

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO DA CAPACIDADE DE RETORNOS LOCALIZADOS
EM CANTEIROS CENTRAIS DE VIAS URBANAS PARA
ESTIMATIVA DO COMPRIMENTO DA FAIXA DE
ARMAZENAMENTO**

VENINA DE SOUZA OLIVEIRA

ORIENTADORA: MARIA ALICE PRUDÊNCIO JACQUES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

PUBLICAÇÃO: T.DM-006A/2009

BRASÍLIA/DF, JUNHO/2009

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ESTUDO DA CAPACIDADE DE RETORNOS LOCALIZADOS
EM CANTEIROS CENTRAIS DE VIAS URBANAS PARA
ESTIMATIVA DO COMPRIMENTO DA FAIXA DE
ARMAZENAMENTO**

VENINA DE SOUZA OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TRANSPORTES.

APROVADA POR:

PROF^a. MARIA ALICE PRUDÊNCIO JACQUES, PhD (UnB)
(ORIENTADORA)

PROF. PAULO CESAR MARQUES DA SILVA, PhD (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

PROF^a. MARIA ELISABETH PINHEIRO MOREIRA, D.Sc.(UFC)
(EXAMINADOR EXTERNO)

Brasília/DF, 29 de junho de 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, VENINA DE SOUZA

Estudo da capacidade de retornos localizados em canteiros centrais de vias urbanas para estimativa do comprimento da faixa de armazenamento. [Distrito Federal] 2009.

xvii, 83p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2009).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Dispositivo de Retorno

2. Análise da Capacidade

3. Projeto Geométrico

4. Faixa de Armazenamento

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, V. S. (2009). Estudo da capacidade de retornos localizados em canteiros centrais de vias urbanas para estimativa do comprimento da faixa de armazenamento, Publicação T.DM-006A/2009, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 83p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Venina de Souza Oliveira.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Estudo da capacidade de retornos localizados em canteiros centrais de vias urbanas para estimativa do comprimento da faixa de armazenamento.

GRAU: Mestre / ANO: 2009

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Venina de Souza Oliveira
veninaoliveira@gmail.com

DEDICATÓRIA

*Aos meus queridos pais, Vitor e Luzia e irmãos Vitor,
Verena, Vanila e Virna, pelo amor e cumplicidade
incondicionais, pela compreensão nas minhas ausências
e pelo incentivo que sempre me deram.*

*À pequena Maria Cecília, por quem meu coração
transborda de amor.*

AGRADECIMENTOS

À Deus. Muito obrigada por me encorajar a buscar todos os sonhos, não importando o quão distante eles pareçam estar.

À minha família, por estar sempre presente. Amo vocês.

Pelo ingresso na UNB,

À minha irmã Vanila por me dizer que ainda havia tempo de entrar no processo seletivo da UnB.

Aos colegas José Iran, Flávio Cunto, Suliano Mesquita e a professora Mônica Fiúza Gondim, que muito me ensinaram.

Pela realização deste trabalho,

À minha orientadora, Professora Maria Alice Prudêncio Jacques, pela orientação e incentivo. Sua doçura, competência, apoio e confiança em mim depositada foram imprescindíveis para realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Transportes: Adelaida, Joaquim, José Augusto, Pastor, Paulo César, Ricardo e Yaeko, por compartilharem seus conhecimentos e experiências.

Aos colegas de mestrado, pelo conhecimento proporcionado.

Ao Júlio, por me ensinar que antes de qualquer problema a ser resolvido, um bom dia é sempre bem vindo.

Pela contribuição na realização das pesquisas de campo,

À Jocilene e Lara que me ajudaram nas exaustivas pesquisas de campo.

Ao Zé Lopes que me emprestou a escada para que eu pudesse montar a minha engenhoca.

Pela amizade e confiança,

Em especial, à minha amiga Elis, pelo incentivo, dedicação e amizade.

À amiga Marta e aos meus amigos de Fortaleza, que mesmo distantes sei que estavam torcendo pelo meu êxito.

Pela acolhida em Brasília,

Ao meu cunhado Igor pelo suporte nos primeiros meses.

À Geralda, pelos almoços de domingo.

A Leila Queiroz e Hilba Soares pela receptividade.

Pelo apoio financeiro,

A CAPES e CNPQ pelo apoio financeiro, fundamental na conclusão deste trabalho.

RESUMO

Retornos são manobras que permitem a inversão do sentido da circulação do trânsito em vias dotadas de canteiro central. Os movimentos de retorno em aberturas de canteiros, dependendo das características geométricas e do tráfego da via, podem ser complexos e arriscados. Normalmente, a velocidade do fluxo de tráfego contrário é elevada e, por isso, o veículo que converge em baixa velocidade precisa aguardar por um grande intervalo no fluxo contrário, para então executar a manobra de retorno. Essa situação, não raro, leva a ocorrência de fila além da capacidade de armazenamento da faixa auxiliar, com sérias implicações para a segurança e fluidez, sobretudo do tráfego de passagem na faixa contígua à faixa auxiliar. Apesar das questões de segurança e fluidez do tráfego relacionadas à operação dos retornos, são poucos os estudos encontrados na literatura nacional e internacional, tratando do desempenho operacional desses dispositivos. Mais raros ainda são os estudos que tratam especificamente de aspectos ligados ao projeto das faixas auxiliares dos retornos, de modo a permitir o armazenamento seguro dos veículos que aguardam a oportunidade para realizar a manobra.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver um procedimento para a estimativa do comprimento de armazenamento dessas faixas auxiliares, que leve em conta, de forma explícita, a capacidade de cada dispositivo. A partir da coleta de dados de geometria e do tráfego em nove dispositivos localizados na cidade de Brasília, buscou-se verificar dois aspectos básicos: se os retornos estavam projetados em observância às normas nacionais e do exterior, e se os métodos disponíveis na literatura para a estimativa da capacidade desses dispositivos eram adequados para representar a operação observada.

A partir dos dados coletados, verificou-se que, as normas não estavam sendo observadas, e ainda, os métodos de estimativa da capacidade presentes na literatura precisavam ser calibrados para melhor representar as condições locais. Essa calibração foi realizada e, embora não apresentando resultados ideais, permitiu a obtenção de resultados mais compatíveis com os observados. A partir dos métodos calibrados, o 95º percentil do número de veículos em fila de cada retorno foi estimado e utilizado como parâmetro para definir a extensão da faixa de armazenamento.

Palavras chave: Dispositivos de retorno, capacidade, faixa de armazenamento, faixa auxiliar, projeto geométrico.

ABSTRACT

U-turns are maneuvers that allow the inversion of traffic flow direction on roads with medians. U-turn traffic movements in median openings can be highly complex and risky, depending on geometric characteristics and traffic flow. Normally, the incoming traffic flow speed is increased and therefore a vehicle converging at low speed must wait for a long period of time in the contrary flow in order to make a U-turn. This often leads to occurrence of queuing beyond the storage capacity of the auxiliary lanes, with serious implications for the safety and fluidity, mostly of through traffic in the lane adjacent to the auxiliary lane. Despite security issues and traffic flow related to the operation aspects of U-turns, there are quite few studies found in national literature and international dealing with the operational performance of these devices. Even rarer are studies dealing specifically with issues related to the design of auxiliary lanes of U-turns in order to enable the safe storage of vehicles awaiting the opportunity to make a U-turn.

In this context, this study aims to develop a methodology for estimating the storage length required for auxiliary lanes located at median openings, addressing the capacity of such devices. From the data collection of geometry and traffic in nine devices located in the city of Brasilia, the study sought to verify two basic aspects: if the U-turns were designed in compliance with national and abroad standards, and whether the methods available in the literature for estimating the capacity of these devices were adequate to represent the performance of the operation observed.

From the data collected, it was found that the norms were not being observed, and the methods for estimation capacity in the existing literature should be calibrated to better represent the local conditions. This calibration was executed and, although the results aren't ideal, they enabled the obtainment of results which are more consistent with those observed. From the calibration methods, the 95th percentile of vehicles in queue in each U-turn was estimated and used as a parameter to define the extent of the storage lane.

Keywords: Device of U-turn, capacity, storage lanes, auxiliary lanes, geometric project.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE QUADROS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES.....	xv
1. CAPÍTULO	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	4
1.3 HIPÓTESE.....	5
1.4 OBJETIVOS	5
1.5 JUSTIFICATIVA	5
1.6 ESTRUTURA METODOLÓGICA.....	6
1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	7
2. CAPÍTULO	9
RETORNOS	9
2.1 CLASSIFICAÇÃO ADOTADA NO EXTERIOR.....	9
2.1.1 Em função do tipo de geometria.....	10
2.1.2 Em função da presença de faixas de conversão à esquerda.....	10
2.1.3 Em função da presença de <i>loons</i>	11
2.1.4 Em função do tipo de interseção.....	11
2.2 CRITÉRIOS ADOTADOS NO EXTERIOR PARA IMPLANTAÇÃO DE RETORNOS	12
2.3 CLASSIFICAÇÃO ADOTADA NO BRASIL	13
2.4 CRITÉRIOS NACIONAIS PARA A IMPLANTAÇÃO DE RETORNOS.....	14
2.5 TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	15
3. CAPÍTULO	17
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS PROJETOS DE RETORNOS.....	17
3.1 DIMENSÕES MÍNIMAS PARA RETORNOS EM “U”.....	17
3.2 FAIXAS AUXILIARES	21
3.2.1 Comprimento de desaceleração	22
3.2.2 Comprimento de armazenamento	23

3.2.3	<i>Taper</i>	24
3.3	TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	25
4.	CAPÍTULO	26
	MODELOS PARA ESTIMATIVA DA CAPACIDADE EM RETORNOS	26
4.1	CAPACIDADE DE INTERSEÇÕES CONTROLADAS POR REGRAS DE PRIORIDADE (HCM, 2000)	26
4.1.1	Estimativa da brecha crítica.....	28
4.1.2	Tempo de seguimento.....	30
4.1.3	Estimativa da capacidade potencial.....	30
4.1.4	Estimativa do comprimento da fila.....	31
4.2	MODELO DE AL-MASAEID	32
4.2.1	Modelo da capacidade em retornos	35
4.2.2	Modelos para atraso médio total.....	36
4.2.3	Modelos de brecha crítica e tempo de seguimento.....	36
4.2.4	Conclusões do estudo	37
4.3	MODELO DE LIU	37
4.3.1	Determinação da brecha crítica	39
4.3.2	Tempo de seguimento.....	39
4.3.3	Capacidade de movimentos de retorno em canteiros centrais.....	41
4.3.4	Teste dos modelos de capacidade.....	42
4.3.5	Conclusões do estudo	44
4.4	TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	44
5.	CAPÍTULO	46
	DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E PESQUISAS DE CAMPO.....	46
5.1	DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	47
5.2	CARACTERIZAÇÃO DAS VIAS.....	48
5.2.1	Via L2 Norte.....	49
5.2.2	Via L3 Norte.....	49
5.3	DETERMINAÇÃO DOS LOCAIS DE PESQUISA.....	50
5.4	COLETA DE DADOS.....	50
5.4.1	Etapa 01: Medições	51
5.4.2	Etapa 02: Filmagem.....	53
5.5	ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E OPERACIONAIS.....	54

5.6	TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	61
6.	CAPÍTULO.....	62
	MODELO PARA ESTIMATIVA DA CAPACIDADE E O PROCEDIMENTO DE DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DA FAIXA DE ARMAZENAMENTO.....	62
6.1	APLICAÇÃO DOS MODELOS EXISTENTES	62
6.2	CALIBRAÇÃO DOS MODELOS EXISTENTES	66
6.3	DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DA FILA	72
6.4	DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DA FAIXA AUXILIAR.....	74
6.5	TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	77
7.	CAPÍTULO.....	78
	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	78
7.1	CONCLUSÕES	78
7.2	RECOMENDAÇÕES.....	81
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Dimensões mínimas do canteiro central para comportar manobras de retorno e recomendadas pelo DNIT (2005)	18
Tabela 3.2: Dimensões mínimas do canteiro central para comportar manobras de retorno e recomendadas pela AASHTO (2004).....	19
Tabela 3.3: Dimensões mínimas do canteiro central para comportar manobras de retorno e recomendadas pelo FHWA (2007)	20
Tabela 3.4: Comparativo das dimensões mínimas exigidas para retornos em “U”	21
Tabela 3.5: Comprimentos mínimos de desaceleração	23
Tabela 3.6: Comprimentos das faixas de armazenamento	24
Tabela 4.1: Brechas críticas e intervalos de tempo entre veículos para interseções com regra de prioridade	29
Tabela 4.2: Brechas críticas e intervalos de tempo entre veículos para interseções não semaforizadas para vias de quatro faixas	41
Tabela 5.1: Descrição dos locais selecionados.....	53
Tabela 5.2: Resumo dos valores mínimos recomendados pela normas nacionais e do exterior para dimensionamento de projeto geométrico de retornos.....	55
Tabela 5.3: Volume de veículos coletados na faixa auxiliar	58
Tabela 6.1: Volumes de tráfego coletados em campo.....	63
Tabela 6.2: Aplicação do método do HCM (TRB, 2000)	63
Tabela 6.3: Aplicação do método do Al-Masaied (1999)	64
Tabela 6.4: Aplicação do método de Liu <i>et al.</i> (2008).....	65
Tabela 6.5: Resultados da regressão linear de Al-Masaied (1999)	67
Tabela 6.6: Resultados da calibração do método do HCM (TRB, 2000).....	68
Tabela 6.7: Resultados da calibração da equação exponencial de Al-Masaied (1999).....	70
Tabela 6.8: Taxa de chegada vs. capacidade (veic./h).....	72
Tabela 6.9: Número estimado de veículos em pelo método do HCM (TRB, 2000)	73
Tabela 6.10: Comparativo do comprimento de armazenamento (em metros)	74
Tabela 6.11: Determinação do comprimento total da faixa auxiliar (em metro)	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Critérios adotados no exterior para implantação de dispositivos de retorno	12
Quadro 2.2: Critérios nacionais para implantação de dispositivos de retorno.....	15

