010	004	COORDENADO	COORDENADO
004	107	COORDENADO	COORDENADO
004	005	COORDENADO	COORDENADO
005	006	COORDENADO	COORDENADO
132	006	COORDENADO	COORDENADO
006	008	ISOLADO	ISOLADO
008	227	COORDENADO	COORDENADO
008	516	COORDENADO	COORDENADO
008	090	COORDENADO	COORDENADO

Concluindo estas análises, foi verificado que, nas aplicações das metodologias, Americana – Situação A, Austrália, DENATRAN, e Argentina, todas apresentaram os mesmos resultados na aplicação do Índice de Interdependência quando considerados as escalas do DENATRAN (1984) e FREITAS *et al.* (2009). Apenas nas metodologias Americana – Situação B e da Escócia, ocorreram divergências na indicação do modo de coordenação, ou seja, verifica-se que nas análises dos cenários que incluem os cruzamentos “004/008”, estas duas metodologias, quando se aplicou os índices do DENATRAN (1984) sempre indicaram o controle tipo isolado, e os índices de FREITAS *et al* (2009) indicaram o tipo de controle coordenados.

Percebe-se com a aplicação destas duas escalas do Índice de Interdependência que com o rebaixamento feitos nos valores da escala de FREITAS *et al* (2009) em relação aos adotados por DENATRAN (1984), aquela tende a priorizar a operação de forma coordenada dos semáforos da região de estudo quanto esta prioriza a operação de forma isolada.

4.5.2 Definição da Estratégia de Operação

Finalizada a etapa de aplicação das Metodologias de Implantação de Semáforos e as definições do Modo de Coordenação dos semáforos propostos, partiu-se agora para a identificação do Modo de Operação dos mesmos, seguindo as definições encontradas em cada uma das etapas anteriores. Foi utilizado o *Software TRANSYT* (CRABTREE,1999), para a definição do melhor ciclo, tempo de verde e defasagens entre os semáforos.

Para tanto foram coletados os seguintes dados da área em estudo: configurações da rede, fluxo de saturação, velocidades dos veículos, fluxo de tráfego nas aproximações dos cruzamentos analisados, entre outros dados. Quanto ao fluxo de tráfego a ser considerado nesta análise, foi selecionado o período mais crítico do cruzamento. Nas pesquisas de volumes tráfego realizadas nas interseções foi verificado que o período mais crítico, com maiores problemas relacionados ao tráfego, é de 07h30min às 08h30min. Portanto, nos cenários foram simulados durante este período do pico da manhã, representando a situação de alta demanda no corredor. Desta forma, foi possível avaliar o efeito sobre o tráfego em condições de alta saturação das intervenções propostas nos cenários.

Todos os semáforos propostos com a aplicação das Metodologias de Implantação de Semáforos foram concebidos para operar com dois estágios veiculares, com entreverde de seis segundo, sendo quatro segundos de amarelo e dois segundos de vermelho geral. Esta configuração de estágios se deu devido às características do tráfego da região, não sendo observados conflitos que necessitem de esquerda/direita livre, estágios para pedestres, dentre outras adequações semafóricas. Para o tempo de entre-verde foi utilizado o mesmo valor adotado em grande parte dos semáforos da Cidade de Fortaleza.

De acordo com OLIVEIRA NETO (2004) o *TRANSYT* obtém uma configuração ótima por um processo do tipo “*Hill climbing*”. Inicialmente, o *TRANSYT* calcula o Índice de Performance (PI) da rede para uma configuração inicial de tempos semafóricos. Qualquer configuração que não viole os tempos mínimos de verde e seja capaz de suportar o tráfego é adequada. O programa, então, altera a defasagem de um semáforo da rede por um número de passos predefinido, recalculando o seu PI. Se o valor do PI é reduzido, a defasagem é alterada sucessivamente na mesma direção por um mesmo número de passos até o valor mínimo do PI ser alcançado. Se a alteração inicial da defasagem acrescenta o valor do PI, a defasagem do semáforo é alterada na direção oposta até que o valor mínimo seja obtido.

Foram realizadas simulações no *TRANSYT* para avaliação do desempenho de diferentes tamanhos de ciclo, tempo de verde e defasagens entre os cenários propostos. Para cada um dos sete Cenários foram simulados ciclos de: 88, 96, 104, 112, 120, 128, 144, 160 segundo. Os resultados do Índice de Performance para cada semáforo isolado ou grupo de coordenação de acordo com cada um dos sete cenários analisados, encontram-se na Tabela 4.16, em destaque os valores de ciclo que obtiveram os menores valores do PI e conseqüentemente adotados na etapa de simulação dos cenários no Software *Integration*.

Tabela 4.16: Resultado das Simulações dos Cenários Propostos no TRANSYT

CICLOS SIMULADOS (s)	CENÁRIO 01				CENÁRIO 02				CENÁRIO 03	CENÁRIO 04			CENÁRIO 05				CENÁRIO 06	CENÁRIO 07	
	010	107	GC-01	GC-2	228	132	GC-01	GC-02	GC-01	GC-01	GC-02	132	GC-01	GC-02	GC-03	GC-01	GC-01	GC-02	
	INDICE DE PERFORMANCE (IP)																		
88	108,00	112,60	196,10	1882,00	140,90	108,10	408,60	1882,00	4047,80	744,90	1882,00	108,10	196,10	408,60	1882,00	2397,70	839,20	1882,00	
96	110,00	109,90	183,00	1577,50	135,03	105,90	390,50	1577,50	3752,40	740,80	1577,50	105,90	183,00	390,50	1577,50	2084,10	837,60	1577,50	
104	112,30	115,60	189,30	1429,30	134,00	108,20	388,90	1429,30	3554,10	751,90	1429,30	108,20	189,30	388,90	1429,30	1948,80	850,80	1429,30	
112	119,00	118,00	190,80	1476,80	138,30	110,80	410,60	1476,80	3505,40	752,50	1476,80	110,80	190,80	410,60	1476,80	2017,30	887,40	1476,80	
120	122,10	125,20	197,70	1387,70	146,70	117,60	415,50	1387,70	3579,90	816,60	1387,70	117,60	197,70	415,50	1387,70	1950,90	924,50	1387,70	
128	125,40	128,10	200,30	1316,00	149,90	120,70	422,20	1316,00	3519,90	838,20	1316,00	120,70	200,30	422,20	1316,00	1893,80	949,00	1316,00	
144	128,50	130,20	202,20	1197,30	152,00	127,50	432,90	1197,30	3267,30	866,60	1197,30	127,50	202,20	432,90	1197,30	1791,60	978,00	1197,30	
160	136,20	137,30	212,40	1142,20	165,60	130,70	443,20	1142,20	3210,60	913,80	1142,20	130,70	212,40	443,20	1142,20	1778,80	1036,20	1142,20	

4.5.3 Descrição dos Cenários Analisados

Com a conclusão das etapas de aplicação das metodologias de implantação de semáforos e definição do modo de coordenação e operação dos semáforos, tem-se a seguir a descrição do cenário atual assim como dos sete cenários analisados, que serão utilizados na análise da efetiva contribuição para o tráfego das implantações semaforizadas com base nas principais metodologias do Brasil e do exterior aplicadas na cidade de Fortaleza.

CENÁRIO ATUAL: Semáforos existentes na Rua Meton de Alencar com Rua Barão do Rio Branco, Rua Sólton Pinheiro com as Ruas Clarindo de Queiróz e Antônio Pompeu, e Rua Antônio Pompeu com Rua Jaime Benévolo, todos com ciclo de 104s. Já os semáforos da Rua Visconde do Rio Branco com as Ruas Clarindo de Queiróz e Antônio Pompeu, assim como o da Av. Dom Manuel com Rua Meton de Alencar, operando com ciclo de 160s.

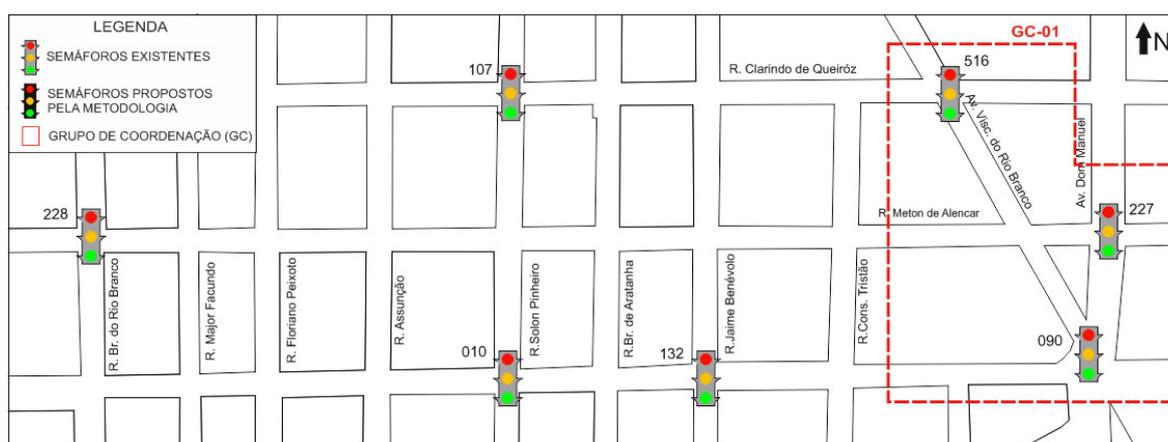


Figura 4.9 : Cenário Atual

CENÁRIO 01- Resultado da aplicação da Metodologia Americana A e Resultado da aplicação da Metodologia do DENATRAN: semáforos na Rua Meton de Alencar com a Rua Floriano Peixoto (002) e Av. Visconde do Rio Branco (008), sendo o semáforo 002 coordenado ao 228 com ciclo de 96 s, e o semáforo 008 isolado ao 002 e coordenado com os semáforos: 516, 227 e 090 com ciclo de 160 s e os semáforos isolados 010 com 88 s , 107 e 132 com o ciclo de 96 s.



Figura 4.10: Cenário 01

CENÁRIO 02 – Resultado da aplicação da Metodologia Americana B com resultado do Índice de Interdependência do DENATRAN (1984): semáforos na Rua Meton de Alencar com a Rua Sólton Pinheiro (004) e Av. Visconde do Rio Branco (008), sendo o semáforo 004 coordenado com os semáforos: 010 e 107 com ciclo de 104 s, o 008 semáforo operando de forma coordenada aos semáforos: 516, 227 e 090 com ciclo de 160 s e o semáforo 228 isolado operando com ciclo de 104 s.

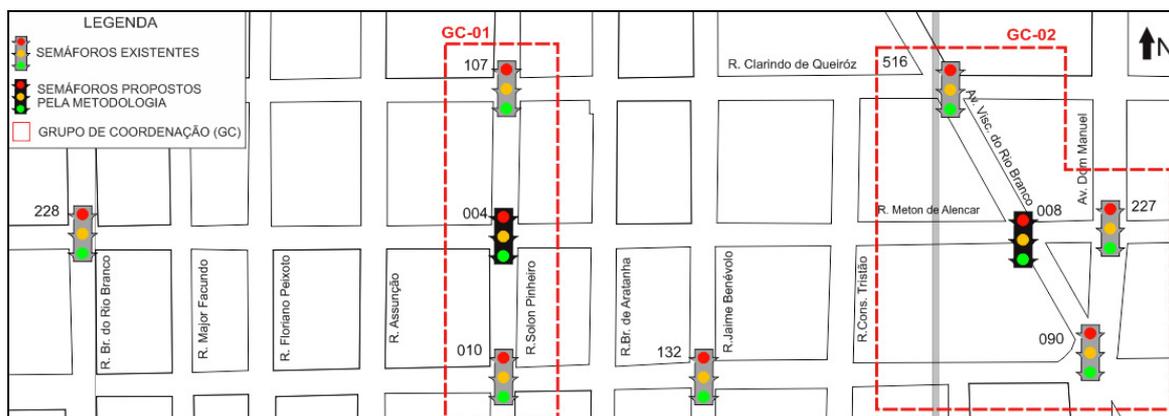


Figura 4.11: Cenário 02

CENÁRIO 03 – Resultado da aplicação da Metodologia Americana B com o resultado do Índice de Interdependência de FREITAS *et al.*(2009): semáforos na Rua Meton de Alencar com a Rua Sólton Pinheiro (004) e Av. Visconde do Rio Branco (008), ambos os semáforos operando de forma coordenada aos semáforos: 010, 090, 107, 227, 228 e 516 com ciclo de 160 s.

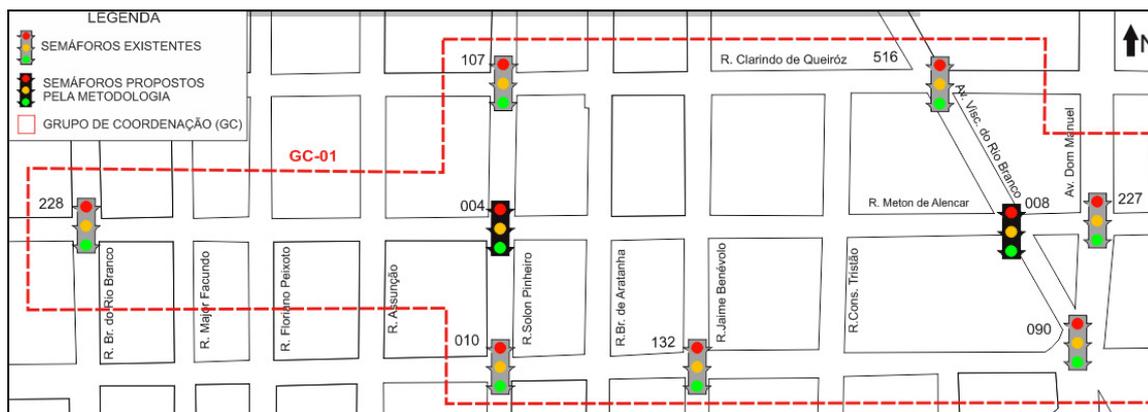


Figura 4.12: Cenário 03

CENÁRIO 04 – Resultado da aplicação da Metodologia Australiana: semáforos na Rua Meton de Alencar com as Ruas Major Facundo (001), Floriano Peixoto (002), Sólton Pinheiro (004), Jaime Benévolo (006) e Av. Visconde do Rio Branco (008), os quatro primeiros semáforos 001, 002, 004 e 008 operando de forma coordenada aos semáforos: 010, 107, 132, 227 e 228 com ciclo de 96 s e o semáforo 008 coordenado aos semáforos: 090, 227 e 516 com ciclo de 160 s.

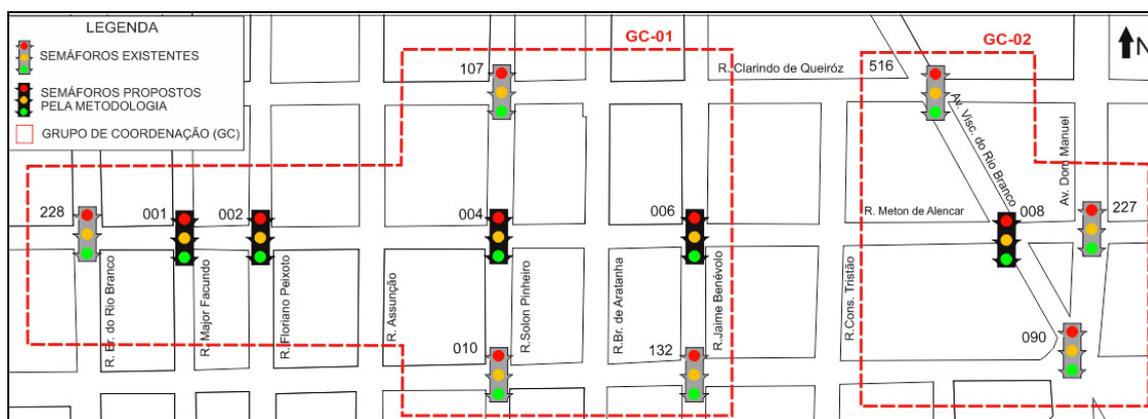


Figura 4.13: Cenário 04

CENÁRIO 05 – Resultado da aplicação da Metodologia Escocesa com resultado do Índice de Interdependência do DENATRAN (1984): semáforos na Rua Meton de Alencar com as Ruas Floriano Peixoto (002), Sólton Pinheiro (004) e Av. Visconde do Rio Branco (008), o primeiro semáforo operando coordenado ao 228 com ciclo de 96 s e isolado ao 004. O semáforo 004 coordenado aos semáforos 010 e 107 com ciclo de 104 s e isolado 008, o 008 coordenado: 090, 227 e 516 com ciclo de 160 s e o semáforo 132 operando de forma isolada com ciclo de 96 s.

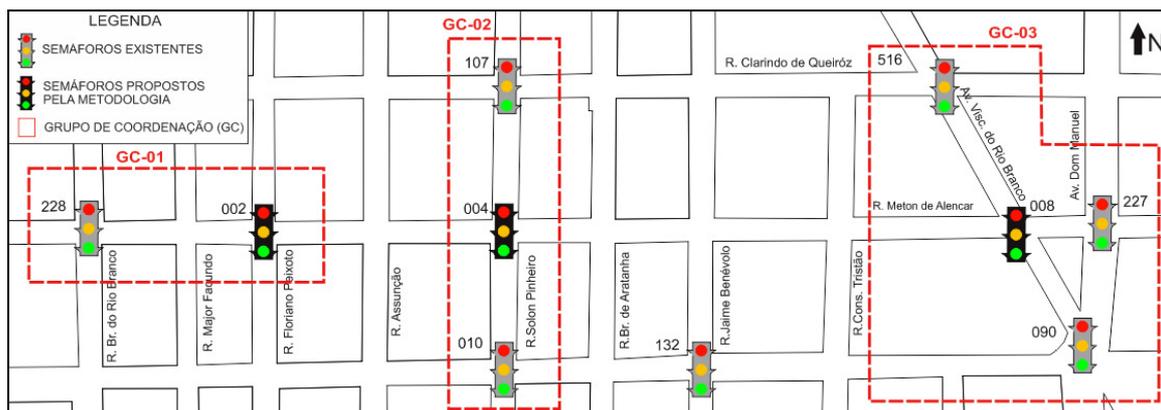


Figura 4.14: Cenário 05

CENÁRIO 06 – Resultado da aplicação da Metodologia Escocesa com o resultado do Índice de Interdependência de FREITAS *et al.*(2009): semáforos na Rua Meton de Alencar com as Ruas Floriano Peixoto (002), Sólton Pinheiro (004) e Av. Visconde do Rio Branco (008), sendo os semáforos 002, 004 e 008 coordenados aos semáforos: 010, 090, 107, 132, 228, 227 e 516 com ciclo de 160 s.

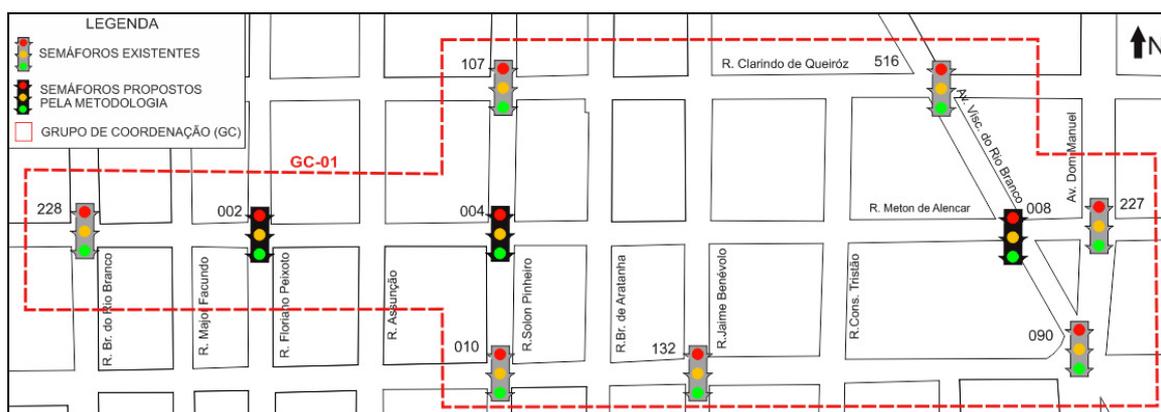


Figura 4.15: Cenário 06

CENÁRIO 07 – Resultado da aplicação da Metodologia Argentina: semáforos na Rua Meton de Alencar com as Ruas Major Facundo (001), Floriano Peixoto (002), Assunção (003), Sólton Pinheiro (004), Br. De Aratama (005), Jaime Benévolo (006) e Av. Visconde do Rio Branco (008), sendo os semáforos: 001, 002, 003, 004, 005 e 006 coordenados aos semáforos: 010, 107, 132 e 228 com ciclo de 104 s e isolados ao 008, sendo o 008 coordenado aos semáforos: 090, 227 e 516 com ciclo de 160 s.