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Frota de automóveis mundial no ano de 2006 (mil unidades).....	2
Figura 1.2: Número de automóveis produzidos no Brasil entre os anos de 1957 a 2008	3
Figura 2.1: Retorno bidirecional	10
Figura 2.2: Retorno direcional	10
Figura 2.3: Retorno bidirecional com faixa de conversão à esquerda	11
Figura 2.4: Retorno direcional com faixa de conversão à esquerda.....	11
Figura 2.5: Retorno bidirecional com faixa de conversão à esquerda e <i>loons</i>	11
Figura 2.6: Retorno direcional com faixa de conversão à esquerda e <i>loons</i>	11
Figura 2.7: Retorno bidirecional em interseção em “cruz”	11
Figura 2.8: Retorno bidirecional em interseção em “T”	11
Figura 2.9: Retorno Tipo A	13
Figura 2.10: Retorno Tipo B	13
Figura 2.11: Retorno Tipo C	14
Figura 3.1: Elementos de uma faixa auxiliar localizada em um dispositivo de retorno	22
Figura 4.1: Correntes de tráfego em cruzamentos controlados por regra de prioridade	27
Figura 4.2: Correntes de tráfego em cruzamentos controlados por regra de prioridade	28
Figura 4.3: 95º percentil do comprimento de fila.....	32
Figura 4.4: Relação empírica <i>versus</i> relação de aceitação de brechas	33
Figura 5.1: Evolução da frota de veículos do Distrito Federal.....	46
Figura 5.2: Critérios para delimitação da área de estudo	47
Figura 5.3: Localização da área de estudo em Brasília	48
Figura 5.4: Localização dos locais de pesquisa na área de estudo	50
Figura 5.5: Identificação das variáveis para coleta de dados	51
Figura 5.6: Identificação das variáveis para coleta de dados	52
Figura 5.7: Adaptação da filmadora para coleta de dados	54
Figura 5.8: Largura do canteiro central.....	56
Figura 5.9: Comprimento da faixa auxiliar (excluindo o <i>taper</i>)	57
Figura 5.10: Comprimento do <i>taper</i>	57
Figura 5.11: Extensão da fila (m).....	59
Figura 5.12: Extensão da fila vs. comprimento da faixa de armazenamento	59
Figura 5.13: Extensão da fila vs. dimensionamento recomendado	60

Figura 6.1: Diferenças percentuais entre os valores coletados em campo e os resultantes da aplicação dos métodos	65
Figura 6.2: Resíduos da calibração da equação linear de Al-Masaied (1999)	67
Figura 6.3: Resíduos da calibração da equação exponencial do HCM (TRB, 2000).....	69
Figura 6.4: Diferenças percentuais entre os valores das capacidades coletados em campo e os valores resultantes da aplicação do método recomendado e da calibração do HCM 2000	70
Figura 6.5: Diferenças percentuais entre os valores das capacidades coletadas em campo e os valores resultantes do modelo linear de Al-Masaied (1999) e da calibração desse modelo	71
Figura 6.6: Diferenças percentuais entre os valores das capacidades coletadas em campo e os resultantes da calibração dos métodos	71
Figura 6.7: Número estimado de veículos em pelo método do HCM (TRB, 2000)	73
Figura 6.8: Comparativo do comprimento para o armazenamento de veículos (m)	75
Figura 6.9: Etapas do procedimento para determinação do comprimento da faixa auxiliar de dispositivos de retorno.....	76

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

AASHTO: *American Association of State Highway and Transportation Officials*

Anfavea: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ANTP: Associação Nacional de Transportes Públicos

Denatran: Departamento Nacional de Trânsito

DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

Detran/DF: Departamento de Trânsito do Distrito Federal

FDOT: *Florida Department of Transportation*

FHWA: *Federal Highway Administration*

HCM: *Highway Capacity Manual*

ITE: *Institute of Transportation Engineers*

MDOT: *The Michigan Department of Transportation*

NCHRP: *National Cooperative Highway Research Program*

Renavam: Registro Nacional de Veículos Automotores

TRB: *Transportation Research Board*

U.S.DOT: *United States Department of Transportation*

1. CAPÍTULO

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Na década de 30 intensas transformações sociais ocorreram no Brasil, com a população rural migrando para as cidades, caracterizando o princípio do processo de urbanização do país. Dando sequência a esse processo, no final da década de 50, houve a intensificação dos subsídios e a proteção às montadoras de automóveis estrangeiras que se instalavam no Brasil. A maioria das cidades precisou ser adaptada para o advento do automóvel, pois esse se tornara um artigo indispensável de consumo, incentivado por propagandas de economias capitalistas, que além de ter grande importância nas relações sociais, era considerado um símbolo de *status*, liberdade, poder, utilidade e conforto (RODRIGUES, 2009 e BOTELHO, 2002).

O veículo automotivo converteu-se em fenômeno de massa em todo o mundo, por promover a mobilidade individual, tornando acessíveis os equipamentos urbanos e a prosperidade material sem precedentes (MARIN e QUEIROZ, 2000). Além disso, conforme Schor (1999), o automóvel cada vez mais exerce um papel importante na configuração da paisagem urbana e das relações sociais, impondo à sociedade profundas alterações econômicas, demográficas, sociais e tecnológicas, ampliando as possibilidades de locomoção e propiciando ao indivíduo a sensação de autonomia em relação ao tempo e principalmente ao espaço.

Segundo Botelho (2002), a partir de 1990 verifica-se uma reestruturação industrial, resultante das transformações na política econômica do país. Esse momento foi caracterizado pela abertura do mercado nacional para novas empresas estrangeiras montadoras de automóveis, juntamente com a elevação do nível de renda dos consumidores e a expansão do volume e melhoria das condições do crédito ao consumidor. Tais acontecimentos resultaram na ampliação da frota nacional e os investimentos públicos precisaram ser direcionados para minimizar problemas de circulação e fluidez nas vias. A

infraestrutura viária das maiores cidades de países em desenvolvimento passou a ser ampliada e adaptada para o uso eficiente do automóvel (ANTP, 1997).

Segundo a Anfavea – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (2008) no ano de 2006 a frota mundial de automóveis totalizava 953,4 milhões de unidades. O Brasil estava inserido nesse contexto com uma frota aproximada de 24 milhões de automóveis, representando 2,52% do total da frota mundial (Figura 1.1).

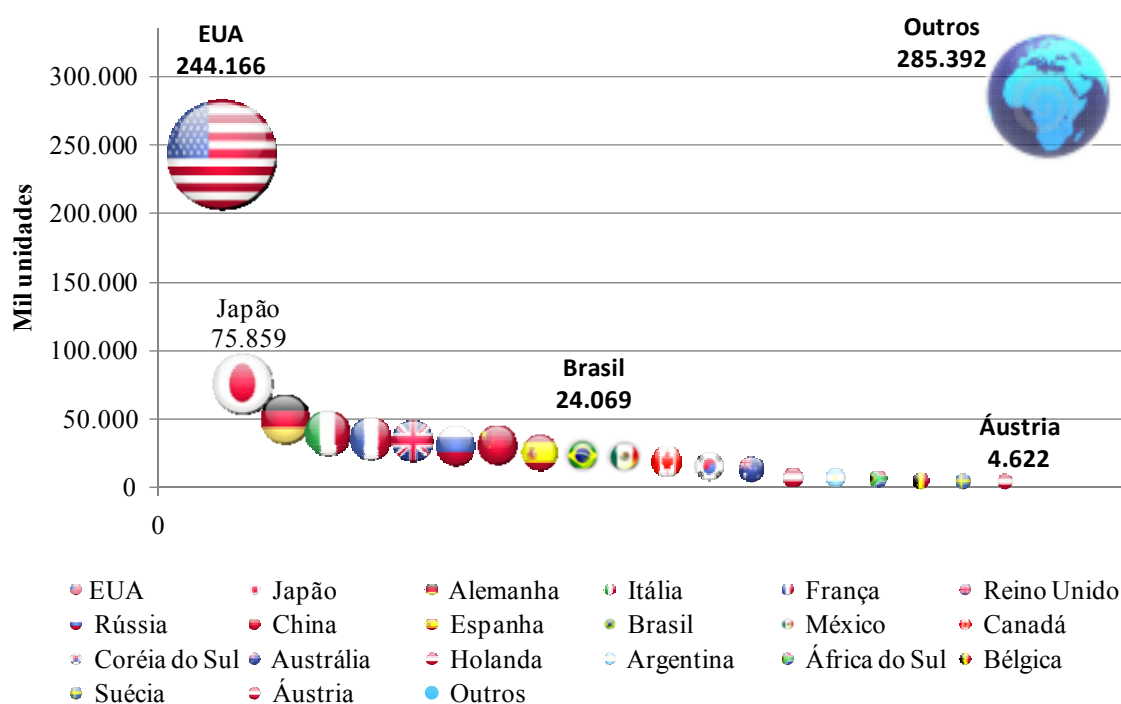


Figura 1.1: Frota de automóveis mundial no ano de 2006 (mil unidades)

Fonte: Adaptado de Anfavea (2008)

Assim, constata-se que trânsito intenso e congestionado nas cidades está diretamente ligado ao excesso de veículos nas vias, e tem repercutido não apenas na infraestrutura viária. Tal fato tornou-se um assunto de cunho econômico, ambiental e de saúde pública, visto que a emissão de gases veiculares é a principal fonte de contaminação atmosférica. Aliado a isso, a ausência de planejamento urbano no Brasil e o crescimento rápido e desordenado das cidades, contribuem para agravar as já existentes dificuldades na mobilidade urbana e os problemas ambientais. Conforme Lucas (2008), a pouca habilidade dos governos em prover infraestrutura adequada e serviços de transportes eficientes, além de permitir a deterioração dos transportes públicos, afasta a classe média desses serviços, obrigando-a a optar pelo transporte individual.

Contextualizando o Brasil nesse cenário, a Figura 1.2 ilustra o crescimento da produção automobilística no país entre os anos de 1957 e 2008 (ANFAVEA, 2008).

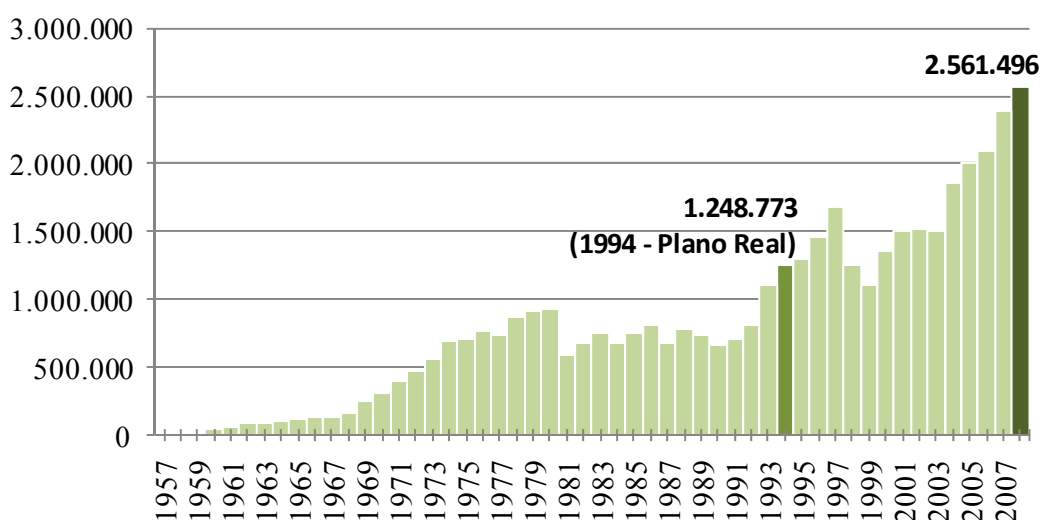


Figura 1.2: Número de automóveis produzidos no Brasil entre os anos de 1957 a 2008
Fonte: Adaptado de Anfavea (2008)

Acompanhando os seguidos recordes das montadoras, de acordo com dados do Anuário Estatístico do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2009), a frota brasileira vem crescendo progressivamente. Segundo o referido departamento, no ano de 2000 a frota nacional possuía aproximadamente 29.722.950 unidades de automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus. Entretanto, em 2008 essa frota praticamente duplicou, atingindo um total de 54.506.661 unidades. Esse crescimento tem resultado na saturação das vias e conseqüentemente no surgimento de congestionamentos. Tal fato é preocupante, principalmente quando se verifica que o espaço urbano relativo usado pelo transporte individual é significativamente superior ao usado pelo transporte coletivo.

A expansão acentuada da frota automobilística no Brasil, aliada ao adensamento das grandes cidades, assim como a ausência de planejamento urbano e infraestrutura viária finita sobrecarregada, agravaram consideravelmente os entraves à fluidez do trânsito, gerando engarrafamentos e atrasos maiores, sem falar nas questões ligadas à segurança dos usuários das vias. Nesse contexto, surge a necessidade de medidas que reduzam a dependência do automóvel e de outras que gerenciem a operação do tráfego, de modo a garantir a segurança da circulação do tráfego motorizado e não motorizado.

Dentre as medidas de gerenciamento da operação do tráfego, destaca-se o conceito de gestão de acesso proposto pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 2004). Esse conceito objetiva ordenar o desenvolvimento local, preservando simultaneamente o fluxo de tráfego no seu sistema viário em termos de segurança, capacidade e velocidade. Uma das técnicas utilizadas na gestão de acesso é o tratamento das conversões à esquerda, que utiliza desde faixas exclusivas para esse tipo de manobra até a implantação de dispositivos de retornos, antes ou após as interseções, como alternativa para eliminar esse tipo de manobra nesses locais.

Os movimentos de retorno em aberturas de canteiros, de acordo com as características geométricas e do tráfego da via, podem ser complexos e arriscados. Apesar disso, verifica-se que há escassez de estudos tratando do desempenho operacional de retornos na literatura nacional e internacional. Desse modo, a presente pesquisa propõe desenvolver uma metodologia para a estimativa do comprimento da faixa de armazenamento de retornos localizados em canteiros centrais, levando em conta a sua capacidade. Com isso, objetiva contribuir para uma melhor operação desses dispositivos, reduzindo os congestionamentos e os riscos de acidentes de trânsito.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Retornos são dispositivos que permitem a inversão do sentido da circulação do veículo em vias com duplo sentido de circulação e dotadas de canteiro central. Na análise da operação desses dispositivos em vias urbanas, observa-se que em diversas situações, o comprimento da faixa de armazenamento não é suficiente para acomodar os veículos que estão aguardando para realizar a manobra de conversão. Tal fato resulta na formação de filas com comprimento superior ao da faixa de armazenamento e ocasiona prejuízo à fluidez do tráfego de passagem, tornando evidente que os projetos dessas faixas não atendem as necessidades do tráfego.

Dessa forma, estudos são necessários no sentido de avaliar se os problemas existentes decorrem da inobservância das atuais normas para elaboração de projeto desses dispositivos ou de lacunas nas recomendações dessas normas. O presente projeto buscará responder a seguinte questão: *Como dimensionar a faixa de armazenamento em retornos para acomodar os veículos que estão aguardando para realizar a manobra de conversão?*

1.3 HIPÓTESE

Ponderando os argumentos expostos, foi elaborada a seguinte hipótese: a utilização de estudos de capacidade, aliados aos atuais procedimentos para a execução de projetos de retorno, permite dimensionar a faixa de armazenamento para acomodar devidamente os veículos que estão aguardando para realizar a manobra de conversão.

1.4 OBJETIVOS

O presente trabalho possui como objetivo geral o aperfeiçoamento dos procedimentos atuais para a elaboração de projetos de dispositivos de retorno. Esse aperfeiçoamento será baseado na utilização de um método de estimativa da capacidade desse tipo de dispositivo, voltado para o dimensionamento de faixas de armazenamento.

Os objetivos específicos são:

- a) analisar alguns projetos de retornos na cidade de Brasília para verificar se esses atendem as normas nacionais e do exterior;
- b) identificar o grau de atendimento oferecido pela faixa de armazenamento dos dispositivos estudados aos veículos que aguardam para realizar a manobra de retorno;
- c) definir um método para estimativa da capacidade de dispositivos de retorno; e
- d) desenvolver um procedimento para o cálculo do comprimento da faixa de armazenamento, levando em consideração a capacidade do retorno.