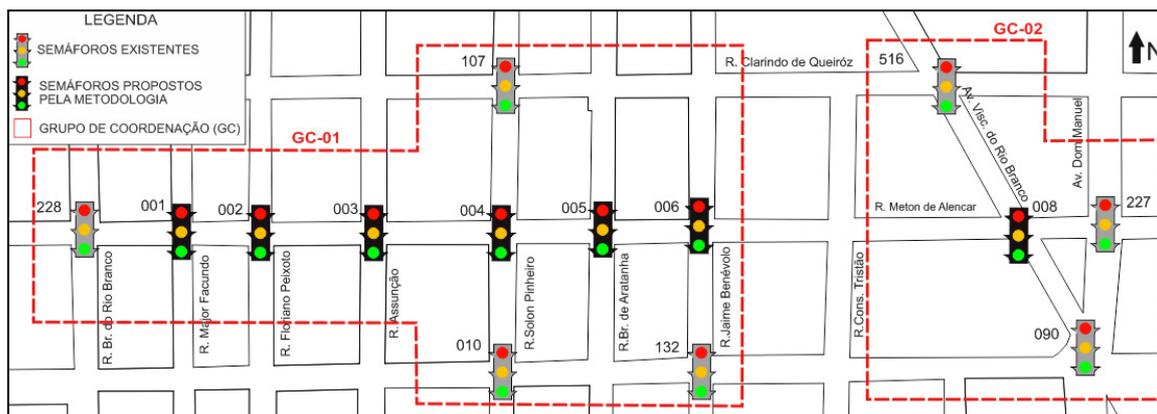


Figura 4.16: Cenário 07

4.6 ETAPA 03: ANÁLISE OPERACIONAL DA IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS

Concluídas as etapas de aplicação das Metodologias de Implantação de Semáforos, Definição das estratégias de coordenação e operação e chegando-se aos cenários propostos, parte-se nesta etapa para a análise operacional da implantação de semáforos, que será realizada através do mecanismo da microssimulação de tráfego, utilizando-se do software *Integration*.

4.6.1 Coleta de Dados

Assim como as demais etapas, nesta, foram identificados os dados de entrada necessários para a realização das fases de simulação, calibração e validação do *Integration*, como segue:

- *codificação dos arquivos de dados*: os dados relativos as características geométricas da região de estudo (identificação e numeração dos nós e arcos, sentido, comprimento e tipo de controle dos arcos, proibição de movimentos) foram obtidos através de visitas realizadas em campo.
- *controle dos fluxos de saída dos links*: os dados referentes ao tipo de controle do fluxo (semáforos, sinais de “pare”, “dê a preferência”) foram coletados com visitas a região simulada, as interseções que tem controle feito por semáforo, os dados relativos à operação do equipamento (ciclo, tempo de verde, entreverdes) foi obtido junto ao CTAFOR.

- *volume veicular direcional*: foram realizadas contagens manuais de veículos nas oito interseções analisadas, assim como nas sete interseções semaforizadas existentes na região de estudo, com 30 pesquisadores. A coleta foi realizada no período do pico da manhã, entre 07:30h e 08:30h.

- *capacidade dos links semaforizados*: foi realizada pesquisa de fluxo saturação nas interseções semaforizadas.

- *capacidade dos links não semaforizados*: foi utilizado o valor de fluxo de saturação como capacidade, de acordo com MAIA (2007), o *Integration* representa o tráfego na rede viária considerando cada veículo individualmente, ele é capaz de modelar a ocorrência das brechas e simular os veículos cruzando a via principal, não sendo necessária como entrada para o simulador a capacidade das vias secundárias.

- *velocidade de fluxo livre nos links*: esta informação foi obtida baseando-se no estudo realizado por COLELLA e DEMARCHI (2005) que calibrou os valores da velocidade de fluxo livre para as vias da cidade de Maringá, encontrando valores bem próximos do estabelecido como limite para as vias do estudo. Desta forma, para o estudo em questão optou-se por utilizar o valor determinado como limite para as vias da cidade de Fortaleza. Sendo utilizado o valor de 60 km/h para as vias arteriais e de 40 km/h para as vias locais ou coletoras.

4.6.2 Calibração

Inicialmente, foi selecionado o parâmetro de entrada que teria seu valor calibrado, quais deles seriam coletados em campo, quais seriam definidos baseados em outras pesquisas e quais seriam estimados. Desta forma, foi definido que no processo de convergência dos valores da medida de desempenho selecionada, um parâmetro teria seu valor modificado, sendo esses valores variados entre o limite superior e inferior.

O parâmetro Coeficiente de Variação das Velocidades (CVV) considera que a velocidade média dos veículos na simulação é ditada pelas condições de volume/velocidade/fluxo observadas nas vias da rede simulada. Entretanto, é possível modelar certa variabilidade nas velocidades individuais dos veículos, especificando um

fator de variação da velocidade, que é definido como um coeficiente de variação da velocidade desejada (desvio padrão das velocidades dividido pela velocidade média). Conseqüentemente, verifica-se uma aleatoriedade também nos headways observados entre os veículos na simulação.

O processo de variação dos valores do parâmetro de entrada, realizado durante a pesquisa, pode ser classificado como iterativo, uma vez que as simulações realizadas para as comparações do CVV foi sendo modificada gradativamente tendo como base seu limite inferior e superior. No microssimulador *Integration*, definiu-se o tempo de viagem da Rua Meton de Alencar como sendo a medida de desempenho a ser avaliada.

Após a realização das simulações os valores modelados e observados da medida de desempenho (tempo de viagem) foram comparados, sendo selecionado aquele valor do Coeficiente de Variação da Velocidade que proporcionou as menores diferenças na comparação dos resultados desta medida. O tempo de viagem foi determinado a partir de pesquisa realizada em campo, no horário de 07:30h às 08:00h, mesmo período da simulação.

Alguns parâmetros implementados no microssimulador foram adotados do estudo de MAIA (2007), como: velocidade de fluxo livre, velocidade na capacidade dos arcos e densidade de congestionamento, considerando que tais parâmetros foram calibrados a partir de dados de campo obtidos na Cidade de Fortaleza em local próximo a região deste estudo onde o comportamento dos veículos é semelhante. Além destas variáveis, foram dados de entrada para o microssimulador, os pontos de parada de ônibus, localizados na Rua Meton de Alencar, sendo necessário também entrar com as características dos veículos que foram simulados, como ônibus e veículos de passeio.

Os parâmetros adotados de MAIA (2007) foram obtidos através da adaptação do estudo de PAULA (2006), este adequou a metodologia de avaliação do nível de serviço em vias urbanas do HCM (TRB, 2000). De forma a identificar a real classificação viária das vias da área de estudo, uma vez que a Lei de Uso e Ocupação de Fortaleza realizou a classificação das vias há 15 anos e com as constantes modificações da região em análise, assim como de toda a Cidade, é necessária uma adequação. Não refletindo o que é observado no cenário real.

Os critérios propostos por PAULA (2006) possuem opções de valores que procuram representar as características das vias de Fortaleza, possibilitando a identificação da categoria funcional e de projeto das vias e por consequência a classificação viária. MAIA (2007) considerou em sua adaptação as vias coletoras e locais, uma vez que o estudo de PAULA (2006) tratou exclusivamente de vias arteriais.

As conclusões do estudo de PAULA (2006) considerou seis dos oito critérios propostos pela metodologia do HCM (TRB, 2000), que não apresentavam relevância para a classificação viária de Fortaleza. Os seis critérios são: tipo de seção transversal, adensamento do uso do solo do entorno, densidade de acesso aos lotes, manobras de estacionamento, conversão à esquerda e retornos e densidade de semáforos.

MAIA (2007) através de uma análise de sensibilidade concluiu que dois dos seis critérios adotados por PAULA (2007) não eram relevantes para a proposta de classificação de vias coletoras e locais, desta forma foram desconsiderados os critérios de densidade de acesso aos lotes e conversão à esquerda e retorno. MAIA (2007) adotou todos os valores dos critérios propostos por PAULA (2006) somente o critério de densidade semafórica que teve seus valores diminuídos, uma vez que as vias coletoras e locais apresentam menor fluxo veicular e conseqüentemente menor densidade semafórica.

Através da adaptação da metodologia proposta por PAULA (2006) feita por MAIA (2007) foram aplicados os seguintes critérios e pontuação para identificação da classificação viária atual das vias da área de estudo como segue na Tabela 4.17:

Tabela 4.17: Critérios propostos para a classificação das vias coletoras e locais de Fortaleza. Fonte: MAIA (2007)

CRITÉRIOS	VALORES	PONTUAÇÃO
Tipo de Seção Transversal	Pista dupla, múltiplas faixas por sentido, sentido duplo;	3
	Pista dupla ou simples, duas faixas por sentido, sentido duplo;	2
	Pista simples, duas faixas, sentido duplo ou único.	1
Adensamento do uso do solo do entorno	Elevado – uso predominante comercial, com edificações de altos gabaritos.	3
	Médio – uso residencial e/ou comercial com edificações de altos gabaritos;	2
	Baixo – uso residencial e/ou comercial com edificações de gabarito reduzido;	1
Manobras de Estacionamento	Elevada – com a maioria dos estacionamentos ao longo da via.	3
	Média – com a maioria dos estacionamentos em recuo;	2

	Baixa – pouco ou nenhum estacionamento;	1
Densidade semafórica	Elevada - 4 ou mais	3
	Média – 2 ou 3	2
	Baixa – 0 ou 1	1

A metodologia adota as seguintes pontuações para classificação das vias:

- Via local: até 4 pontos
- Via coletora: de 5 a 7 pontos
- Via arterial I: de 8 a 9 pontos
- Via arterial II; de 10 a 12 pontos

Com a aplicação da metodologia de MAIA (2007) foi definida que todas as vias da área de estudo classificam-se como vias coletoras. A partir desta classificação partiu-se para a adoção dos parâmetros de entrada no simulador encontrados no estudo de MAIA (2007), onde as vias foram agrupadas segundo sua nova classificação, onde foi realizada uma análise da variância de todos os parâmetros de entrada das vias de um mesmo grupo, de modo a verificar se os valores médios poderiam ser representativos para o conjunto de vias em cada categoria.

Desta forma, foi constada uma similaridade entre os valores dos parâmetros das vias de cada agrupamento, fazendo-se uma média dos valores dos parâmetros das vias obtendo-se o valor representativo de cada grupo. Assim com a aplicação da metodologia de classificação viária proposta por MAIA (2007) e adaptada de PAULA (2006), tem-se a seguir os valores dos parâmetros de entrada no simulador que serão utilizados neste estudo:

Tabela 4.18: Parâmetros adotados para o grupo de vias segundo classificação de MAIA (2007)

Classificação viária	Velocidade de fluxo livre	Velocidade na capacidade	Densidade de congestionamento
Coletora	60	30	150

Com os valores de parâmetros adaptados do estudo de MAIA (2007), iniciou-se o processo de calibração do Coeficiente de Variação da Velocidade. Utilizando os testes de equivalência dos dados simulados do Coeficiente de Variação da Velocidade para

testar se a hipótese nula (H_0) de que os tempos de viagem modelados e observados em campo são iguais. A Tabela 4.18 a seguir, apresenta os resultados do teste-t pareado, onde foi considerado um nível de significância de 5% para verificar a hipótese nula (H_0).

Tabela 4.19: Análise da variância do tempo de viagem modelado e observado no processo de calibração

	Valores do Coeficiente de Variação da Velocidade										
	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Diferença das Médias	16,63	17,51	6,80	42,48	22,95	74,71	44,62	7,42	14,63	13,50	3,05
Valor-P	70,94%	71,41%	89,99%	47,19%	67,06%	6,18%	18,95%	89,04%	76,61%	77,08%	93,54%

Todos os valores do CVV simulados não foram rejeitados e o que apresentou o melhor resultado foi o valor de 0,5. De forma a complementar a análise, foram simulados ainda os valores compreendidos entre 0,4 e 0,5 de forma a verificar se algum destes valores apresentaria resultado melhor que o encontrado em 0,5, contudo, ao se realizar o teste, esta suposição não foi confirmada.

Ao final do processo iterativo de calibração do CVV este parâmetro ficou em 0,5. Este novo valor, juntamente com os valores dos outros parâmetros adotados de outros estudos e coletados em campo, permitiram que o *Integration* representasse de uma forma mais realista o comportamento dos veículos observados em campo.

4.6.3 Validação

Com os parâmetros implementados no simulador, o próximo passo é a execução do modelo, de forma a comparar o valor modelado com as medições de campo do tempo de viagem que foi a medida de desempenho utilizada. Se for constatada uma semelhança nestes valores, o simulador é considerado calibrado e validado, podendo ser utilizado sem restrições para a análise das alternativas propostas no estudo.

Para a verificação da similaridade da medida de desempenho, foi utilizada uma amostra diferente do tempo de viagem que fora selecionada para o processo de calibração, a partir de pesquisa realizada em campo, no horário de 07:30h às 08:00h, mesmo período da simulação. Tem-se na Tabela 4.19 o teste-t pareado para verificar a

hipótese nula (H_0) de que os tempos de viagem modelados e observados em campo são iguais, considerando um nível de significância de 5%.

Tabela 4.20: Análise da variância do tempo de viagem modelado e observado no processo de validação

	Média do Tempo de Viagem observado	Média do Tempo de Viagem Modelado
	437	425,5
Valor-P	83,04%	

Além do teste-t, foi realizada uma análise de regressão, no qual o coeficiente de regressão apresentou um valor de 0,867 representando assim boa correlação entre os valores do tempo de viagem modelados pelo simulador e observados em campo. Desta forma, com uma boa representação do modelo através do processo de calibração e validação, a avaliação operacional dos cenários que terá os resultados apresentados no Capítulo 5, representará de forma confiável as características do tráfego da área de estudo.

4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram descritas todas as etapas do desenvolvimento deste estudo, deste a aplicação das metodologias de implantação de semáforos analisadas, definição das estratégias de operação e coordenação e construção dos 7 cenários propostos. Posteriormente foram descritas as etapas de calibração e validação. No Capítulo 5 serão apresentados os resultados de todas estas etapas, assim como da análise operacional comparativa entre o cenário atual e os 7 cenários propostos na área de estudo analisada.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo contém os resultados obtidos nas três etapas descritas e desenvolvidas no Capítulo 4: aplicação das metodologias de implantação de semáforos; definição da estratégia de coordenação; e análise operacional da implantação de semáforos. Apresentando os pontos relevantes de cada aplicação, assim como análise final deste trabalho.

5.2. ETAPA 01 – DIVERGÊNCIAS ENCONTRADAS NA APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS NO ESTUDO DE CASO

Esta etapa possibilitou o conhecimento de algumas metodologias de implantação de semáforos existentes no mundo. Com a aplicação das metodologias analisadas neste estudo de caso, em oito interseções de uma via na área central da Cidade de Fortaleza-CE, foi possível obter resultados bastante diferentes os quais foram vistos nos 7 cenários apresentados no Capítulo 04. Essas divergências são encontradas devido aos critérios apresentarem valores diferenciados nas metodologias, como o caso do volume veicular mínimo e do número de acidentes de trânsito.

Estas diferenças só reforçam o ponto de vista de que a aplicação de metodologias para características diferentes de tráfego proporcionam diferentes resultados quando aplicados em outros cenários urbanos, ficando a cargo do Técnico responsabilidade de definir qual das metodologias deve ser considerada de forma a identificar melhores resultados ao local analisado. Além da adequação das metodologias e as características do local analisado, é necessário também uma atualização dos valores de todos os critérios, de forma a acompanhar a dinâmica existente no tráfego das cidades.

Baixos valores com relação ao critério “volume veicular mínimo”, como exemplo a Metodologia Argentina que considera a existência de 400 veículos/hora na via principal e 150 veículos/hora na via secundária, como requisito para implantação de semáforos. A aplicação desta metodologia, no presente estudo de caso, implicou na

indicação de implantação de semáforo em 7 das 8 interseções analisadas. Observa-se também nesta metodologia a não consideração do “índice de acidentes de trânsito”, como indicador para a implantação do dispositivo.

Outro fator é o baixo “índice de acidentes de trânsito” considerados para implantação de semáforos. A Metodologia Australiana considera apenas 3 acidentes com vítima no período de 12 meses. Esta consideração, combinada ao critério de “volume veicular mínimo” indicou a implantação de semáforo em 5 dos 8 cruzamentos analisados neste estudo.

5.3. ETAPA 02 – ANÁLISES DOS MODOS DE OPERAÇÃO E COORDENAÇÃO DOS SEMÁFOROS

Os resultados da definição do modo de operação (ciclos, fase de verde, entreverde e defasagem) e do modo de coordenação (isolado ou coordenado), encontram-se nos dois itens seguintes.

5.3.1 Modo de Coordenação

Foi aplicado o Índice de Interdependência, utilizando duas escalas, a escala proposta pelo DENATRAN (1984), e a escala adaptada por FREITAS *et al.* (2009) para Fortaleza-CE. Nesta análise foram definidos os pares com semáforos atuais e propostos pelas metodologias na região em estudo, onde se concluiu que, na aplicação das duas escalas, nas metodologias do DENATRAN, da Argentina e da Austrália foram obtidos os mesmos resultados de modo de operação (isolado ou coordenado).

Em relação a aplicação das Metodologias Escocesa e Americana considerando as interseções semaforizadas da área em estudo, foram obtidos resultados diferentes nas aplicações dos índices de interdependências considerando as duas escalas. Ou seja, em três pares de semáforos analisados, a escala do DENATRAN (1984) indicou a operação de forma isolada, enquanto que a escala proposta por FREITAS *et al.* (2009) indicou a operação coordenada. Com esta divergência de cenários, nos dois modos de operação propostos, foi necessário realizar a análise com a utilização do simulador *Integration*, estes dois modos de operação propostos, de forma a avaliar qual a melhor operação dos semáforos com base nas medidas de desempenho do simulador (velocidade, atraso, tempo de viagem e tamanho da fila).

De forma geral, a aplicação do Índice de Interdependência utilizando a escala do DENATRAN (1984), indicou, em todos os cenários analisados, a operação isolada dos semáforos, coordenada quando os grupos de semáforos fossem pequenos. Por outro lado, quando foi utilizada a escala de FREITAS *et al.* (2009), área para a coordenação já foi mais abrangente. Para avaliar o modo de coordenação utilizou-se um otimizador de tráfego, o *TRANSYT*, de forma a identificar os ciclos semáforos mais adequados para cada cenário de operação (isolada e coordenada).

5.3.2 Modo de Operação

A aplicação do *TRANSYT* possibilita a identificação do ciclo ótimo tanto para semáforos isolados, quanto coordenados, na área de estudo, com a indicação de defasagens, tempos de ciclo e de verde, adequados a cada caso. Esta aplicação proporciona a exclusão de subestimação, ou superestimação, dos tempos semafóricos, auxiliando em todo o processo de definição do modo de operação dos semáforos, existentes e propostos, através da aplicação das metodologias de implantação de semáforos.

Na situação da área em estudo, onde ocorreram divergências da definição do modo de coordenação, uma vez que a metodologia do DENATRAN (xx) indicou nas interseções semafóricas a operação isolada, ou em pequenos grupos de coordenação, a metodologia de FREITAS *et al.* (2009), sugeriu a coordenação de maior número de interseções, do ponto de vista da operação dos semáforos, na simulação realizada pelo *TRANSYT*, foi constatada uma superestimação do ciclo semafórico para a área, uma vez que, em algumas interseções os volumes de tráfego são bastante superiores nas demais.

Diante deste resultado, interseções que antes operavam com tempo de ciclo semafórico adequado ao seu volume de tráfego, passam a operar com o ciclo bem maior do que o necessário. Tal situação pode ser benéfica para a formação de pelotões ao longo da via analisada, contudo pode acarretar em atrasos excessivos nas transversais, podendo até induzir o desrespeito ao semáforo por estes usuários.

Para constatação deste resultado na área estudada, foram verificados os atuais volumes de tráfego das interseções. Verificou-se que os maiores volumes de tráfego corresponderam as interseções posicionadas mais próximas à Av. Dom Manuel, via arterial que liga a zona sul da cidade a zona norte e área central, os quais operam com

vários ciclos ao longo do dia. No horário, em análise, considerado no presente estudo, das 7h30min às 8h30min, estas interseções operam com ciclo de 160 s, enquanto os demais semáforos, nas interseções com menores volumes de tráfego, operam com ciclo com duração de 104s.

Comparando a atual cenário com as situações propostas pela aplicação da metodologia do DENATRAN (1984) verificou com a simulação do *TRANYST*, que os ciclos ficaram próximos aos atuais, enquanto que na situação propostas por FREITAS *et al.* (2009), ocorreu uma superestimação dos ciclos nas interseções com baixos volumes de tráfego.

Diante dos resultados obtidos, verifica-se a necessidade de uma análise mais detalhada das situações analisadas, de forma a justificar os reais benefícios que se consegue obter com as aplicações das metodologias propostas para implantação de semáforos. O simulador *Integration* é uma ferramenta que possibilita a identificação do cenário mais adequado em uma área de estudo, através das análises de medidas de desempenho.