1.5 JUSTIFICATIVA

De acordo com Al-Masaeid (1999), os movimentos de retorno em aberturas de canteiros, quando comparados a movimentos de conversão em interseções, são complexos e arriscados. Normalmente, a velocidade do fluxo do tráfego contrário é relativamente alta e, por isso, o veículo que converge em baixa velocidade precisa aguardar por um grande intervalo no fluxo contrário, para então executar a manobra de retorno.

Para a determinação do comprimento da faixa de armazenamento, o DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2005) adota as mesmas recomendações adotadas pela AASHTO (2004), em que o comprimento da faixa pode ser calculado com base no número médio de veículos que se acumulam durante dois minutos na hora de pico. Caso haja poucas oportunidades para as manobras de giro à esquerda, em consequência do volume do tráfego oposto, o tempo de dois minutos pode ser alterado, gerando intervalos maiores de acumulação. No entanto, os critérios que justificam a adoção do período de dois minutos não são apresentados.

Além disso, a análise das normas de projeto de dispositivos de retornos revelou que dentre os critérios recomendados para dimensionamento de faixas de armazenamento, não está inserida a avaliação da capacidade nos retornos para os movimentos de conversão que ele permite.

Na literatura pesquisada, apenas os trabalhos de Al-Masaeid (1999) e Liu *et al.* (2008) abordaram o estudo da capacidade em retornos. Segundo Liu *et al.* (2008), até então o trabalho de Al-Masaeid era o único no que se refere ao estudo da capacidade do movimento de retornos em aberturas de canteiros.

Para Al-Masaeid (1999), o HCM – *Highway Capacity Manual*, contém procedimentos e modelos para estimar a capacidade e os atrasos de diferentes movimentos em interseções não semaforizadas, entretanto não fornece diretrizes específicas para estimar a capacidade e atraso dos movimentos de retorno nas aberturas de canteiros. Na análise da versão mais recente desse manual, constata-se que essa situação ainda persiste (TRB, 2000).

1.6 ESTRUTURA METODOLÓGICA

A metodologia para o desenvolvimento desta pesquisa inclui as seguintes etapas:

- (i) **Revisão bibliográfica:** realizada com a finalidade de pesquisar as normas e recomendações nacionais e do exterior que tratem a respeito de dispositivos de retornos e levantar estudos relacionados à determinação da capacidade desses dispositivos;

- (ii) **Identificação dos locais de estudo:** visando definir uma área urbana a ser estudada, os locais para coleta de dados serão selecionados em função das características da via e do volume do tráfego;
- (iii) **Pesquisas de campo:** objetivando coletar em cada local os seguintes dados: velocidade da via; número de faixas; geometria do dispositivo de retorno; largura do canteiro central; largura da abertura do canteiro; comprimentos das faixas auxiliares; comprimento do *taper*; raio de giro; volume de veículos convergindo e do tráfego oposto; e comprimento da fila aguardando para realizar a manobra de conversão;
- (iv) **Análise dos dados:** para confrontar o *layout* observado com os critérios apresentados nas normas nacionais e do exterior; caracterizar a operação do tráfego nos retornos, especificamente quanto aos volumes de conversão e volumes do tráfego oposto; analisar a capacidade dos retornos em estudo; e sintetizar as principais características geométricas do local;
- (v) **Definição de um método para estimativa da capacidade:** os objetivos desta etapa são calibrar um método existente ou desenvolver um método para estimar a capacidade de retorno e definir um procedimento para determinar o comprimento da faixa de armazenamento que leve em conta esse método.

1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos, além deste capítulo introdutório. Nos Capítulos 2 e 3 é apresentado todo o embasamento teórico a respeito dos tipos de retornos sobre o qual este trabalho se fundamenta, procurando descrever as classificações de cada tipo, suas características, os critérios de implantação, bem como as características geométricas dos projetos. Esse conteúdo tornou possível selecionar o tipo de retorno que mais se adaptava à aplicação da metodologia deste trabalho.

No Capítulo 4 é realizada uma revisão bibliográfica a respeito da capacidade em retornos, apresentando os estudos existentes que abordem cálculos para a estimativa dessa capacidade, além dos estudos que possam ser adaptados.

No Capítulo 5 são descritas as pesquisas de campo, realizadas no decorrer deste trabalho, apresentando a área de estudo, os critérios de seleção de cada local e as características observadas, possibilitando a análise da capacidade desses retornos.

O Capítulo 6 consiste na descrição dos testes realizados com os modelos existentes e o modelo proposto que melhor se adapte a estimativa da capacidade, servindo de subsídio para o desenvolvimento do procedimento de determinação do comprimento da faixa de armazenamento e sua aplicação aos locais estudados.

No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido, fazendo um comparativo entre os resultados alcançados e os objetivos estabelecidos. Além disso, são apresentadas recomendações de abordagens para trabalhos futuros.

2. CAPÍTULO

RETORNOS

Entende-se por retorno o ato ou efeito de retornar, regressar, voltar ao ponto de partida. Nas estradas de rodagem, retorno designa a via própria para regressar sem cortar a mão de direção. Conforme o DNIT (2005), “*retornos são dispositivos que, no interior da faixa de domínio da rodovia, permitem a inversão do sentido da circulação do trânsito*”.

Em vias urbanas, os retornos devem ser implantados em canteiros centrais, em locais que ofereçam condições de segurança e fluidez aos movimentos de conversão, observadas as características da via, do veículo, das condições meteorológicas e da movimentação de pedestres e ciclistas (BRASIL, 2006). O movimento de retorno em transportes refere-se a uma manobra de 180 graus de rotação, com a finalidade de inverter o sentido de direção de percurso. Esse movimento, nos países de língua inglesa, é denominado por *u-turn*, por tratar-se de uma manobra semelhante à letra U.

Na literatura existem algumas diretrizes para projetar e implantar aberturas em canteiros, viabilizando manobras de retorno não controladas por semáforos em vias rurais e urbanas. Esta seção vai apresentar as principais classificações obtidas na literatura nacional e internacional pesquisada, bem como os critérios que justificam a adoção e localização dos dispositivos de retorno.

2.1 CLASSIFICAÇÃO ADOTADA NO EXTERIOR

Conforme Potts *et al.* (2005), as aberturas de canteiros centrais, localizadas em meio de quadra ou em interseções para a execução de manobras de retornos, podem ser classificadas de acordo com os seguintes aspectos: (i) tipo de geometria; (ii) presença de faixas de conversão à esquerda; (iii) presença de *loons*; e (iv) tipo de interseção em “T” ou em “cruz”. Cada aspecto será descrito e ilustrado a seguir.

2.1.1 Em função do tipo de geometria

Entende-se por cruzamento bidirecional a abertura no canteiro em que os veículos de diferentes correntes de tráfego realizam a manobra de retorno na mesma abertura. Já os cruzamentos direcionais permitem manobras de retornos em espaços exclusivos para cada sentido da corrente de tráfego. Nas Figuras 2.1 e 2.2 estão ilustrados dois tipos de retornos de acordo com o tipo de geometria, o “bidirecional” e o “direcional”, respectivamente.

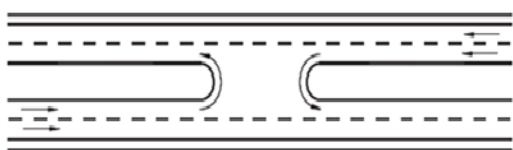


Figura 2.1: Retorno bidirecional

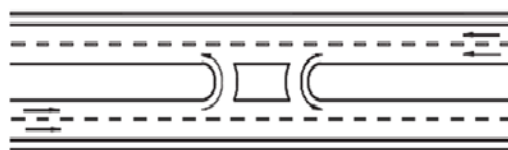


Figura 2.2: Retorno direcional

O espaçamento mínimo entre as aberturas localizadas em vias arteriais urbanas, recomendado pelo MDOT – *The Michigan Department of Transportation*, é de 30,5 metros, sendo o desejável de 46 metros (FHWA, 2007). O referido departamento realizou pesquisas relacionadas à segurança na operação de dispositivos de retorno, obtendo resultados positivos com a substituição de retornos bidirecionais por direcionais. E ainda, essas pesquisas comprovaram que o canteiro de retorno direcional possui benefício operacional e de segurança maior quando comparado ao canteiro de retorno bidirecional, apresentando:

- a) redução média de 31% na frequência de colisões;
- b) redução média de 32% dos danos decorrentes de colisões; e
- c) redução na frequência de colisões traseiras, travamentos em ângulos e engavetamentos.

2.1.2 Em função da presença de faixas de conversão à esquerda

Segundo Potts *et al.* (2005), a presença de faixas de conversão em dispositivos de retornos reduz potencialmente as colisões traseiras entre os veículos que realizam a manobra de conversão e os veículos do tráfego de passagem. A presença dessas faixas também mitiga os problemas ocasionados por veículos que aguardam para realizar a conversão, invadindo as faixas adjacentes (Figuras 2.3 e 2.4).

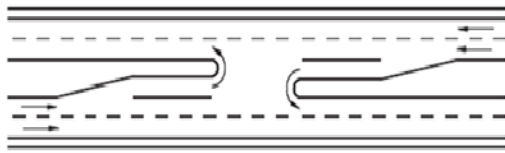


Figura 2.3: Retorno bidirecional com faixa de conversão à esquerda

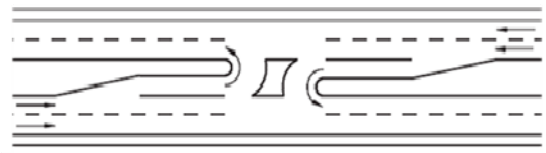


Figura 2.4: Retorno direcional com faixa de conversão à esquerda

2.1.3 Em função da presença de *loons*

Os *loons* constituem uma solução de projeto para acomodar as manobras de retorno de veículos maiores, e consiste no alargamento da faixa mais à direita na direção e sentido alvo do movimento de retorno. Pode também ser uma solução para a instalação de retornos em locais que possuam a largura do canteiro insuficiente para a realização segura e confortável de manobras de retorno, inclusive para veículos menores. Os projetos de *loons* podem estar localizados em canteiros direcionais ou bidirecionais e também acompanhados de faixa de conversão à esquerda (Figuras 2.5 e 2.6).

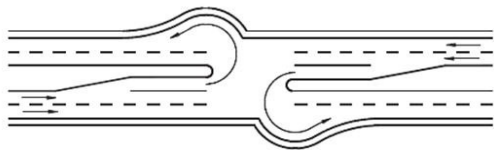


Figura 2.5: Retorno bidirecional com faixa de conversão à esquerda e *loons*

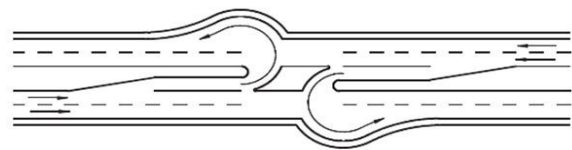


Figura 2.6: Retorno direcional com faixa de conversão à esquerda e *loons*

2.1.4 Em função do tipo de interseção

Aberturas de canteiros localizadas em interseções em “T” ou “cruz” permitem ao condutor da via principal realizar manobras de retorno na mesma via ou executar manobras de conversão à esquerda inserindo-se na via secundária (Figuras 2.7 e 2.8). Essa configuração pode ser verificada em canteiros direcionais e, ainda, acompanhada por faixas de conversão à esquerda ou *loons*.

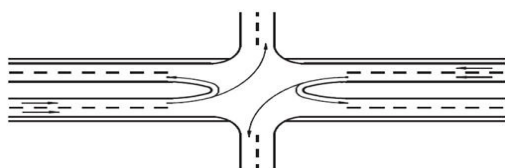


Figura 2.7: Retorno bidirecional em interseção em “cruz”

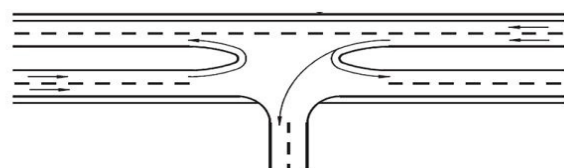


Figura 2.8: Retorno bidirecional em interseção em “T”

2.2 CRITÉRIOS ADOTADOS NO EXTERIOR PARA IMPLANTAÇÃO DE RETORNOS

Nesta fase da pesquisa foi realizado um levantamento bibliográfico a respeito das principais recomendações para o espaçamento mínimo entre retornos em aberturas de canteiros, adotados por órgãos rodoviários do exterior. No Quadro 2.1 são apresentadas as políticas utilizadas por esses diferentes órgãos.

Quadro 2.1: Critérios adotados no exterior para implantação de dispositivos de retorno

AASHTO (2004)	Koepeke e Levinson (1999)
1. Após interseções, para acomodar movimentos menores de conversão não previstos nas interseções em nível ou nas interconexões. 2. Antes de uma interseção, para acomodar movimentos de retorno que possam interferir na corrente de tráfego direta e outros movimentos de conversão. 3. Em combinação com rodovias transversais secundárias, onde não é permitido cruzar a via principal. Para tanto, é necessário virar à direita, inserindo-se na corrente principal, adentrar na faixa de conversão à esquerda e realizar a manobra de retorno. 4. Locais onde aberturas a intervalos regulares facilitem operações de conservação, manutenção, fiscalização, policiamento, reparos em veículos enguiçados ou outras atividades relacionadas com a rodovia. 5. Nas rodovias sem controle de acesso onde haja aberturas no canteiro central com espaçamento satisfatório para servir ao desenvolvimento de vias marginais existentes, e ao mesmo tempo minimizar a pressão para futuras aberturas no separador central. 6. O espaçamento de 400 a 800 metros é apropriado na maioria dos exemplos.	1. Em vias semaforizadas, devem ser reflexo dos requisitos de coordenação semafórica e do espaço necessário para o armazenamento das conversões à esquerda. 2. Em aberturas não semaforizadas, devem ter seu espaçamento definido em função da velocidade, variando de 113 metros em 48 km/h a 278 metros em 88 km/h. 3. Em vias não semaforizadas, o espaçamento entre retornos deve basear - se em função da via ou do nível de acesso e do ambiente em que a rodovia está localizada (por exemplo, zonas rurais), e deve ser condizente com a sinalização. 4. Devem permitir o espaço de estocagem suficiente para veículos que desejam realizar a manobra de conversão à esquerda. 5. Podem ser sujeitos a fechamento onde os volumes de tráfego necessitem de semáforos, ou se a distância do retorno ao semáforo é inadequada. 6. Devem ser alocados distantes o suficiente de interseções, a fim de evitar possíveis interferências com as filas da interseção. 7. A faixa de estocagem deve ser suficiente para o armazenamento de conversões à esquerda.
Potts <i>et al</i> (2005)	FDOT (1997)
1. Fatores básicos a serem considerados: ▪ Espaçamento entre retornos. ▪ Distância de visibilidade de parada. ▪ Distância de visibilidade da interseção. ▪ Velocidade operacional. ▪ Comprimento das faixas de retorno. ▪ Sobreposição de conflitos de conversões à direita. ▪ Volume e tipo do tráfego. 2. Locais com espaço suficiente para permitir a introdução de faixas de conversão à esquerda. 3. Aberturas de canteiros são definidas em função do espaçamento das vias ou quadras e da classificação da rodovia. 4. Deve ser coerente com os critérios de classificação da gestão de acesso.	1. Fatores que devem ser considerados na determinação do espaçamento de aberturas: comprimento da faixa de desaceleração, espaço para estocagem da fila, raio de giro e distancia de percepção e reação. 2. Diante da análise de todos esses fatores, considera-se o espaçamento médio de 300 metros como mínimo.