5.4 ETAPA 03 - ANÁLISE DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO DO SIMULADOR INTEGRATION

Após a calibração e a validação do simulador *Integration* descritos no Capítulo 4, foi realizada uma análise visual do comportamento do tráfego pelo simulador de forma a identificar os locais com maior desempenho do tráfego e aqueles com menor fluidez. Posteriormente foram analisados os resultados das medidas de desempenho (atraso, tempo de viagem, comprimento da fila e velocidade), realizada através de comparação entre o cenário atual da área de estudo, e os 07 (sete) cenários descritos no item 4.4.3.

5.4.1 Análise Visual do Comportamento do Tráfego Através do Simulador

A seguir é apresentado o comportamento do tráfego nos seguintes cenários.

a) Cenário Atual

Conforme indicado na Figura 4.9, este cenário constituído pelo corredor da Rua Meton de Alencar entre os cruzamentos com a Rua barão do Rio Branco (lado oeste) e

Av. Dom Manuel (lado leste). Ao analisar este cenário, nos trechos em que é a Rua Meton de Alencar é preferencial (entre as Ruas Barão do Rio Branco e Assunção), observou-se uma boa fluidez do tráfego. No trecho seguinte, onde a Rua Meton de Alencar passa a ser secundária (com as Ruas Sólon Pinheiro e Visconde do Rio Branco), já é visualizado congestionamento na rede, onde foi constatado formação de fila, o que afeta nas interseções á montante, reduzindo assim a velocidade e aumento a espera aos condutores no corredor

b) Cenário 01

Foram propostos semáforos na Rua Meton de Alencar com Rua Floriano Peixoto e com a Rua Visconde do Rio Branco, operando em grupos de coordenação diferentes. Observou-se que, apesar do semáforo da Rua Floriano Peixoto operando com ciclo baixo de 96 s, o final da fase verde desta via fica ocioso, causando um atraso excessivo para os veículos que trafegam na via principal (Rua Meton de Alencar). Contudo, a implantação de semáforo neste local proporcionou brechas nas interseções a jusante da Rua Meton de Alencar, melhorando a inserção dos veículos das transversais.

Quanto a implantação do semáforo na Rua Visconde do Rio Branco, constatou-se uma menor formação de congestionamento ao longo da Rua Meton de Alencar, pois os veículos os veículos conseguiram se inserir ou cruzar a Rua Visconde do Rio Branco durante o tempo de verde alocado.

c) Cenário 02

Neste cenário onde é proposta a implantação de semáforos nos cruzamentos com as Ruas Solon Pinheiro e Visconde do Rio Branco. Na análise foi verificada uma boa trafegabilidade em todo o trecho, ficando os semáforos operando com ciclos diferentes em dois grupos de coordenação. O semáforo com a Rua Solon Pinheiro reduziu as filas atualmente formadas na Rua Meton de Alencar, facilitando a inserção dos veículos na Rua Solon Pinheiro, movimento este atualmente muito solicitado, e ainda criam brechas que facilitar o cruzamento à jusante, melhorando a circulação do tráfego da Rua Barão de Aratanha.

d) Cenário 03

Este cenário contempla os mesmos cruzamentos semaforizados do cenário 02, contudo a operação proposta é de coordenação dos semáforos em único grupo, com ciclo de 160s. Este valor de ciclo para o grupo causou atraso nas vias transversais do trecho do corredor analisado. Observou-se ainda que, o pelotão que se forma no início do percurso, não mantém a mesma velocidade ao longo do corredor, pois há muitas interferências do tráfego das vias transversais não semaforizadas. Nestes locais, os condutores forçam a passagem de seus veículos, gerando conflitos e redução de velocidade do corredor, o que resulta em menor aproveitamento da fase de verde proposta na coordenação dos semáforos.

e) Cenário 04

Neste cenário são propostos os semáforos nos cruzamentos da Rua Meton de Alencar com as Ruas Major Facundo, Floriano Peixoto, Solon Pinheiro, Jaime Benévolo, e Visconde do Rio Branco, operando em dois grupos de coordenação, com ciclos de 96s e 160s. No grupo, que inclui as vias transversais, Rua Major Facundo e Rua Floriano Peixoto, que possuem baixo volume veicular, foi proposto um baixo ciclo de 96s, mas mesmo assim, é verificado período ocioso durante a fase de verde para estas transversais, o que resulta em atraso desnecessário para o elevado fluxo da Rua Meton de Alencar. No trecho onde a Rua Meton de Alencar torna-se secundária, os semáforos propostos com as Ruas Sólton Pinheiro, Jaime Benévolo (ciclo de 96s) e da Visconde do Rio Branco (ciclo de 160s) proporciona uma redução de espera e das filas para essa via, aumentando assim a velocidade desenvolvida no corredor.

f) Cenário 05

Este cenário teve como proposta a implantação de semáforos na Rua Meton de Alencar com as Ruas Floriano Peixoto, Sólton Pinheiro, e Visconde do Rio Branco, operando em três grupos de coordenação, com ciclos de 96, 104 e 160 s, respectivamente. Analisando a progressão da corrente de tráfego no corredor, foi observado que a proximidade entre dois primeiros grupos de coordenação, entre as Ruas Floriano Peixoto e Sólton Pinheiro, produz maior quebra na progressão, enquanto que entre o segundo e terceiro grupos com maior distância, entre as Ruas Solon Pinheiro e Visconde do Rio Branco, a progressão dos veículos não é influenciada pela coordenação dos semáforos.

g) Cenário 06

Este cenário considera os mesmos cruzamentos semaforizados do cenário 05, contudo a operação dos mesmos é de forma coordenada em único grupo, e foi proposto um ciclo de 160 s, maior que o ciclo do cenário 05. Devido o alto valor do ciclo, a fase de verde da aproximação da Rua Floriano Peixoto fica ociosa, enquanto que na Rua Meton de Alencar os veículos formam fila. Caso fosse proposto um menor tempo para a fase de verde da Rua Floriano Peixoto, esta ação poderia comprometer a operação do do corredor, devido a proximidade do cruzamento a jusante, com a Rua Sólon Pinheiro, não garantindo uma boa coordenação entre estes semáforos.

h) Cenário 07

Este cenário propôs a implantação de 07 cruzamentos semaforizados na Rua Meton de Alencar com as Ruas Major Facundo, Floriano Peixoto, Assunção, Sólon Pinheiro, Barão de Aratânia, Jaime Benévolo, e Visconde do Rio Branco, com dois grupos de coordenação com ciclos de 104 e 160 s. Foi constatada uma boa fluidez em todo o corredor, devido a implantação de semáforos em cruzamentos próximos facilitando a progressão dos veículos, reduzindo assim as interferências provocadas por veículos que antes trafegavam por interseções não semaforizadas.

Após a análise visual, foram observados aspectos que poderiam ser melhores avaliados com relação aos impactos no trânsito resultante da aplicação de cada metodologia analisada para implantação de semáforo. Assim foram analisadas, para cada cenário, as medidas de desempenho do simulador de tráfego, de forma a justificar quantitativamente os impactos do tráfego na área de estudo.

5.4.2 Análise dos Cenários Através das Medidas de Desempenho do Simulador

Esta etapa foi dividida em duas, sendo a primeira a análise comparativa das medidas de desempenho nos *links* que compõem corredor da Rua Meton de Alencar, e a segunda nos os *links* das vias transversais.

a) Corredor da Rua Meton de Alencar

Tem-se na Figura 5.1 a velocidade média por *link* no corredor da Rua Meton de Alencar. Em todos os cenários analisados, ocorreu um ganho de velocidade, sendo o cenário 3 o que apresentou melhor desempenho cenário 5 o que teve menor ganho, considerando que a velocidade média atual encontra-se abaixo de 10km/h.

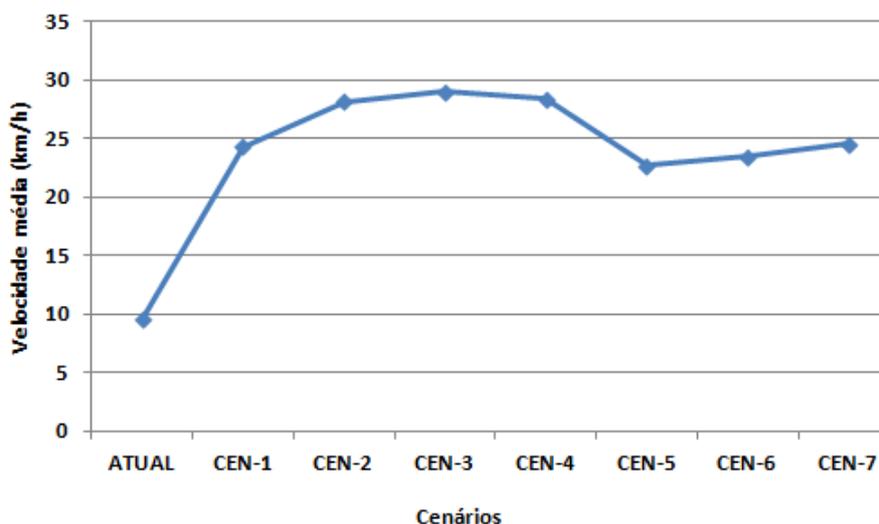


Figura 5.1: Velocidade Média por *Link*

Em relação ao atraso médio por *link*, visualizado na Figura 5.2, verificou-se que no cenário atual o atraso proporcionado aos veículos é muito superior ao atraso em todos os cenários analisados. Devido ao fato da Rua Meton de Alencar atualmente ser secundária nos cruzamentos com as Ruas Sólon Pinheiro, Jaime Benévolo e Visconde do Rio Branco, esta situação proporciona a existência de interferências e aumento o número de paradas do tráfego do corredor, não permitindo o desenvolvimento de uma velocidade constante em todo o trecho. Em todos os cenários analisados o atraso se manteve praticamente o mesmo, sendo o menor valor constatado no cenário 4. Contudo, ao se analisar o atraso nos *links* das vias transversais, conforme Figura 5.6, neste cenário 4 foi constatado o segundo maior atraso nas vias secundárias, indicando que houve um redução do atraso no corredor por conta dos aumentos nas transversais.