2.3 CLASSIFICAÇÃO ADOTADA NO BRASIL

O Manual de Projeto de Interseções do DNIT (2005) adota três soluções típicas de retornos em rodovias de pista dupla e com duas faixas de tráfego em cada sentido. Tais soluções são denominadas Tipo A, Tipo B e Tipo C.

Na solução Tipo A (Figura 2.9), a largura do canteiro central (M) é suficiente para incluir totalmente a envoltória do deslocamento do veículo de projeto sem invasão das faixas de trânsito adjacentes ao canteiro. Nesse caso, faixas auxiliares de desaceleração e aceleração são inseridas no canteiro central, permitindo a operação de retorno totalmente protegida.

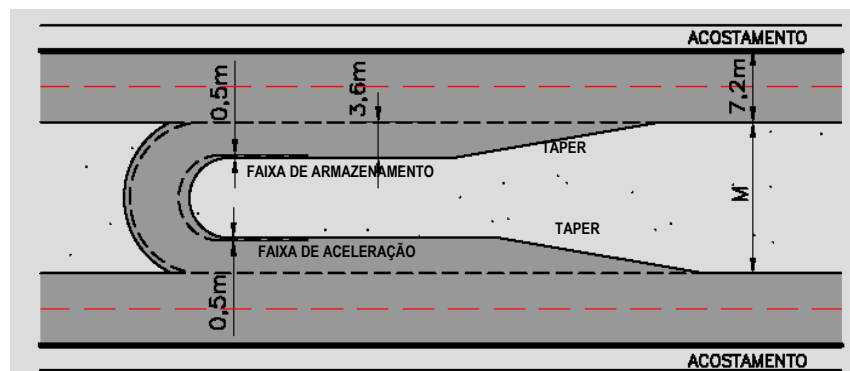


Figura 2.9: Retorno Tipo A

No retorno Tipo B (Figura 2.10) a largura do conjunto canteiro central (M) e pista oposta é suficiente para incluir totalmente a envoltória do deslocamento do veículo de projeto.

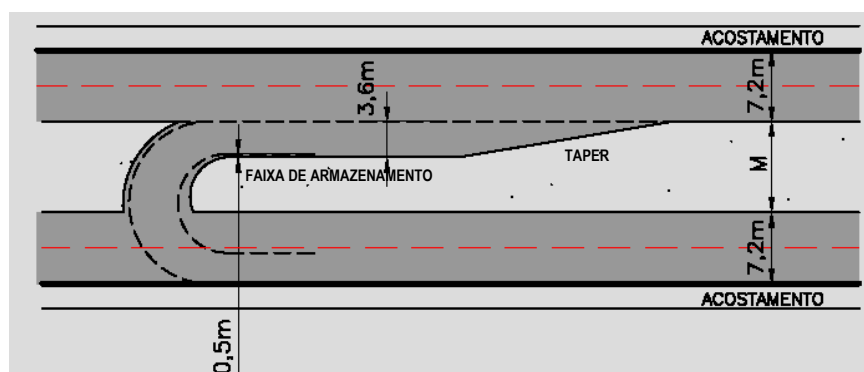


Figura 2.10: Retorno Tipo B

Já no retorno do Tipo C (Figura 2.11) a largura do conjunto canteiro central (M), pista

oposta e acostamento são suficientes para incluir totalmente a envoltória do deslocamento do veículo de projeto. Nos canteiros Tipo B e C, uma faixa de desaceleração é inserida no canteiro central.

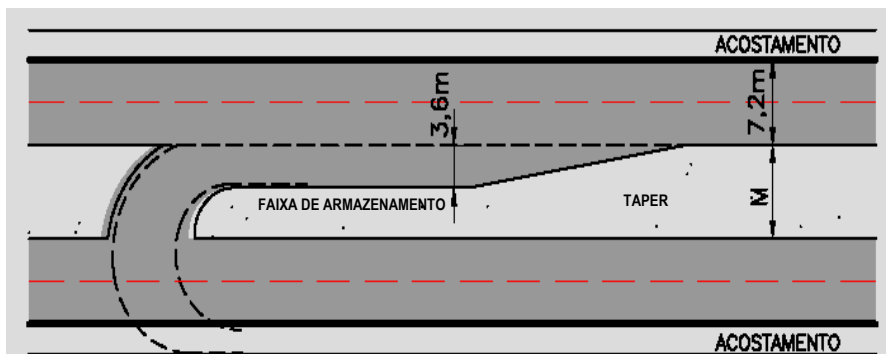


Figura 2.11: Retorno Tipo C

A escolha do tipo de retorno é determinada a partir das características geométricas de cada local. Normalmente, não se deve permitir o retorno a partir de faixa de tráfego direto, motivo pelo qual não foi previsto esse tipo de solução. Em áreas urbanas, entretanto, em casos especiais de baixo volume de tráfego e raras operações de retorno, em locais onde a largura do canteiro central permite proteger o veículo, pode-se considerar a adoção de projetos dessa natureza.

2.4 CRITÉRIOS NACIONAIS PARA A IMPLANTAÇÃO DE RETORNOS

Diante da ausência de diretrizes ou um manual específico para a implantação de retornos localizados em vias urbanas, com o intuito de especificar os critérios utilizados no Brasil, buscou-se contatar os órgãos de trânsito municipais competentes. Dentre as cidades contatadas, Fortaleza e Campinas foram as que enviaram as informações solicitadas. Desse modo, no Quadro 2.2 estão presentes alguns dos critérios relevantes, que justificam a abertura do canteiro central para a realização de manobras de retorno, utilizados pelas cidades citadas e os critérios utilizados pelo DNIT (2005) para retornos localizados em rodovias.

Destaca-se que os critérios apresentados pelo manual do DNIT (2005) são idênticos aos propostos pela AASHTO (2004).

Quadro 2.2: Critérios nacionais para implantação de dispositivos de retorno

DNIT (2005)	Autarquia Municipal de Trânsito de Fortaleza
1. Após interseções, para acomodar movimentos menores de conversão não previstos nas interseções em nível ou nas interconexões. 2. Antes de uma interseção, para possibilitar movimentos de retorno que interfeririam com a corrente de tráfego direta e outros movimentos de conversão. 3. Em combinação com rodovias transversais de menor importância, cujo volume de tráfego não justifica a travessia da rodovia principal. 4. Em locais onde aberturas a intervalos regulares facilitem operações de conservação, manutenção, fiscalização, policiamento, reparos em veículos enguiçados ou outras atividades relacionadas com a rodovia. 5. Nas rodovias sem controle de acesso onde haja aberturas no canteiro central com espaçamento satisfatório para servir ao desenvolvimento de vias marginais existentes e ao mesmo tempo minimizar a pressão para futuras aberturas no separador central.	1. A quantidade e severidade de acidentes de trânsito do local. 2. Acessibilidade. 3. Critérios de segurança viária (visibilidade, conflitos de movimentos, dentre outros). 4. Volume de tráfego que deseja realizar o retorno ou a conversão e o volume que conflita com esse. 5. Dimensionamento do comprimento da faixa de acomodação de veículos (quando existe) utilizando a teoria das filas (procedimento raramente utilizado). 6. Outros específicos para cada local.
Campinas	
1. Cruzamentos semaforizados localizados em avenidas com canteiro central maior que 6,0 metros, permitindo a conversão à esquerda, possibilitando a acomodação dos veículos com segurança. 2. Cruzamentos semaforizados localizados em avenidas com canteiro central menor que 6,0 metros, com regulamentação de proibição para virar à esquerda. Como alternativa caso constata alto desejo de conversão, orientamos o retorno por quadra. 3. Cruzamentos semaforizados localizados em avenidas com canteiro central menor que 6,0 metros, com regulamentação de proibição para virar à esquerda. Como alternativa caso constata alto desejo de conversão, foram criados retornos posterior ao cruzamento, com semáforos sincronizados. 4. Cruzamento semaforizados localizados em avenidas com canteiro central menor que 6,0 metros, com regulamentação de proibição para virar à esquerda. Há possibilidade de retorno pelo canteiro central devido existência posterior ao cruzamento, porém sem semáforo. Neste caso, a via principal (avenida) não possui volume veicular significativo. 5. Retornos em meio de quadra semaforizados e "sempre" com existência de baías de acomodação para os veículos (20 metros a 30 metros). 6. Cruzamento com fase semafórica exclusiva de conversão à esquerda (pode ser apenas sinalizada com canalização / pintura de solo ou com construção de baía).	

2.5 TÓPICOS CONCLUSIVOS

O objeto deste estudo trata de retornos localizados em meio de quadra e por esse motivo os tipos de retornos implantados nas interseções em “T” ou em “cruz”, apresentados nas classificações adotadas no exterior, não serão analisados neste trabalho. Outra característica também não considerada será a presença de *loons*, uma vez que tal configuração geométrica não é encontrada comumente nas vias urbanas brasileiras.

Na bibliografia nacional consultada, o manual do DNIT (2005) é o único que trata de

projeto de retornos. Esse material aborda apenas retornos localizados em rodovias, embora apresente algumas orientações específicas para projetos em rodovias localizadas em áreas urbanas. Algumas dessas orientações são apresentadas no Capítulo 3. Ainda assim, esse manual será considerado, pois ao compará-lo com o documento da AASHTO (2004), constatou-se que algumas recomendações são idênticas.

Por fim, diante da pesquisa realizada, verificou-se que não existem procedimentos específicos em nível nacional para a tomada de decisão que visem definir a inserção de retornos em aberturas no canteiro central em vias urbanas. Logo, os órgãos responsáveis pela implantação de retornos em vias urbanas ou utilizam-se de critérios próprios estabelecidos, como é o caso dos órgãos de Fortaleza e Campinas, ou deixam que o projetista, com base na sua própria experiência, defina os critérios de implantação desses dispositivos. Nesse último caso, quanto mais experiente e maior o conhecimento técnico do analista, melhor será a análise realizada. Porém, isso pode vir a acarretar alguns problemas, já que uma determinada situação pode ter soluções distintas quando estudadas por analistas diferentes.

Outro problema é que, diante da ausência de uma orientação geral, alguns critérios importantes podem não ser observados pelo analista. Assim, é oportuna a definição de critérios gerais para o projeto de retornos em vias urbanas, fruto de estudos e pesquisas de campo sobre o tema, que possam servir de orientação geral para todos os municípios brasileiros.

3. CAPÍTULO

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS PROJETOS DE RETORNOS

O projeto de dispositivos de retornos deve ser executado de forma a garantir que o mesmo atenda a função a que se destina, prevendo as características físicas necessárias para atender ao volume previsto e os diferentes tipos de veículos circulantes na região. Cabe ao projetista mensurar a influência desses fatores, assegurando por meio de medidas de projeto, um elevado grau de segurança e eficiência na circulação das correntes de tráfego.

Ensejando conhecer os aspectos geométricos que permeiam a execução de projetos de retorno, este capítulo apresenta os elementos e as dimensões geométricas utilizadas na execução de projetos de retornos pesquisadas nas normas nacionais e do exterior.

3.1 DIMENSÕES MÍNIMAS PARA RETORNOS EM “U”

Comumente observa-se que as aberturas no canteiro central não possuem largura suficiente tanto para a acomodação completa do veículo, como para a realização da manobra de retorno. Na bibliografia consultada observou-se que para o dimensionamento de canteiros centrais, dotados de dispositivos de retorno, três aspectos devem ser considerados: o tamanho do veículo de projeto; o tipo de manobra; e a configuração geométrica do local.

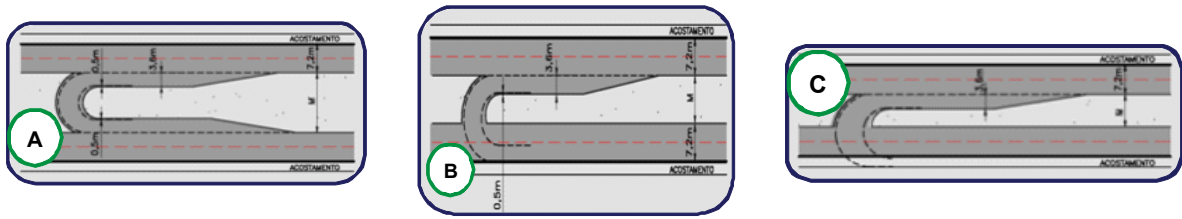
São apresentadas a seguir as normas de três diferentes departamentos, nacionais e do exterior, em que todos tratam da largura do canteiro e consideram os aspectos citados. No entanto, essas normas se diferenciam nos valores adotados, no tamanho dos veículos de projeto considerados e na configuração geométrica de cada local.

Na Tabela 3.1 são apresentadas as recomendações presentes no manual do DNIT (2005), onde são estabelecidas as larguras mínimas para os canteiros centrais localizados em rodovias de pista dupla, com quatro faixas e dois sentidos. Essas larguras abrangem a possibilidade da manobra para quatro diferentes veículos de projeto. O tipo de manobra

nesse caso varia de acordo com a configuração geométrica do retorno.

Tabela 3.1: Dimensões mínimas do canteiro central para comportar manobras de retorno e recomendadas pelo DNIT (2005)

Tipo de retorno	Tipo de manobra	Largura mínima do canteiro (M) para os veículos de projeto (m)			
		VP	CO	O	SR
		Tamanho dos veículos (m)			
		5,8	9,1	12,2	16,8
A	Faixa auxiliar para faixa auxiliar junto ao canteiro central	16	26	28	29
B	Faixa auxiliar junto ao canteiro central para faixa externa	10	19	21	22
C	Faixa auxiliar junto ao canteiro central para o acostamento	7	16	18	19



Legenda: VP: Veículos Leves; CO: Caminhões e Ônibus convencionais; O: Caminhões e Ônibus Longos; SR: Semi-Reboque
Fonte: DNIT (2005)

Geralmente, a execução de manobras de retorno não é permitida quando realizadas a partir das faixas do tráfego de passagem. Todavia, quando o canteiro possui largura suficiente para abrigar um veículo que aguarda para realizar a manobra de retorno, os volumes do tráfego de passagem são baixos e as manobras de retorno ou conversão à esquerda infrequentes, essa configuração é admissível.

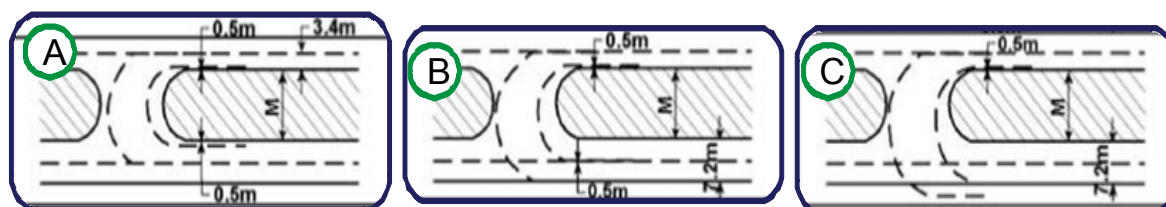
Diferentemente da configuração geométrica apresentada pelo DNIT (2005), em que os canteiros possuem faixas auxiliares para a execução de manobras de retorno, o guia da AASHTO (2004) apresenta dimensões para canteiros centrais onde as manobras são realizadas diretamente da faixa do tráfego de passagem. Essas dimensões são compatíveis para vias de duas faixas em cada sentido, separados por um canteiro central. Entretanto, o guia recomenda que para os casos onde o retorno é realizado a partir de uma faixa exclusiva para essa manobra, seja feito um adicional de 3,6 metros na largura do canteiro,

para a inclusão dessa faixa. De acordo com Potts *et al.* (2005), mais ou menos metade das agências americanas declararam que seguem o guia da AASHTO (2004), que determina as larguras exigidas para canteiros de retorno não semaforizados.

Na Tabela 3.2 são apresentadas as larguras mínimas dos canteiros exigidos pela AASHTO (2004), para acomodar manobras de retorno de diferentes modelos de veículos convergindo.

Tabela 3.2: Dimensões mínimas do canteiro central para comportar manobras de retorno e recomendadas pela AASHTO (2004)

Tipo de retorno	Tipo de manobra	Largura mínima do canteiro (M) para os veículos de projeto (m)						
		VP	SU	BUS	WB-12	WB-15	WB-18	TDT
		Tamanho dos veículos (m)						
		5,8	9	12	15	16,5	19,5	35,4
A	Faixa interna para faixa interna junto ao canteiro central	9	19	19	18	21	21	30
B	Faixa interna junto ao canteiro central para faixa externa	5	15	15	15	18	18	27
C	Faixa interna junto ao canteiro central para o acostamento	2	12	12	12	15	15	24



Legenda: VP: Veículos de Passageiros; SU: Caminhão; BUS: Ônibus; WB-12: Semi-Reboque de Pequeno Porte; WB-15: Semi-Reboque de Médio Porte; WB-18: Semi-Reboque de Grande Porte; TDT: Reboque Duplo de Rodovias Expressas

Fonte: AASHTO (2004)

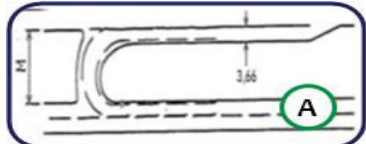
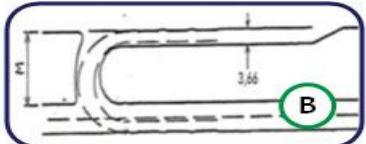
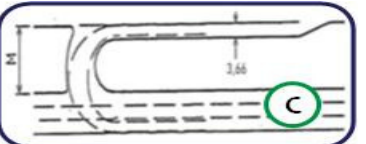
Por fim, a terceira recomendação adotada pelo MDOT (FHWA, 2007), apresenta configuração geométrica semelhante à apresentada pelo DNIT (2005). Ou seja, ambas adotam o uso de faixa exclusiva para manobras de retorno.

As duas normas se diferem pelos diferentes veículos de projeto selecionados em cada caso, pelos valores sugeridos e pela presença da faixa de aceleração em um dos projetos de retorno apresentados pelo DNIT (2005). As dimensões mínimas dos canteiros para

acomodar manobras de retorno, recomendados pelo MDOT (FHWA, 2007), são apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Dimensões mínimas do canteiro central para comportar manobras de retorno e recomendadas pelo FHWA (2007)

Tipo de retorno	Tipo de manobra	Largura mínima do canteiro (M) para os veículos de projeto (m)				
		P	SU	BUS	WB-50	WB-60
		Tamanho dos veículos (m)				
		5,8	9,1	12,2	16,8	21,3
A	Faixa interna para faixa interna junto ao canteiro central	13,4	23,2	24,4	25	25
B	Faixa interna junto ao canteiro central para faixa externa	9,8	19,5	20,7	21,3	21,3
C	Faixa interna junto ao canteiro central para o acostamento	6,7	16,5	17,7	18,3	18,3

Legenda: P: Veículos de Passageiros; SU: Caminhão; BUS: Ônibus; WB-50: Semi-Reboque de Médio Porte; WB-60: Semi-Reboque de Grande Porte

Fonte: FHWA (2007)

A partir da observação das normas apresentadas, atentou-se que as três possuem em comum as manobras do tipo: (i) saindo da faixa interna junto ao canteiro central, inserindo-se na faixa externa; e (ii) saindo da faixa interna junto ao canteiro central, inserindo-se no acostamento. Além disso, todas apresentam veículos de passageiros, caminhões e ônibus entre seus veículos de projeto.

Na Tabela 3.4 estão reunidos todos os aspectos comuns das normas apresentadas anteriormente. Destaca-se que nos valores recomendados pela AASHTO (2004), foram acrescidos 3,6 metros nos valores dados anteriormente na Tabela 3.2, vez que a mencionada norma recomenda tal adição nos casos da inserção de faixas exclusivas para manobras de retorno. Tal artifício foi utilizado para possibilitar a comparação com os valores recomendados pelas demais normas.

Tabela 3.4: Comparativo das dimensões mínimas exigidas para retornos em “U”

Departamento	Tipo de manobra	Largura mínima do canteiro (M) para os veículos de projeto (m)		
		VP	SU	BUS
AASHTO (2004)	Faixa interna junto ao canteiro central para faixa externa	8,6	18,6	18,6
DNIT		10	19	21
MDOT		9,8	19,5	20,7
AASHTO (2004)	Faixa interna junto ao canteiro central para o acostamento	5,6	15,6	15,6
DNIT		7,0	16	18
MDOT		6,7	16,5	17,7

Legenda: VP: Veículos de Passageiros; SU: Caminhão; BUS: Ônibus

Diante da análise dos valores presentes na Tabela 3.4, observa-se que os valores recomendados pela AASHTO (2004), são menores quando comparado as outras normas, com diferenças variando entre 0,90 metros a 2,40 metros. Já os valores sugeridos pelo DNIT (2005) e pelo MDOT (FHWA, 2007) são mais aproximados, com diferenças variando entre 0,2 metros e 0,5 metros.

3.2 FAIXAS AUXILIARES

Os veículos convergindo à esquerda possuem impacto relevante na operação de uma via, mesmo quando representam uma pequena parcela do fluxo total, pois para a manobra de conversão, o veículo que pretende convergir à esquerda necessita reduzir sua velocidade e esperar uma brecha no tráfego oposto, criando assim um obstáculo aos veículos do tráfego de passagem. Observa-se também que, à medida que o fluxo da corrente conflitante aumenta, as brechas são reduzidas, aumentando assim o tempo de espera e o tamanho da fila dos veículos que desejam realizar a manobra de conversão.

As faixas auxiliares devem ter no mínimo 3 metros de largura e ainda devem possuir largura igual às faixas do tráfego de passagem (DNIT, 2005). As faixas auxiliares destinadas a manobras de conversão de veículos são constituídas por três elementos: o *taper* de entrada; o comprimento de desaceleração; e o comprimento para armazenamento de veículos (Figura 3.1). Recomenda-se que o comprimento total da pista auxiliar seja a soma do comprimento desses três componentes (AASHTO, 2004). Cada um desses elementos será explanado nos itens seguintes.

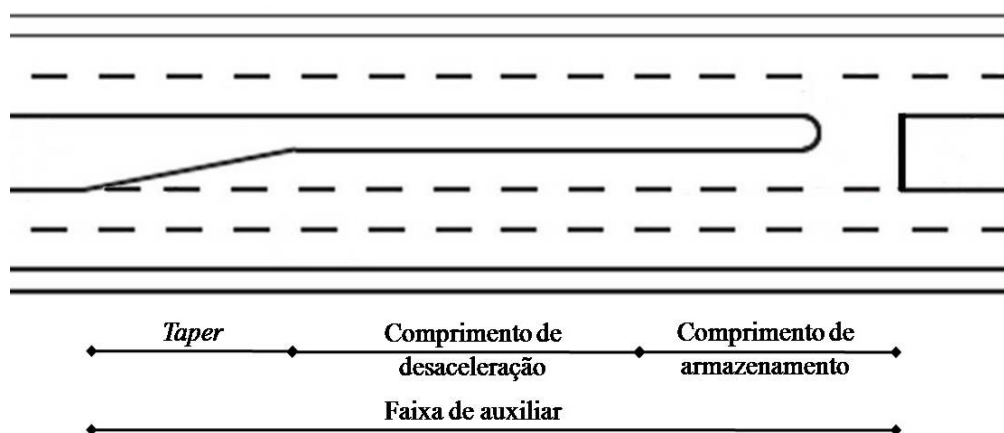


Figura 3.1: Elementos de uma faixa auxiliar localizada em um dispositivo de retorno

A necessidade de acrescentar faixas específicas para conversão à esquerda, nos canteiros centrais de vias urbanas, é dada em função do volume de tráfego da via, assim como da intensidade da corrente oposta; da quantidade de veículos que realizando as manobras de conversão; das condições de segurança; e do atraso admitido aos veículos da corrente do tráfego direto, consequência do bloqueio de veículos que aguardam para realizar a conversão. A função dessas faixas é o aumento da capacidade da via, além de melhorar a operação e segurança na interseção.

3.2.1 Comprimento de desaceleração

O comprimento de desaceleração é um espaço, externo às faixas do tráfego de passagem, destinado à redução da velocidade dos veículos para uma velocidade segura, para a realização de manobras. Essas manobras podem ser do tipo conversão à direita, conversão à esquerda e manobras de retorno. Esse comprimento deve prever, quando necessário, o espaço suficiente que possibilite a parada total do veículo, para que esse possa aguardar a oportunidade de se inserir na corrente oposta, sem ocasionar interferências nessa corrente.

Conforme as normas da AASHTO (2004), o comprimento da faixa de desaceleração é dado em função da velocidade de projeto da via. Na Tabela 3.5, estão expostos os comprimentos mínimos de desaceleração para faixas de giro à esquerda recomendados pelas normas nacionais e do exterior. Atenta-se que os valores apresentados pelo DNIT (2005) foram baseados na versão anterior do manual da AASHTO do ano de 1994.

Tabela 3.5: Comprimentos mínimos de desaceleração

Departamento	Velocidade de projeto (Km/h)	50	60	70	80	90
AASHTO 2004	Comprimento de desaceleração (m)	50	70	95	120	150
DNIT 2005		70	100	130	165	205

Fonte: AASHTO (2004) e DNIT (2005)

Os valores dados são suficientes para que um veículo, partindo da velocidade de projeto da via, possa desacelerar confortavelmente até parar para aguardar a oportunidade de realizar a manobra de conversão. Esses comprimentos são baseados em greides menores que 3% e não incluem o *taper*. Atenta-se que os comprimentos da Tabela 3.5 são valores desejáveis, devendo ser adotados quando possível.

3.2.2 Comprimento de armazenamento

Conforme as definições encontradas na literatura nacional e internacional, o comprimento de armazenamento é caracterizado como um espaço adicional nas faixas de conversão à direita ou à esquerda, projetados com a função de armazenar os veículos que aguardam oportunidade de executar a manobra nos locais onde houver volumes elevados de tráfego e que se acumulam nos períodos críticos. O comprimento deve ser suficiente, de forma a evitar que os veículos convergindo para a corrente de tráfego oposto tenham que esperar sobre as faixas do tráfego de passagem por uma oportunidade de completar a manobra.

O guia da AASHTO (2004) recomenda que em interseções não semaforizadas, o comprimento de armazenamento deve ser calculado baseado no volume médio de veículos que realizam a manobra de conversão, durante o período de dois minutos no horário de pico. O espaço para dois carros de passeio ou um carro e um caminhão (ou ônibus, o que for mais frequente) deve ser previsto onde houver mais de 10% de caminhões e ônibus.

A referida norma afirma que o tempo de espera de dois minutos pode ser alterado para atender ao volume do tráfego oposto, que pode oferecer poucas oportunidades para as manobras de giro à esquerda. Esses intervalos, para manobras, dependem do volume do tráfego oposto. Nos casos em que o volume de veículos executando a manobra de retorno seja superior a 200 veículos por hora e o volume do tráfego oposto seja superior a 800

veículos por hora, estudos de capacidade para o comprimento de armazenamento devem ser realizados e, caso necessário, um semáforo deverá ser adotado (DNIT, 2005).

O DNIT (2005) acrescenta às normas da AASHTO (2004) a Tabela 3.6, em que estão presentes os comprimentos adicionais das faixas de armazenamento, excluindo o *taper*, em função do volume de tráfego, para carros de passeio, considerando número médio de veículos que chegam giram por hora no horário de pico.

Tabela 3.6: Comprimentos das faixas de armazenamento

Números de veículos que giram por hora	≤ 60	100	200	300
Extensão da faixa (m)	15	30	50	75

Fonte: DNIT (2005)

Em locais com baixa velocidade de operação e grande número de veículos convergindo, o comprimento total da faixa auxiliar poderá ser a soma do comprimento do trecho em *taper* e as extensões constantes na tabela acima (DNIT, 2005).

3.2.3 *Taper*

Entende-se por *taper* um elemento da faixa auxiliar de largura variável, que possibilita a transição de uma faixa de tráfego de passagem para uma faixa de conversão. Essa faixa é normalmente utilizada no início de uma faixa de desaceleração ou no fim de uma faixa de aceleração, e no início e no fim das terceiras faixas (DNIT, 2005).

A AASHTO (2004) recomenda que para faixas auxiliares de 3,60 metros de largura, localizadas em interseções urbanas, sejam utilizados trechos de *taper* de menor extensão, variando entre 30 a 54 metros, que correspondem às relações de 8:1 a 15:1 (longitudinal: transversal). O DNIT (2005) também adota essas recomendações. Tal sugestão decorre do fato de que *tapers* mais curtos possibilitam uma melhor visualização da existência da faixa auxiliar para os motoristas que se aproximam e, devido às velocidades baixas nas horas de pico em vias urbanas, são preferíveis para as faixas de desaceleração. E ainda, *tapers* curtos podem reduzir o número dos veículos que entram por engano na faixa auxiliar e depois voltam para a via principal (AASHTO, 2004).

3.3 TÓPICOS CONCLUSIVOS

Diante da análise das características de projeto de dispositivos de retorno, constatou-se que muitas das recomendações existentes nas normas nacionais são idênticas às das normas do exterior.

No que diz respeito à análise das dimensões mínimas para retornos em “U”, verifica-se que a adoção dos valores recomendados, durante a execução do projeto desses dispositivos, é fator chave para possibilitar que determinadas manobras de retorno possam ser realizadas. Atenta-se para a relevância de conhecer a capacidade desses locais, levando em conta o volume do tráfego, a localização, e também dos tipos de veículos que executam as manobras de giro e os movimentos permitidos no local. Tal consideração é importante para evitar possíveis problemas que possam surgir no futuro, visando sempre mitigar os possíveis impactos a segurança e fluidez do tráfego.