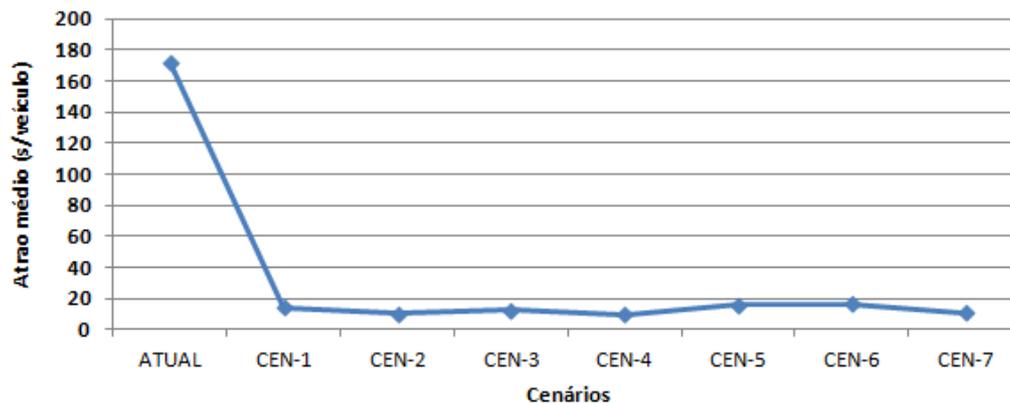


Figura 5.2: Atraso Médio por *Link*

Analisando-se a fila média por *link*, segundo a Figura 5.3, com relação às filas do cenário atual, observou-se um aumento destes comprimentos nos 7 cenários analisados, com as implantações dos semáforos. Sendo a maior fila constatada no cenário 06.

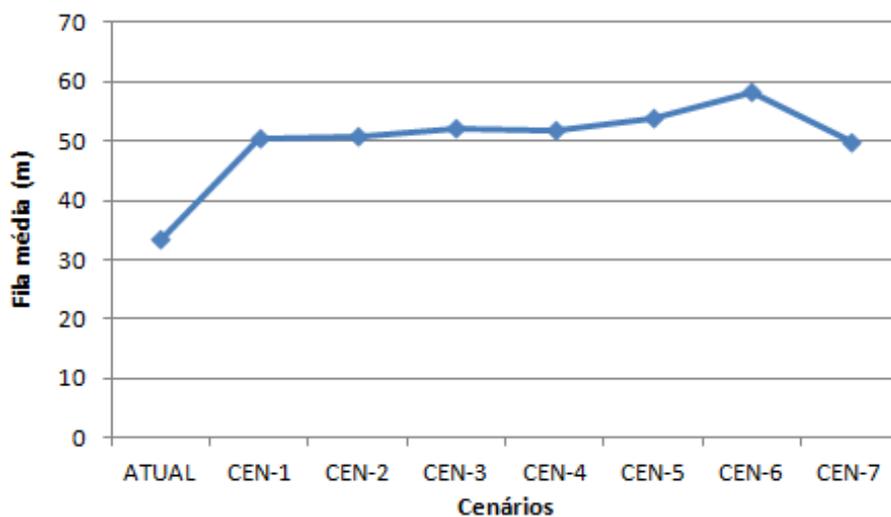


Figura 5.3: Fila Média por Link

Analisado os resultados da Figura 5.4, ocorreram redução em todos os cenários em relação ao atual, com relação ao tempo de viagem, sendo o cenário 6 o que apresentou menor redução do tempo de viagem entre os cenários analisados. O que é justificado pela maior formação de fila como mostrado na Figura 5.3.

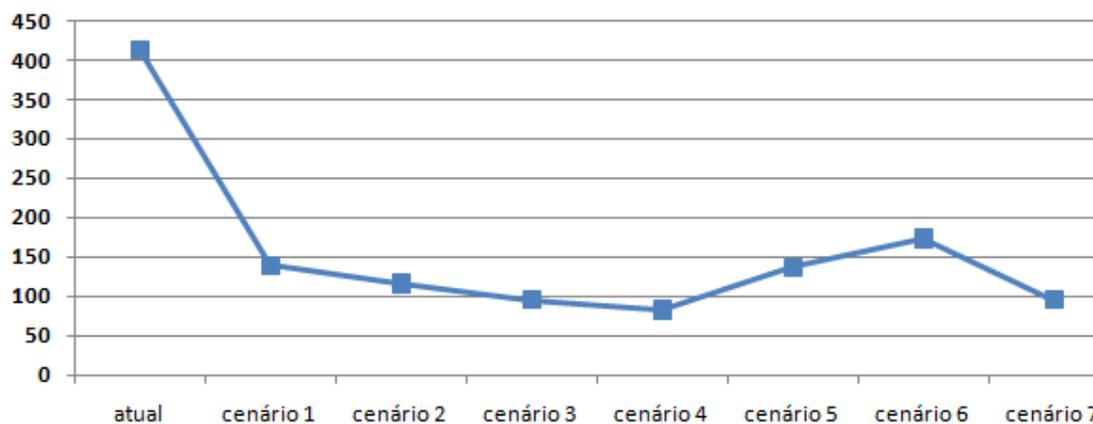


Figura 5.4: Tempo de Viagem Médio do corredor por par O/D

b) Análise das Medidas de Desempenho nas Vias Transversais

Nos *links* correspondentes as vias transversais do corredor, comparando com o cenário atual, ocorreram ganhos de velocidade, o maior ganho foi verificado no cenário 2 quanto no cenário 4 houve uma pequena redução, embora as atuais velocidades médias não sejam tão baixas, com valor em torno de 30 km/h.

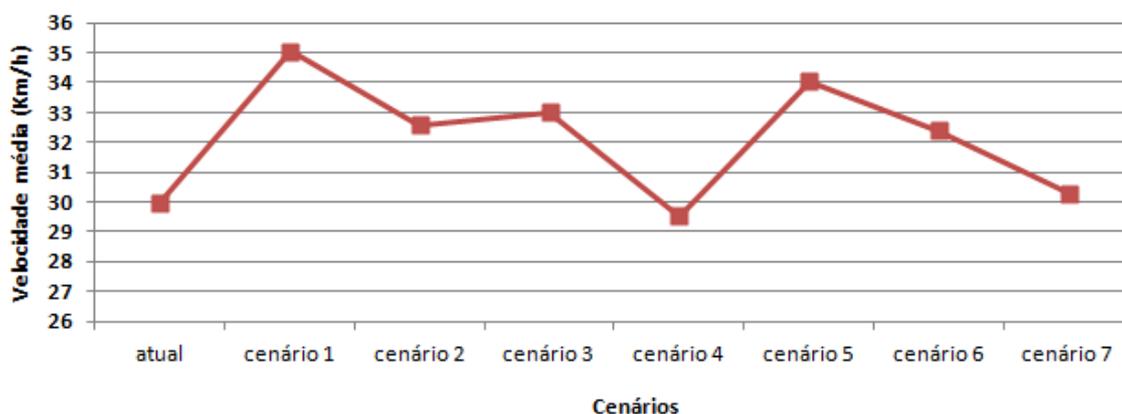


Figura 5.5: Velocidade Média por *Link*

Em relação ao atraso médio por *link*, comparando o cenário atual com os demais cenários propostos, ocorreram reduções significativas de atrasos nas vias secundárias. Observa-se também pouca variação entre os valores de atrasos nos cenários observados. Os melhores comportamentos foram nos cenários 1, 2 e 5.

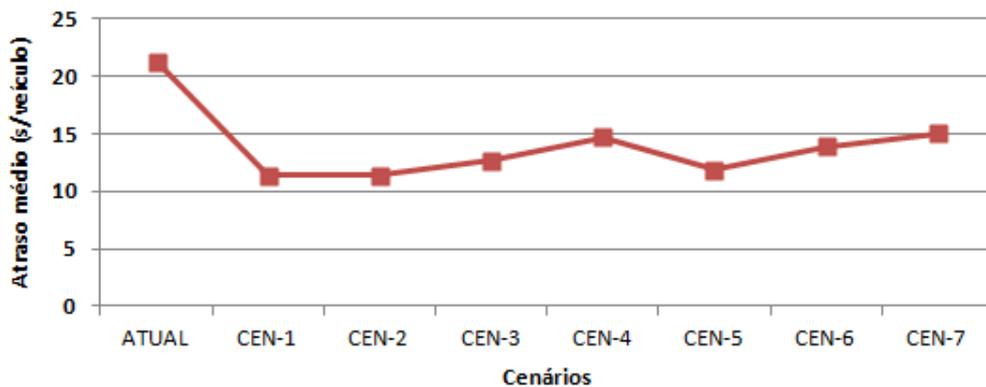


Figura 5.6: Atraso Médio por Link

Observando o gráfico da Figura 5.8 houve na maioria dos cenários um aumento no comprimento das filas das vias transversais. Apenas nos cenários 2 e 5 foi observado uma pequena redução de comprimento, com relação o cenário atual.

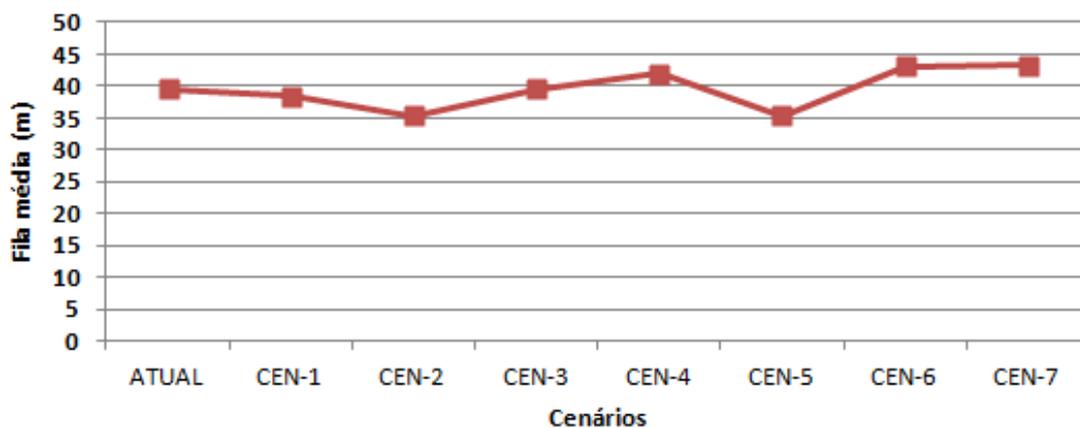


Figura 5.7: Fila Média por Link

Em relação ao tempo de viagem nas vias secundária, de acordo com a Figura 5.8, percebe-se que em todos os cenários analisados houve uma redução significativa, sendo o cenário 4 o que apresentou maior redução e o cenário 6 o de menor redução

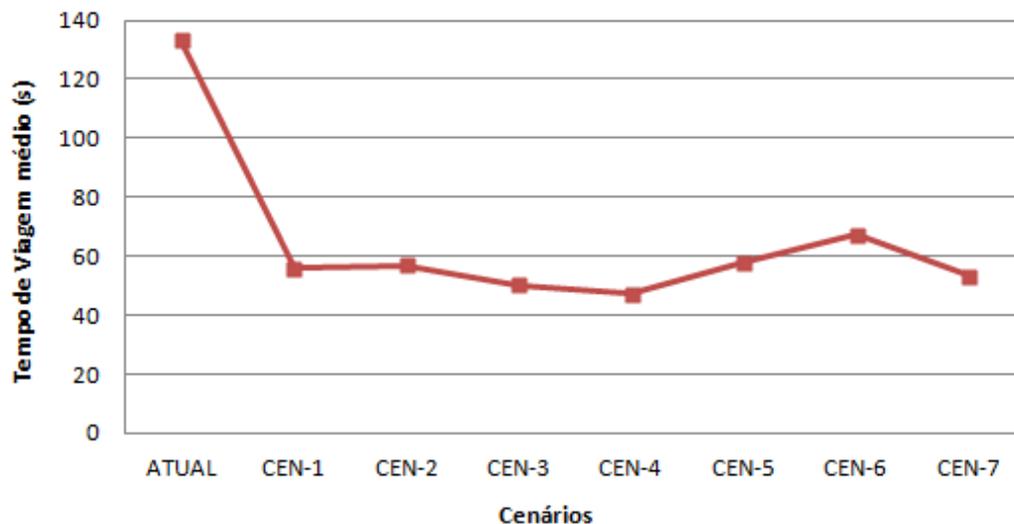


Figura 5.8: Tempo de Viagem Médio da Secundarias por Par O/D

Após as análises individuais das variáveis consideradas, tanto para o corredor na Rua Meton de Alencar, quanto para as vias transversais, o próximo passo foi a identificação, dentre os cenários propostos, o que apresentou os maiores ganhos operacionais. Para isto foram considerados tanto os *links* que compõe o corredor da Rua Meton de Alencar, como os *links* das vias transversais, de forma a analisar o ganho global da rede. Foram calculados os ganhos percentuais para cada parâmetro: velocidade, atraso, fila e tempo de viagem para cada cenário proposto e para o cenário atual, e posteriormente foi realizado um somatório de todos os ganhos percentuais.

Tem-se na Figura 5.9, o gráfico que apresenta o resultado do somatório dos ganhos percentuais relacionados aos cenários analisados. O cenário que apresentou o maior ganho foi o cenário 02 que contempla os resultados da aplicação da metodologia Americana com a escala do Índice de Interdependência do DENATRAN. Contudo, os cenários 01 e 03 apresentaram pequena redução de ganho com relação ao cenário 02. É importante ressaltar que os cenários que apresentaram os maiores ganhos (1, 2 e 3), tratam-se da aplicação da metodologia do DENATRAN e Americana, que pro sua vez apresentam valores de critérios semelhantes, visto o de “volume veicular mínimo” e “índice de acidentes de trânsito”. Os menores ganhos foram constatados no cenário 6 que tem a aplicação da metodologia Escocesa e o índice de interdependência de FREITAS *et al.* (2009).

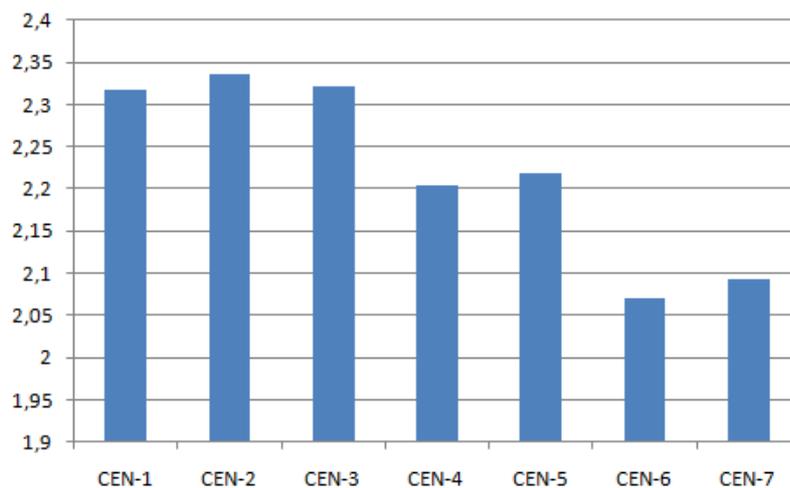


Figura 5.9: Ganhos Percentuais nos Cenários Analisados

Analisando-se a aplicabilidade do Índice de Interdependência com a escala do DENATRAN (1984) e a adaptada por FREITAS *et al.* (2009), de acordo com os resultados obtidos na Figura 5.9, comparando os cenários que apresentaram divergências quanto ao modo de coordenação, relacionados a seguir:

- Cenário 02 (Resultado da aplicação da metodologia Americana com o resultado do índice de interdependência do DENATRAN) e Cenário 03 (Resultado da aplicação da metodologia Americana com o resultado do índice de interdependência de Freitas);
- Cenário 05 (Resultado da aplicação da metodologia Escocesa com o resultado do índice de interdependência do DENATRAN) e Cenário 06 (Resultado da aplicação da metodologia Escocesa com o resultado do índice de interdependência de Freitas).

Concluí-se que para o estudo de caso realizado, quando utilizada a escala do DENATRAN (1984) foi obtido maior ganho, que a escala adaptada por FREITAS *et al.* (2009), Comparados os cenários 05 e 06, os ganhos relativos à utilização da escala do DENATRAN mostram-se ainda maiores.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou os resultados obtidos nas etapas desenvolvidas neste estudo, de acordo com os objetivos previamente definidos. No Capítulo 6 serão apresentadas as conclusões de recomendações deste estudo.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 INTRODUÇÃO

Este estudo permitiu uma avaliação do desempenho operacional no tráfego de um corredor da cidade de Fortaleza-Ce, quando se utiliza diferentes metodologias de implantação de semáforos.

6.2 CONCLUSÕES

Diante das dinâmicas existentes nas cidades, o uso de metodologias de controle de tráfego, adaptadas de outras realidades deve ser realizada de forma a verificar se esta aplicação resultada em benefícios ou prejuízos para o sistema. Na área da Engenharia de Tráfego, e mais especificamente do controle semaforico, esta afirmação também deve ser considerada, de forma a constatar os impactos no fluxo de veículos e pedestres que circulam nas vias.

A utilização de mecanismos que auxiliem a tomada de decisão vem sendo, cada vez mais difundida no meio técnico. O uso destes ferramentais por Engenheiros de Tráfego auxiliam na análise do desempenho de novos cenários urbanos, definição de novas estratégias de coordenação, isolamento de semáforos, por exemplo, de forma a contribuir para a eficácia do sistema de trânsito.

As metodologias de implantação de semáforos analisadas neste estudo, possuem diferenças significativas quanto aos critérios e parâmetros adotados, o que permite analisar diferentes condições de tráfego. Ou seja, sendo estruturadas com base em diferentes realidades de tráfego, podem gerar resultados não satisfatórios, ocasionando na perda de fluidez, dentre outros aspectos.

Neste contexto, esta dissertação teve como propósito a verificação dos reais benefícios para o tráfego da aplicação de metodologias de implantação de semáforos existentes no Brasil e no Mundo. Vale lembrar que a não atualização do Manual de Semáforos brasileiro que data de 1984, fator este que induz aos técnicos que analisam processos de semáforos no país, a utilizar os critérios diferentes deste manual ou recorrer a manuais de países com realidade diferente da brasileira.

De forma a consolidar todas as etapas deste estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica para permitir uma compreensão mais profunda sobre os critérios das metodologias de implantação de semáforos analisadas, das definições acerca do modo de operação e coordenação de semáforos, assim como identificar um otimizador e um simulador de tráfego, mais adequados, ao objetivo do presente estudo.

De acordo com a concepção dos objetivos específicos traçados no início deste trabalho, foi necessária inicialmente a aplicação das metodologias de implantação de semáforos analisadas em um corredor da área central de Fortaleza. Esta aplicação foi importante para verificar as diferenças existentes em cada um dos critérios constantes nos manuais. Diante disto, de uma forma geral, foi identificado que os critérios de “volume veicular mínimo” e “índice de acidentes de trânsito” por considerarem valores baixos, indicaram a implantação de semáforos em grande parte dos cruzamentos analisados nesta pesquisa. Como exemplo desta situação tem-se a metodologia Argentina, que considera apenas 400 veículos/hora na via principal e 150 veículos/hora na via secundária, indicou a instalação em 7 das 8 interseções analisadas.

Analisando o crescente volume de veículos na vias brasileiras, e conseqüente aumento do índice de acidentes de trânsito, constata-se que, a utilização de baixos valores dos critérios, tende a implantação de muitos semáforos nas regiões de concentração de atividades, o que gera maiores custos para os órgãos executores de trânsito resultantes da instalação, operação e manutenção destes equipamentos, além de problemas com ajustes de coordenação, necessários em áreas com grande número de cruzamentos semaforizados.

A etapa final deste estudo analisou os impactos no trânsito com as indicações de implantação de semáforos, de acordo com 7 cenários oriundos das metodologias analisadas. Este impacto foi verificado através de medidas de desempenho do simulador de tráfego adotado, o *Integration*. A utilização deste simulador proporcionou a avaliação de diversos cenários em escritório, sem a necessidade de gastos relacionados a testes em campo. Contudo, para uma melhor representação do comportamento do tráfego na área analisada, além do fornecimento de resultados confiáveis, ainda foram realizadas as etapas de calibração e validação do modelo adotado, de forma a se obter resultados mais satisfatórios com o objetivo deste estudo.

Com base nas medidas de desempenho analisadas (velocidade, atraso, comprimento de fila e tempo de viagem), após a análise das intervenções propostas em 7 cenários analisados, verificou-se que em todos foram obtidos, obteve-se ganhos em relação ao cenário atual, ocorrendo um aumento da velocidade, redução do atraso e do tempo de viagem tanto para o corredor em estudo quanto para as vias transversais ao mesmo. Em relação ao comprimento da fila, este parâmetro mostrou-se, na maioria dos cenários igual ou inferior para os *links* das vias secundárias e maior para os *links* da via principal, a Rua Meton de Alencar. Este aumento do comprimento da fila no corredor em análise, está relacionado ao fato, no cenário atual, em 5 das 8 interseções analisadas, o tráfego tinha a preferencial de passagem, não formando fila nestas aproximações. Contudo, com a proposição de implantação de semáforos no corredor, estas 05 interseções passaram a produzir, naturalmente, a formação de fila durante a fase de vermelho.