Entretanto, durante a análise das normas que versam sobre esse tema, observou-se uma variação nos valores fornecidos. Essas diferenças podem ser resultado das distintas características dos locais que são implantados ou da época que as recomendações foram desenvolvidas. Por fim, pelo exposto, para que seja possível estabelecer critérios determinantes para a escolha do tipo de retorno a ser adotado, primeiramente, se faz essencial a execução rigorosa desses dispositivos com a melhor técnica de projeto, possibilitando estudos e observações a respeito do seu desempenho.

4. CAPÍTULO

MODELOS PARA ESTIMATIVA DA CAPACIDADE EM RETORNOS

O HCM – *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) define capacidade como a quantidade máxima esperada de veículos que cruzam uma determinada seção da rodovia durante um período de tempo em que as condições predominantes de tráfego, de controle e as características geométricas da via não se alteram significativamente. O HCM é um manual americano que contém procedimentos e modelos para estimar a capacidade e os atrasos de diferentes movimentos em diferentes facilidades de transporte, dentre as quais as interseções não semaforizadas.

Semelhante à definição adotada pelo HCM (TRB, 2000), o DNIT (2005) considera que a capacidade é o número máximo de veículos que poderá passar por uma determinada seção da via, durante um período de tempo determinado, sob as condições reais predominantes na via e no tráfego.

Nesse capítulo serão abordados os estudos identificados para a determinação da capacidade em dispositivos de retornos, bem como os modelos que possam ser adaptados para a estimativa dessa capacidade.

4.1 CAPACIDADE DE INTERSEÇÕES CONTROLADAS POR REGRAS DE PRIORIDADE (HCM, 2000)

A configuração dos projetos de retorno assemelha-se às interseções controladas por regras de prioridade, em que a sinalização, do tipo "PARE" ou "DÊ A PREFERÊNCIA", determina qual das vias é a principal e qual é a secundária. A ordem de prioridade é elencada de acordo com o número de movimentos conflitantes para cada manobra, portanto quanto menores os movimentos conflitantes, maior a prioridade da manobra. Na Figura 4.1 estão ilustradas as possíveis correntes de tráfego em cruzamentos de configuração geométrica no formato de "T" ou em "cruz".

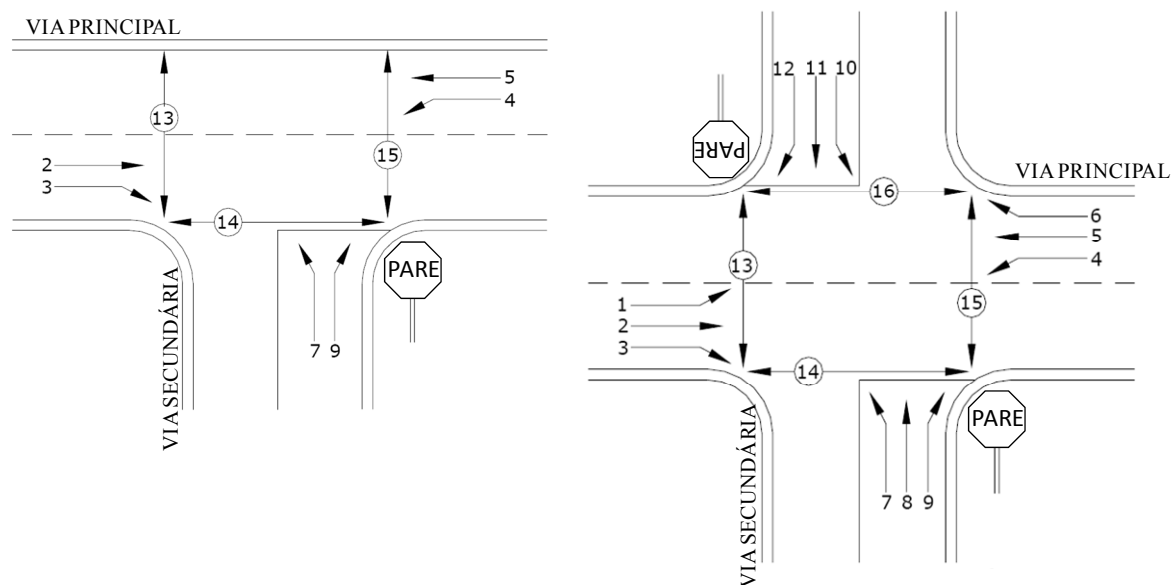


Figura 4.1: Correntes de tráfego em cruzamentos controlados por regra de prioridade
Fonte: Adaptado de TRB (2000)

Os movimentos acima apresentados são classificados da seguinte forma:

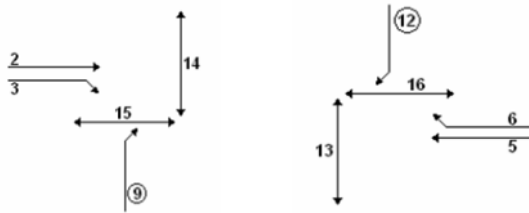
- a) movimentos de prioridade 1: 2, 3, 5 e 6;
- b) movimentos de prioridade 2: 1, 4, 9 e 12;
- c) movimentos de prioridade 3: 8 e 11; e
- d) movimentos de prioridade 4: 7 e 10.

Os movimentos secundários são aqueles que devem ceder à vez, de acordo com o movimento prioritário considerado. Na Figura 4.2 esses movimentos estão ilustrados. A ordem de prioridade para o uso das brechas disponíveis pelos movimentos secundários, conforme o HCM 2000 (TRB, 2000), é dividida em quatro aspectos:

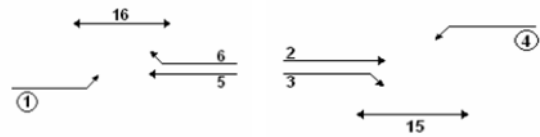
- a) conversão à direita a partir da via secundária;
- b) conversão à esquerda a partir da via principal;
- c) movimento em frente na via secundária; e
- d) conversão à esquerda a partir da via secundária.

Volume Conflitante vs. Tipo de Movimento

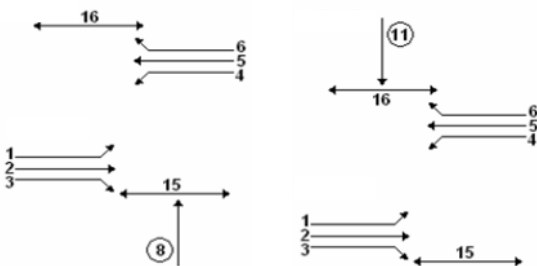
1 Conversão à direita a partir da via secundária



2 Conversão à esquerda a partir da via principal



3 Movimento em frente na via secundária



4 Conversão à esquerda a partir da via secundária

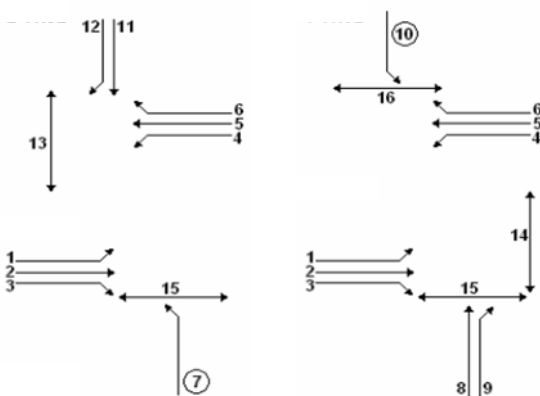


Figura 4.2: Correntes de tráfego em cruzamentos controlados por regra de prioridade
Fonte: Adaptado de TRB (2000)

Com a finalidade de analisar a capacidade e o nível de serviço de interseções não semaforizadas, assim como os efeitos do tráfego e de projeto dessas interseções, o HCM 2000 (TRB, 2000) desenvolveu procedimentos para realizar essa análise. Esses procedimentos serão abordados nos itens que seguem.

4.1.1 Estimativa da brecha crítica

O HCM 2000 (TRB, 2000) define brecha como o intervalo de tempo disponível para que o veículo que se encontra na via secundária cruze a via principal ou se junte a corrente de tráfego dessa via de maneira segura. O conceito de brecha do HCM efetivamente equivale ao conceito de *headway* por incluir o tempo utilizado durante a passagem do veículo pela seção de via considerada.

Em interseções controladas por regras de prioridade, esse conceito abrange três diferentes definições: (i) brechas disponíveis: aquelas que ocorrem na corrente principal; (ii) brechas

aceitáveis: são as brechas disponíveis, grandes o suficiente para que possam ser utilizadas em manobras na interseção, pelos veículos da corrente de tráfego secundária; e (iii) brecha crítica: é a menor brecha aceita para a travessia do veículo. Na Tabela 4.1 são apresentados os valores das brechas críticas e dos intervalos de tempo entre a partida de dois veículos consecutivos da corrente secundária – tempo de seguimento – apresentados no HCM 2000 (TRB, 2000).

Tabela 4.1: Brechas críticas e intervalos de tempo entre veículos para interseções com regra de prioridade

Tipo de manobra	Brecha crítica t_c (s)		Tempo de seguimento $t_{f, base}$ (s)
	Via principal com duas faixas	Via principal com quatro faixas	
Giro à esquerda a partir da via principal	4,1	4,1	2,2
Giro à direita a partir da via secundária	6,2	6,9	3,3
Em frente a partir da via secundária	6,5	6,5	4,0
Giro à esquerda a partir da via secundária	7,1	7,5	3,5

Fonte: TRB (2000)

Esses valores foram definidos por meio de estudos realizados nos Estados Unidos e são utilizados para análise de diferentes movimentos presentes em uma interseção não semaforizada, classificadas em duas categorias: movimentos principais (realizados pelos veículos do tráfego da via principal) e movimentos secundários (executados por veículos oriundos da corrente secundária). A brecha crítica é calculada separadamente para cada movimento secundário (em frente, à direita e à esquerda), conforme a Equação 4.1.

$$t_{c,x} = t_{c,base} + t_{c,HV}P_{HV} + t_{c,G}G - t_{c,T} - t_{3,LT} \quad (4.1)$$

Em que:

$t_{c,x}$ = brecha crítica para o movimento secundário x (segundos);

$t_{c,base}$ = brecha crítica base da Tabela 4.1 (segundos);

$t_{c,HV}$ = fator de ajuste para veículos pesados (1,0 para via principal com duas faixas e 2,0 para via principal com quatro faixas); e

P_{HV} = proporção de veículos pesados do movimento menor;

$t_{c,G}$ = fator de ajuste para o greide (0,1 para os movimentos 9 e 12 e 0,2 para

movimentos 7, 8, 10 e 11) (segundos);

G = greide percentual dividido por 100;

$t_{c,T}$ = fator de ajuste para cada parte de um processo de aceitação de brechas de dois estágios;

$t_{3,LT}$ = fator de ajuste de acordo com a geometria da interseção (0,7 para o movimento à esquerda a partir da via secundária em uma interseção em “T”; 0,0 para as demais)(segundos).

4.1.2 Tempo de seguimento

O intervalo de tempo entre a partida de um veículo da via secundária e a partida do próximo veículo na via, utilizando a mesma brecha da via principal, sob a condição de fila contínua na via secundária, é denominado tempo de seguimento (t_f). Assim, t_f é o *headway* que define o fluxo máximo que pode partir da aproximação para um dado movimento, se não houver conflito dos veículos com os demais movimentos (TRB, 2000).

Na Equação 4.2, o tempo de seguimento é calculado para cada movimento secundário. Conforme a presença de veículos pesados, ajustes são feitos.

$$t_{f,x} = t_{f,base} + t_{f,HV}P_{HV} \quad (4.2)$$

Em que:

$t_{f,x}$: o tempo de seguimento para o movimento secundário x (segundos);

$t_{f,base}$: o tempo de seguimento, definido na Tabela 4.1 (segundos);

$t_{f,HV}$: fator de ajuste para veículos pesados (0,9 para via principal com duas faixas e 1,0 via principal com quatro faixas); e

P_{HV} : proporção de veículos pesados do movimento secundário.

4.1.3 Estimativa da capacidade potencial

Conforme HCM (TRB, 2000), a estimativa da capacidade potencial utilizando o modelo de Harders pode ser utilizada como base para determinar a capacidade e o nível de serviço de uma corrente de tráfego secundário de uma interseção não semaforizada. Esse modelo, desenvolvido por Harders em 1968, assume que a distribuição de *headways* do fluxo da via

principal é uma distribuição exponencial negativa (Equação 4.3).

$$C_{p,x} = v_{c,x} \frac{e^{-v_{c,x}t_{c,x}/3600}}{1 - e^{-v_{c,x}t_{f,x}/3600}} \quad (4.3)$$

Em que:

$C_{p,x}$: capacidade potencial do movimento secundário x (veic./h);

$v_{c,x}$: taxa de fluxo do movimento oposto x (veic./h);

$t_{c,x}$: brecha crítica para o movimento secundário (segundos); e

$t_{f,x}$: Tempo de seguimento do movimento secundário x (segundos)

A Equação 4.3 é utilizada como base para determinar a capacidade e o nível de serviço de um movimento secundário, em uma interseção não semaforizada.

4.1.4 Estimativa do comprimento da fila

Um elemento importante a ser considerado em interseções não semaforizadas é a estimativa do comprimento de fila. De acordo com o HCM (TRB, 2000), estudos têm demonstrado que a distribuição de probabilidade do comprimento de fila, para qualquer movimento secundário em uma interseção não semaforizada, é função da capacidade do movimento e do volume de tráfego a ser servido durante o período analisado.

A Equação 4.4 é utilizada pelo HCM (TRB, 2000) para calcular o 95º percentil do número de veículos em fila:

$$Q_{95} = 900T \left[\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}} \right) \left(\frac{V_x}{C_{m,x}} \right)}{150T}} \right] \left(\frac{C_{m,x}}{3600} \right) \quad (4.4)$$

Em que:

Q_{95} : 95º percentil do número de veículos em fila (veic.);

V_x : taxa de fluxo do movimento x (veic./h);

$C_{m,x}$: capacidade do movimento x (veic./h);

T : período de tempo em análise (h) ($T=0,25$ para um período de 15 minutos).

Com o auxílio da Figura 4.3 é possível determinar o comprimento da fila referente ao 95º percentil para qualquer movimento não prioritário, em uma intersecção não semaforizada, durante o período de pico de 15 minutos.