Após a análise individual do corredor da Rua Meton de Alencar e de suas vias transversais, foram relacionados os percentuais de ganhos globais na rede, de forma a identificar qual das metodologias analisadas propiciaram os maiores benefícios para a área de estudo. Diante disto, foi constatado que o cenário 2, que trata-se da aplicação da metodologia Americana com a escala do Índice de Interdependência do DENATRAN, foi o que apresentou os maiores ganhos globais para a região estudo de caso. Contudo, os resultados relativos aos cenários 01 e 03, quando comparado com o cenário 02, apresentam diferença pouco inferior no desempenho. Os cenários 4 e 6 foram os que apresentaram os menores desempenho.

Concluindo esta pesquisa de mestrado, considera-se que a utilização de critérios para auxiliar na decisão de implantação de semáforos é um fator importante para verificar a real necessidade da implantação deste dispositivo, reduzindo assim os aspectos negativos relacionados a implantações equivocadas. Contudo, além dos critérios constantes nos diversos manuais existentes, deve-se utilizar mecanismos que contribuam para a identificação de qual metodologia traz os maiores benefícios para o tráfego de um região. As etapas descritas neste trabalho mostraram-se bastante práticas, o que permite, posteriormente, uma rápida análise da eficácia de qual metodologia aplicar, de acordo com as especificidades do local analisado.

6.3 RECOMENDAÇÕES

Ao longo do desenvolvimento das etapas deste trabalho, foram identificados alguns aspectos para estudos futuros. Deste modo, sugere-se algumas recomendações para trabalhos futuros:

- a) Desenvolver critérios de implantação de semáforos adequados a realidade do tráfego das cidades brasileiras;
- b) Verificar a correlação existente entre o volume veicular e o índice de acidentes de trânsito em interseções;
- c) Realizar a análise operacional dos critérios com o emprego de outros simuladores de tráfego, que permitam avaliar a interação veículos/pedestres, por exemplo;
- d) Utilizar outras variáveis para a calibração do simulador, bem como as medidas de desempenho, avaliando-se os impactos na rede analisada;
- e) Por fim, recomenda-se avaliar os efeitos da variação de parâmetro da área simulada, nos períodos de pico de tráfego, como: volume veicular, proibição de estacionamento, dentre outro;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTP (1997) *Transporte Humano – Cidades com Qualidade de Vida*. Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP, São Paulo.
- BERTONCINI, B. V.; DEMARCHI, S. H. (2005) Impacto nas Medidas de Desempenho Operacional devido a Substituição de Interseção Semaforizada por Rotatória.
- BESSA JÚNIOR, J. E. ; OLIVEIRA NETO, F. M. ; PAULA, F. S. M. ; LOUREIRO, C. F. G. (2006) Avaliação de intervenções em interseção do tipo rotatória usando o micro-simulador Integration.
- BLOOMBERG, L., Dale, J (2000) A Comparison of the VISSIM and CORSIM Traffic Simulation Models. Institute of Transportation Engineers Annual Meeting.
- BRASIL (1997) Lei No 9.503, de 23 de setembro de 1997, que institui o Código de Trânsito Brasileiro.
- CÓRDOBA (2004) *Decreto* nº 447, de 07 de maio de 2004. Reglamentación de la ley nº 8980 - Utilización de dispositivos reguladores y controladores del tránsito. Anexo 2.
- CRABTREE, M.R.; BINNING, J.C. (1999) *Transyt 11 User Guide*, Transport Research Laboratory.
- CUNTO, F. J. C. (2005) *Assessing the Safety Effect of Signalization at Intersections Using Microscopic Simulation*. A Thesis Proposal Presented to Department of Civil Engineering at the University of Waterloo for the Doctor of Philosophy Comprehensive Examination.
- DEMARCHI, S.H (2000) *Influência dos Veículos Pesados na Capacidade e Nível de Serviço de Rodovias de Pista Dupla*. São Carlos. 166p. Tese – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DENATRAN (1984) Departamento Nacional de Transito, Manual de Semáforos, 2ª Edição, Brasília, DF.
- DENATRAN (2011) www.denatran.gov.br/frota.htm, acesso em 20 de junho de 2011.
- DETRAN-CE (2011) www.detran.ce.gov.br, acesso em: 20 junho 2011.
- DNIT (2006) Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, *Manual de estudos de tráfego*. - Rio de Janeiro, 2006. 384 p.
- ELEFTERIADOU L., Leonard J.D II, List G., Lieu H., Thomas M., Giguere R., Johnson G., and Brewish R. (1999) “Beyond the Highway Capacity Manual. Framework for Selecting Simulation Models in Traffic Operational Analyses.” *Transportation Research Record*, n. 1678.

- FHWA (2003) *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*. Federal Highway. Edição 2003. Washington: Federal Highway Administration.
- FHWA (2000) *Traffic Incident Management Handbook*, Federal Highway. Washington: Federal Highway Administration.
- FREITAS, J. A, AQUINO, E. A., MAIA, M. N., NETO, W. A (2009) Proposição de um método para definição de coordenação entre semáforos: o caso de Fortaleza-Ce.
- HOMBURGER, W.S., Hall, J.W., Loutzenheiser, R.C., Reilly, W.R. (1996). *Fundamentals of Traffic Engineering*. Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, EUA.
- IBGE (2011) www.ibge.gov.br, acesso em 20 de junho de 2011.
- ITE (1999) *The Traffic Safety Toolbox*, Institute of Transportation Engineers, Washington.
- IPEA (2003) *Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Aglomerações Urbanas Brasileira*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Convênio IPEA/Associação Nacional do Transporte Público – ANTP.
- LEANDRO, C. H. P. (2001) *Procedimento Multicriterial para Estruturação e Caracterização de Sistemas Centralizados de Controle do Tráfego Urbano* – Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.
- LOUREIRO, C. F. G., Paula, F. S. M., Souza, D. D. DE M. R., Maia, F. V. B. (2004) *Avaliação da Qualidade do Tráfego nas Vias Arteriais de Fortaleza utilizando o HCM 2000*. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Florianópolis SC, Comunicações Técnicas.
- LOUREIRO, C. F. G.; C. H. P. LEANDRO E M. V. T. DE OLIVEIRA (2002) *Sistema Centralizado de Controle do Tráfego de Fortaleza: ITS Aplicado à Gestão Dinâmica do Trânsito Urbano*. Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Natal, RN, Comunicações Técnicas, p. 19-26.
- M. VAN AERDE & ASSOC.,LTD. (2002) *QueensOD Rel. 2.10 User's Guide: Estimating Origin Destination Traffic Demands from Links Flow*. M. Van Aerde & Assoc.,Ltd, Ontario, Canada.
- MAIA, F. V. B. (2007) *Calibração e Validação de Modelos de Meso e Microsimulação do Tráfego para a Avaliação de Intervenções Tático-Operacionais na Malha Viária Urbana*. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- MARQUEZ, Alejandro Martinez (1979) *Control de transito urbano*. Editorial Limusa, Mexico.
- MAY, A. (1990). *Traffic Flow Fundamentals*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., EUA.

- MINISTRY OF TRANSPORT (1964). The traffic signs regulations and general directions. Statutory Instruments, No. 1857. London , 1964
- OPAS (2007) Organização Pan-Americana de Saúde - www.opas.org.br, acesso em 20 de junho de 2011.
- OLIVEIRA NETO, F.M. (2004). Priorização do Transporte Coletivo por Ônibus em Sistemas Centralizados de Controle de Tráfego. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 162 fl.
- PAULA, F. S. M.; Oliveira, M. V. T. DE; Souza, D. D. DE M. R. E Loureiro, C. F. G. (2005) *Avaliação do Nível de Serviço e do Momento de Tráfego nas Vias Arteriais de Fortaleza. Anais do 15º Congresso Brasileiro de Trânsito e Transportes, ANTP, Goiânia, GO, Comunicações Técnicas.*
- PAULA, F. S. M. (2006) *Proposta de Adaptação da Metodologia do Highway Capacity Manual 2000 para Análise de Vias Arteriais Urbanas em Fortaleza.* Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 158 fl.
- PMF (1996) *Lei no 7.987 de Uso e Ocupação do Solo do Município de Fortaleza. Instituto de Planejamento do Município - Prefeitura Municipal de Fortaleza, Fortaleza/CE.*
- PORTUGAL, L. S. (2005) *Simulação de tráfego: Conceitos e Técnicas de Modelagem,* Editora Interciência Ltda, Rio de Janeiro.
- RAKHA, H. E. Van Aerde, M. W. (1996) Comparison of Simulation Modules of Transyt and Integration Models, Transportation Research Record 1566, p1-7.
- RAKHA, H. A. (2002) *INTEGRATION Release 2.30 for Windows: User's Guide – Volume 1: Fundamental Model Features e Volume 2: Advanced Model Features.*
- ROESS W.R.;Prassas R. P. Mcshane (1998) *Traffic Engineering. Second Edition. Prentice Hall. New Jersey*
- SZASZ, P (1992) Metodologia de análise benefício/custo para equipamentos semaforicos. Nota Técnica – Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CETSP)
- SDD (1973) Scottish Development Department – *Criteria for Traffic Light Signals at Junctions.* www.standardsforhighways.co.uk, acesso em 15 julho de 2011.
- SIATFOR, (2010) *Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito do Município de Fortaleza.* Estatísticas de Acidentes – Ano de 2010, Relatório Anual, AMC/PMF, Fortaleza
- SILVA, R.R.T. DA (2007). *Contribuição à Tomada de Decisão para a Integração dos Municípios Brasileiros ao Sistema Nacional de Trânsito.* Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

- TANNER, J. C. (1962) *A theoretical analysis of delays at an uncontrolled intersection*. Biometrika.
- TRB (2000) *HIGHWAY CAPACITY MANUAL*. Transportation Research Board, Nacional Research Council, Washington, D.C., U.S.A.
- VALDES G. R. A (1982) *Ingenieria de Trafego*. Dossar, Madrid, Espanha.
- VASCONCELOS, A. L. P. (2004) *Modelos de atribuição/simulação de tráfego: o impacto na qualidade dos resultados de erros no processo de modelação*. Departamento de Engenharia Civil Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra.
- VILANOVA (2007) *Critérios para a implantação de semáforos*
- WEBSTER, F. V. (1948) *Traffic Signal settings*, Road Research Technical, Paper No. 39 . HSMO, London , 1958
- WEBSTER, F. V.; COBBE, B. M. (1966) *Traffic Signals, Road Research Technical*, Paper No. 56 . HSMO, London.