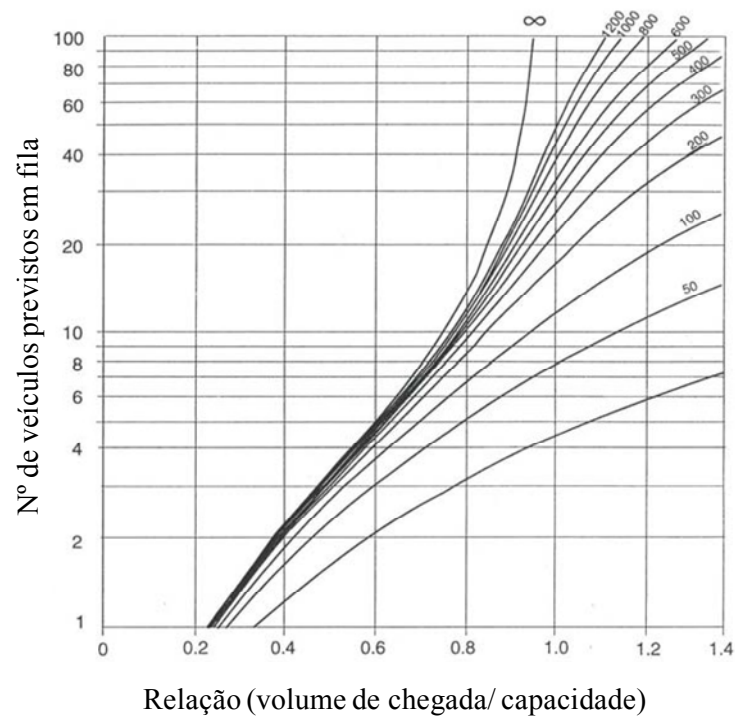


Figura 4.3: 95º percentil do comprimento de fila
Fonte: Adaptado de TRB (2000)

4.2 MODELO DE AL-MASAEID

A ausência de estudos que tratassem da análise da capacidade de retornos em interseções não semaforizadas, foi fator decisivo para o desenvolvimento do trabalho de Al-Masaied (1999) a respeito do tema. O autor realizou um estudo em cidades diferentes da Jordânia, dando enfoque a capacidade de retornos localizados em canteiros centrais de vias arteriais.

O modelo de capacidade proposto por Al-Masaied (1999) tinha como principal propósito desenvolver uma relação de utilidade entre a capacidade de retornos localizados em canteiros centrais e o conjunto das características geométricas e do tráfego no local. Ademais, deveria ser de aplicação fácil, prática e planejado para considerar as diferentes condições de tráfego.

Tal estudo foi aplicado em sete interseções não semaforizadas, localizadas em vias arteriais, com quatro faixas, duas em cada sentido, além de faixa exclusiva e única de conversão. Outro pré-requisito dos locais de pesquisa era a localização, ou seja, os dispositivos de retorno estavam situados pelo menos a 200 metros de distância da interseção semaforizada mais próxima e, durante o horário de pico, apresentavam uma fila contínua de veículos executando manobras de retorno. A largura de cada via arterial variava de 8,30 a 9,40 metros e os canteiros centrais de 1,80 a 3,00 metros.

O objetivo de Al-Masaied (1999) ao desenvolver esse estudo, era estimar a capacidade de dispositivos de retorno, localizados em vias arteriais e identificar as variáveis que a afetam. Para tanto, dois conjuntos independentes de dados foram coletados, para a realização dos estudos indicados na Figura 4.6.

Relação Empírica

1º Conjunto de Dados

1 Capacidade de giro da corrente

2 Fluxo de tráfego oposto

3 Atraso médio total

Dados observados
a cada 1 min.

Relação de Aceitação de Brechas

2º Conjuntos de Dados

1 Medidas de Brechas

2 Tempo para seguimento

3 Velocidade da corrente conflitante

4 Atraso médio

Dados observados
A cada 15 min.

Figura 4.4: Relação empírica *versus* relação de aceitação de brechas

No primeiro conjunto de dados, o comprimento da fila nas faixas de conversão à esquerda, em retornos operando em sua capacidade, foi observado em intervalos de 10 segundos. Baseado na teoria das filas, o atraso médio total foi calculado por meio da Equação 4.5.

$$d = L/\gamma \quad (4.5)$$

Em que:

d = atraso médio total (segundos);

L = comprimento médio da fila (veic.);

γ = taxa de chegada dos veículos convergindo (veic./s).

A Equação 4.5 pode ser reescrita na forma apresentada na Equação 4.6.

$$d = \frac{\sum_{i=1}^6 l_i}{6} \times \frac{60}{N} \quad (4.6)$$

Em que:

d = atraso médio total (segundos);

l_i = comprimento da fila medido no intervalo de 10 segundos;

N = número de veículos que chegam ao local no intervalo de 1 minuto.

Para a segunda coleta de dados, Al-Masaied (1999) estimou a brecha crítica a partir dos valores das brechas coletadas, uma vez que, conforme o HCM 2000 (TRB, 2000) a brecha crítica é definida como o comprimento da brecha mínima aceita pelos motoristas convergindo.

O atraso médio total foi calculado como no primeiro conjunto de dados. No entanto, o comprimento da fila foi observado em intervalos de 30 segundos. Para obter uma variedade significativa de médias de atraso total, os dados foram coletados dentro e fora do horário de pico.

Visando estimar a capacidade do movimento de retorno e descobrir o efeito dos diferentes fatores relevantes que poderiam afetar a capacidade estimada, Al-Masaied (1999) adotou a análise de regressão. Os resultados da modelagem foram incorporados à fórmula de Siegloch (Equação 4.7) para calcular a capacidade de retornos e os resultados foram comparados e apresentados.

$$c = \frac{3600}{tm} \times e^{-p[tc - (\frac{tm}{2})]} \quad (4.7)$$

Em que:

c : capacidade da corrente de tráfego secundária (veic./h);

p : $q/3600$;

q : fluxo de tráfego principal conflitante;

tc : brecha crítica (segundos); e

tm : tempo de seguimento (segundos).

4.2.1 Modelo da capacidade em retornos

Al-Masaied (1999) adotou o modelo de análise de regressão para determinar a equação para estimativa da capacidade em retornos. Nos locais estudados considerou-se que o fluxo conflitante é o volume total das duas faixas que contemplam a via arterial que conflitam com os veículos retornando nos locais em estudo. As Equações 4.8 e 4.9 foram estatisticamente significantes para um nível de confiança de 95%. Embora as equações exponencial e linear tenham sido estabelecidas para garantir uma forma razoável de explicar os dados empíricos, a equação linear obteve melhores resultados no aspecto estatístico.

$$c = 799 - 0,31q_c \quad (4.8)$$

$$c = 1545 - 790e^{q_c/3600} \quad (4.9)$$

No qual:

c : capacidade dos movimentos de retorno (veic./h)

q_c : fluxo de tráfego conflitante (veic./h)

Assim, Al-Masaied (1999) relata que é mais coerente estimar a capacidade de movimentos de retorno como uma função do fluxo total do tráfego conflitante, independentemente do número de faixas de tráfego de passagem. No entanto, segundo o autor, se o fluxo conflitante por faixa for necessário, a equação de regressão (Equação 4.10) pode ser utilizada, em que q_{cp} representa o fluxo conflitante por faixa. Os parâmetros do modelo

linear e do modelo de regressão foram estatisticamente significativos para um nível de confiança de 95%.

$$c = 799 - 0,62q_{cp} \quad (4.10)$$

4.2.2 Modelos para atraso médio total

As análises realizadas mostraram que as formas linear e exponencial são apropriadas para descrever a relação existente entre o atraso médio total e o fluxo de tráfego conflitante. No entanto, o autor selecionou a forma exponencial, por essa ter as melhores características estatísticas. Na Equação 4.11, TD representa o atraso médio total para veículos convergindo (s/veic.) e q_c o fluxo de tráfego conflitante (veic./h). A relação encontrada foi estatisticamente significativa em um nível de confiança de 95%

$$TD = 6,6 \times e^{q_c/1200} \quad (4.11)$$

4.2.3 Modelos de brecha crítica e tempo de seguimento

Al-Masaied (1999) utilizou uma análise multivariada para avaliar a duração da brecha crítica e do tempo para seguimento, sob as diferentes condições de tráfego. A melhor formulação resultante de uma análise de regressão é apresentada por meio da Equação 4.12, que utiliza como variável dependente a brecha, e como variáveis explicativas o atraso total médio e a velocidade do tráfego conflitante.

$$tc = 6,31 - 0,070 TD + 0,026 sp \quad (4.12)$$

Em que:

tc : brecha crítica (segundos);

TD : atraso médio total para veículos convergindo (segundos);

sp : velocidade na aproximação da corrente de tráfego conflitante (km/h)

Todos os parâmetros de regressão na formulação acima são significantes ao um nível de confiança de 95%. Segundo Al-Masaied (1999), a Equação 4.12 indica que a brecha crítica

não é constante, mas varia de acordo com o atraso total médio e a velocidade do fluxo de tráfego conflitante.

Na tentativa de desenvolver um modelo para obtenção do tempo de seguimento, outras análises foram realizadas, onde o autor afirma que o tempo para seguimento está relacionado ao nível de atraso. Sob baixos níveis de atraso, o tempo para seguimento foi encontrado em torno de 3,5 segundos. No entanto, diante da complexidade e dos riscos associados à manobra de retorno em aberturas de canteiros, esse valor não é surpreendente. Os dados empíricos indicam que o tempo para seguimento diminui com o aumento do atraso médio total. Baseado na análise de regressão foi obtida a Equação 4.13, exponencial e significativa ao um nível de confiança de 95%.

$$tm = 1,76 + 3,77 \times e^{-TD/7,5} \quad (4.13)$$

Em que:

tm: tempo de seguimento (segundos);

TD: atraso médio total para veículos convergindo (segundos).

4.2.4 Conclusões do estudo

Al-Masaied (1999) concluiu ao comparar os resultados das duas abordagens, que a abordagem de brechas de aceitação forneceu resultados razoáveis. O autor apresentou a estimativa da brecha crítica e do tempo de seguimento em retornos, baseado no modelo de aceitação de brechas fornecido pelo HCM (TRB, 2000), concluindo que tal modelo fornece resultados razoáveis na estimativa da capacidade de dispositivos de retornos. Os procedimentos de coleta de dados referentes à brecha crítica e do tempo de seguimento em retornos, não foram apresentados no estudo. Entretanto, o autor forneceu informações bastante úteis a respeito da capacidade em retornos.

4.3 MODELO DE LIU

Liu *et al.* (2008) relata em seu trabalho os estudos disponíveis referentes aos movimentos de retorno localizados em aberturas de canteiros centrais são poucos e o trabalho de Al-Masaied (1999) é único, no que se refere à estimativa da capacidade desses dispositivos.

Inclusive a metodologia do HCM (TRB 2000) não prevê procedimentos de estimativa da capacidade e do nível de serviço para movimentos de retorno.

Partindo de tal cenário, Liu *et al.* (2008) desenvolveram um procedimento para a estimativa da capacidade de manobras de retorno localizados em aberturas de canteiros de vias de múltiplas faixas. Os dados foram coletados em seis dispositivos de retorno, localizados em Tampa Bay, na Flórida. O autor utilizou os seguintes critérios no processo de seleção: (i) o retorno selecionado deverá estar localizado em uma via de quatro faixas, duas faixas em cada sentido; (ii) nos dispositivos de retorno devem estar previstas faixas auxiliares exclusivas para a realização de tais manobras; e (iii) o volume de veículos realizando a manobra de retorno deve ser relevante.

Para a coleta de dados Liu *et al.* (2008) utilizaram uma câmera de vídeo, colocada sobre um andaime, para gravar a operação nos retornos. Essas filmagens foram realizadas durante dias da semana, entre 7 horas da manhã e 6 horas da tarde. Os autores registraram em cada local uma média de 30 horas. Esses vídeos foram revisados em laboratório e um programa de computador foi utilizado para auxiliar a mensurar as brechas disponíveis na via principal e a reação dos veículos executando a manobra de retorno durante essas brechas.

Os valores da maior brecha rejeitada e da maior brecha aceita, para cada veículo retornando, foram salvos em um banco de dados. No total foram 387 registros. Outros dados também coletados ao rever os vídeos: (i) volume de tráfego conflitante; (ii) o atraso para cada veículo retornando; (iii) o comprimento da fila; e (iv) o tempo de descarga de várias manobras de retorno consecutivas, utilizando a mesma brecha (LIU *et al.*, 2008).

Os autores adotaram o procedimento de estimativa da capacidade e do nível de serviço de fluxos de tráfego secundários em interseções não semaforizadas de vias com duas e quatro faixas, existente na edição do HCM (TRB, 2000). E, ainda, adotaram o modelo desenvolvido por Harders (TRB, 2000), que determina a capacidade potencial de um movimento secundário, por meio de um modelo de aceitação de brechas. Tal modelo admite que a distribuição de *headways* na corrente de tráfego da via principal é uma distribuição exponencial negativa. A equação do modelo Harders foi anteriormente apresentada na Equação 4.3 (TRB, 2000).

4.3.1 Determinação da brecha crítica

Segundo Liu *et al.* (2008), modelos de aceitação de brechas são utilizados com frequência para estimar a capacidade de movimentos secundários de interseções não semaforizadas. A brecha crítica e o tempo de seguimento são dois parâmetros importantes em um modelo de aceitação de brechas

Os mesmos autores, para estimativa da brecha crítica, utilizaram o método da máxima verossimilhança adotado pelo HCM (TRB, 2000). Tal método assume que a brecha crítica de um veículo é sempre menor que sua brecha aceita e maior que sua brecha rejeitada. Utilizando uma amostra de n condutores, a função de verossimilhança para n condutores aceitarem e rejeitarem brechas maiores (a_i, r_i) é dada pela Equação 4.14 (KYTE *et al.*, 1996).

$$L = \sum_{i=1}^n \ln[F(\ln(a_i)) - F(\ln(r_i))] \quad (4.14)$$

Em que:

a_i = brecha aceita pelo motorista i ; e

r_i = maior brecha rejeitada pelo motorista i .

O método da máxima verossimilhança foi utilizado por Liu *et al.* (2008) para estimar a brecha crítica dos movimentos de retorno. A maior brecha rejeitada variou entre 0,6 a 10,1 segundos, com uma média de 4,7 segundos. A brecha aceita variou de 4,0 a 29,6 segundos, com uma média de 10,1 segundos. Dentre as 387 observações, seis veículos tiveram brechas rejeitadas maiores que a brecha aceita. Tais dados foram definidos como inconsistentes e retirados da análise.

4.3.2 Tempo de seguimento

Um modelo de regressão linear foi desenvolvido por (LIU *et al.*, 2008) para estimar o tempo de seguimento para movimentos de retorno. A variável dependente desse modelo é o tempo de descarga da fila para “ n ” veículos retornando continuamente, utilizando a

mesma brecha do fluxo de tráfego da via principal. A variável independente é o número de veículos que usam a mesma brecha. O modelo pode ser representado pela Equação 4.15.

$$t_q = \alpha + \beta n + \epsilon \quad (4.15)$$

Em que:

t_q : tempo de descarga da fila para vários veículos retornando continuamente utilizando a mesma brecha (segundos);

n : número de veículos que partem da aproximação no tempo t_c ;

α : tempo perdido na partida, associado ao primeiro veículo da fila de veículos retornando mais o tempo exigido pelo último veículo a realizar a manobra de retorno (segundos);

β : *headway* de saturação para veículos retornando (tempo de seguimento) (segundos); e

ϵ : erro.

Liu *et al.* (2008), analisaram os dados da brecha crítica e do tempo de seguimento, conforme a largura do canteiro. Os autores obtiveram a Equação 4.16 para estimar o tempo de descarga da fila em canteiros estreitos ($< 6,4$ m) e a Equação 4.17 para estimar o mesmo tempo agora em canteiros mais largos ($\geq 6,4$ m).

$$t_q = 3,11n + 2,65 \quad (4.16)$$

$$t_q = 2,48n + 2,26 \quad (4.17)$$

Em que:

t_q : tempo de descarga da fila para vários veículos retornando continuamente utilizando a mesma brecha (segundos);

n : número de veículos que partem da aproximação no tempo t_c .

Os dois modelos apresentaram bons resultados e foram estatisticamente significantes. Durante a análise desses resultados, Liu *et al.* (2008) concluíram que manobras de retorno realizadas em dispositivos que possuam canteiros estreitos, obtiveram valores de brecha

crítica e tempo de seguimento maiores que nos locais com canteiros mais largos. Esses dados foram comparados com os valores recomendados pelo HCM (TRB, 2000) para estimativa da brecha crítica e do tempo de seguimento (Tabela 4.1). Os resultados dessa análise são apresentados a seguir na Tabela 4.2

Tabela 4.2: Brechas críticas e intervalos de tempo entre veículos para interseções não semaforizadas para vias de quatro faixas

Tipo de manobra	Brecha crítica base $t_{c, base}$ (s)	Tempo de seguimento $t_{f, base}$ (s)
Retorno a partir da via principal (canteiro largo)	6,4	2,5
Retorno a partir da via principal (canteiro estreito)	6,9	3,1

Fonte: Liu *et al.* (2008)

4.3.3 Capacidade de movimentos de retorno em canteiros centrais

Liu *et al.* (2008) utilizaram o modelo de Harders (TRB, 2000) para estimar a capacidade potencial do movimento retorno em interseções não semaforizadas, entretanto adaptaram os valores da brecha crítica e do tempo de seguimento aos valores por ele encontrado (Tabela 4.2), em que a capacidade potencial de movimentos de retorno podem ser calculados utilizando a Equação 4.18 e a Equação 4.19.

$$C_{p,w} = v_c \frac{e^{-0,00178v_c}}{1 - e^{-0,00069v_c}} \quad (4.18)$$

$$C_{p,n} = v_c \frac{e^{-0,00192v_c}}{1 - e^{-0,00086v_c}} \quad (4.19)$$

Onde:

$C_{p,w}$: capacidade potencial de movimentos de retorno em aberturas de canteiros com largura igual ou superior a 6,4 metros (veic./h);

$C_{p,n}$: capacidade potencial de movimentos de retorno em aberturas de canteiros largura inferior a 6,4 metros (veic./h); e

v_c : volume de tráfego que conflita com os movimentos de retorno(veic./h).

Os estudos de Liu *et al.* (2008) também concluíram que a capacidade potencial dos veículos realizando manobras de retorno em aberturas de canteiro é diretamente proporcional ao raio de giro.

4.3.4 Teste dos modelos de capacidade

Antes de utilizar o modelo de Harders (TRB, 2000) para obter a capacidade de movimentos de retorno localizados em aberturas de canteiros, Liu *et al.* (2008) aplicaram o método nos dados de campo coletados, assegurando que as estimativas obtidas forneceram valores razoáveis.

Os autores relatam que muitos pesquisadores, na tentativa de encontrar a capacidade de movimentos de retorno, visualizam dispositivos com filas contínuas e congestionadas. Entretanto, tal cenário muitas vezes é difícil de ser encontrado. No estudo de Liu *et al.* (2008), os autores adotaram o método proposto por Kyte (1992) para determinação da capacidade em dispositivos de retorno. Tal método foi desenvolvido para medir a capacidade de movimentos secundários em condições não congestionadas. O método pode ser descrito pela Equação 4.20.

$$c_f = v_c \frac{3600}{t_s + t_{mv}} \quad (4.20)$$

Em que:

c_f : capacidade dos movimentos de retorno em condições não congestionadas (veic./h);

t_s : atraso médio da operação de cada veículo convergindo (segundos); e

t_{mv} : tempo médio de deslocamento para cada veículo retornando (segundos).

Na Equação 4.20, o atraso da operação para cada veículo foi definido como atraso ocorrido na primeira posição da fila aguardando para retornar. O tempo de deslocamento é a soma total do tempo desde a parada do primeiro veículo que deseja retornar na linha de parada até que o próximo veículo atinja a mesma linha. Os dados foram coletados em intervalos de tempo de 5 minutos (LIU *et al.*, 2008).

Os autores validaram a Equação 4.20 ao testar o modelo de aceitação de brechas nos retornos por ele estudados. A variável dependente desse modelo foi a capacidade estimada do movimento de retorno, utilizando o método de Harders (TRB, 2000). A variável independente desse modelo é a capacidade do movimento de retorno em condições não congestionadas, utilizando o modelo de Kyte (1992). Liu *et al.* (2008), validaram tal modelo por meio da Equação 4.21.

$$c_m = 0,8c_{cf} + 144,3 \quad (4.21)$$

Onde:

c_m : capacidade estimada do movimento de retorno, utilizando o método de Harders (veic./h); e

c_{cf} : capacidade do movimento de retorno em condições não congestionadas, utilizando o modelo de Kyte (veic./h).

Liu *et al.* (2008) aplicaram duas medidas estatísticas para medir a exatidão e a precisão do modelo Harders (TRB, 2000), que são o valor de R^2 e do percentual do erro médio absoluto (MAPE). O valor de MAPE é erro entre o modelo de capacidade e a capacidade medida em campo. A formulação de MAPE é apresentada na Equação 4.22.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{c_m^i - c_{cf}^i}{c_{cf}^i} \right| \quad (4.22)$$

Onde:

n : número de locais de coleta utilizados para o modelo de validação;

c_m^i : capacidade estimada do movimento de retorno, utilizando o método de Harders, baseados nos dados coletados no intervalo de tempo i (veic./h); e

c_{cf}^i : capacidade do movimento de retorno em condições não congestionadas, utilizando o modelo de Kyte, no intervalo de tempo i (veic./h).

Liu *et al.* (2008), após a análise comparativa entre os resultados previstos e os dados coletados em campo, revelaram que o modelo de Harders (TRB, 2000) fornece estimativas razoáveis da capacidade do movimento de retornos localizados em canteiros centrais.

4.3.5 Conclusões do estudo

Liu *et al.* (2008) desenvolveram um procedimento para a estimativa da capacidade potencial dos movimentos de retorno localizados em canteiros centrais de vias com múltiplas faixas. Os autores apresentaram as seguintes conclusões:

1. Diante da análise dos dados coletados, observou-se que a capacidade dos movimentos de retornos é afetada por diversos fatores, tais como: (i) o volume do tráfego oposto; (ii) a brecha crítica para movimentos de retorno; e (iii) o tempo de seguimento para movimentos de retorno.
2. A dimensão do raio de giro também pode afetar a capacidade potencial de movimentos de retorno (LIU *et al.*, 2008). Conforme os autores, em um bom projeto de dispositivo de retorno, a largura da via deve ser suficiente para permitir a realização da manobra de retorno, de forma que essas não sejam afetadas por nenhuma impedância.
3. A largura do canteiro tem grandes impactos na capacidade do movimento de retorno. Veículos retornando em canteiros amplos (largura $\geq 6,4$ m) têm maior capacidade potencial do que os que retornam em canteiros estreitos (largura $< 6,4$ m).

Por fim, Liu *et al.* (2008) recomendam estudos futuros que explorem a estimativa da capacidade em movimentos de retornos em vias de seis faixas, uma vez que a estimativa atual proposta pelo HCM (TRB, 2000) não dispõe de valores de brecha crítica e tempo de seguimento para vias com seis faixas.

4.4 TÓPICOS CONCLUSIVOS

Como pode ser observado, o HCM (TRB, 2000) não apresenta uma metodologia para a análise da capacidade de dispositivos de retorno. Outra lacuna encontrada no HCM (TRB, 2000) é referente à ausência de valores de brecha crítica e tempo de seguimento para vias com seis faixas, fato observado também por Liu *et al.* (2008).

Durante a revisão da literatura, notou-se o interesse por parte de alguns pesquisadores em desenvolver metodologias para melhorar ou adaptar o que é proposto pelo HCM (TRB,

2000). As considerações apresentadas por Liu *et al.* (2008) e Al-Masaied (1999) impulsionaram o desenvolvimento desta pesquisa, que objetiva definir um método de estudo de capacidade voltado para o dimensionamento de faixas de armazenamento.

Foi detectado ao longo da presente análise que muitas considerações adotadas pelo HCM podem ser incompatíveis ou insuficientes quando aplicadas em realidades diferentes da realidade norte-americana, inclusive na do Brasil. Por fim, atenta-se que é de fundamental importância a realização de um exame mais detalhado a respeito das condições geométricas e operacionais das vias urbanas brasileiras para uma correta avaliação da capacidade de dispositivos de retorno.

Assim, na sequência desta dissertação, pretende-se utilizar os dispositivos de retorno de Brasília como base para a elaboração de uma proposta de adaptação da metodologia do HCM 2000 para a análise da capacidade desses dispositivos considerando as condições locais e disponibilizando, dessa forma, uma ferramenta mais precisa para a utilização na realidade nacional.

5. CAPÍTULO

DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E PESQUISAS DE CAMPO

Com uma população estimada em 2.455.903 habitantes, pode-se constatar que o Distrito Federal no ano de 2007 possuía um veículo para cada 2,55 habitantes. Conforme os dados do Detran/DF – Departamento de Trânsito do Distrito Federal, em dezembro de 2008, a frota de automóveis no Distrito Federal já totalizava 1.046.638 unidades. Esse valor representa 2,48% da frota nacional.

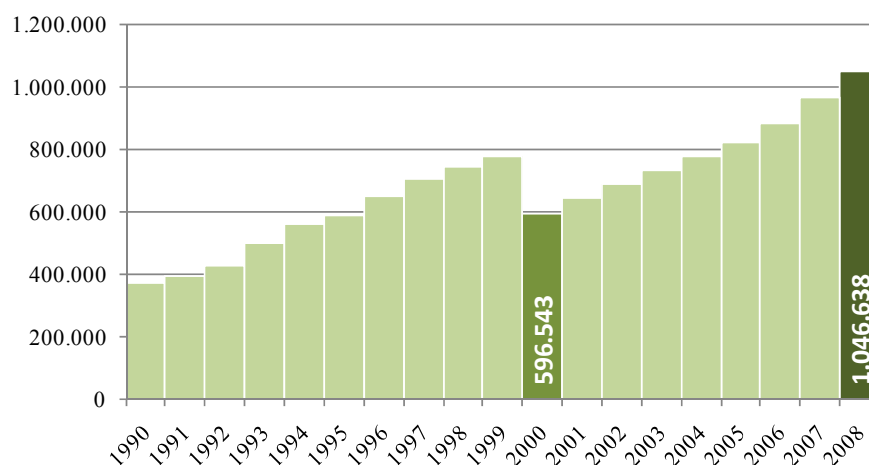


Figura 5.1: Evolução da frota de veículos do Distrito Federal
Fonte: Detran/DF (2009)

Ao analisar o crescimento da frota de veículos do Distrito Federal, observa-se que o número de veículos nas vias no período entre os anos de 2008 a 2000 praticamente duplicou. Cabe ressaltar que no ano de 2000 devido à depuração do cadastro estadual e integração ao sistema de Registro Nacional de Veículos Automotores – Renavam, algumas Unidades da Federação apresentaram uma redução na frota, caso observado no Distrito Federal (Detran/DF, 2009).

A região administrativa do Plano Piloto, em Brasília, possui um número relevante de dispositivos de retorno, entretanto, comumente verifica-se a presença de um volume intenso de veículos aguardando para realizar a manobra de retorno em decorrência do fluxo

intenso do tráfego oposto, que aliados ao comprimento insuficiente da faixa de armazenamento geram entraves à circulação do tráfego de passagem. Tal fato foi fator determinante para a escolha de Brasília como área de estudo. Além disso, a facilidade de deslocamento tornou as coletas de dados menos onerosas e diminuiu o tempo a ser gasto para a realização de cada uma delas.

Neste capítulo é realizada uma breve descrição dos critérios empregados na seleção da área de estudo, seguida de uma caracterização quanto aos aspectos físicos e operacionais de suas vias. São ainda apresentados os procedimentos utilizados nas pesquisas de campo, bem como a análise dos dados coletados.

5.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Após a realização da revisão bibliográfica e da revisão dos modelos de estimativa da capacidade, a etapa seguinte resumiu-se à delimitação de uma área de estudo que fosse representativa. Os critérios utilizados para seleção dessa área estão ilustrados na Figura 5.2 e foram baseados nas recomendações do trabalho realizado por Liu *et al.* (2008).

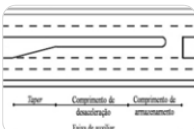
Critérios	
	1 O local selecionado deverá estar dentro do perímetro urbano
	2 As vias selecionadas devem possuir seis faixas, sendo três faixas em cada sentido
	3 Os retornos devem estar localizados em meio de quadra e sem controle semafórico
	4 O volume de veículos que desejam executar a manobra de retorno deve ser relevante
	5 Nos dispositivos de retorno, é necessária a presença de faixa exclusiva para a manobra e <i>taper</i>

Figura 5.2: Critérios para delimitação da área de estudo

A adoção desses critérios possibilita definir um cenário adequado para a coleta de dados, objetivando o cálculo da capacidade em dispositivos de retorno. Diante do exposto, na Figura 5.3 está ilustrada a região administrativa do Plano Piloto, em Brasília e a localização da área de estudo. Nos tópicos seguintes, são apresentadas algumas informações importantes das vias que contemplam essa área, suas características físicas e operacionais e o uso do solo no local.



Figura 5.3: Localização da área de estudo em Brasília

5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS VIAS

A rede viária básica do Plano Piloto de Brasília é composta por vias com diferentes características físicas, operacionais e de padrões de demanda. Conforme tratado anteriormente, Brasília apresenta uma grande quantidade de retornos, porém a maioria desses dispositivos está localizado próximo ou em interseções semaforizadas.

No entanto, a via L2 Norte apresenta controle semafórico em apenas parte de sua extensão e a via L3 Norte não apresenta controle semafórico, ambas com a presença constante de dispositivos de retorno. Essa ausência de controle semafórico foi o fator determinante para a escolha da área a ser estudada. E, ainda, todos os retornos dessas vias apresentam faixa exclusiva para a execução de manobras de retorno, assim como a formação de filas de veículos que aguardam para executar essas manobras.

5.2.1 Via L2 Norte

A via L2 Norte apresenta características geométricas semelhantes em toda sua extensão. A seção dessa via é composta por duas pistas, possuindo três faixas de tráfego para cada lado, separadas por canteiro central e com uma largura média de 24 metros. Essa largura aumenta nos locais em que estão localizados os dispositivos de retornos, ou seja, na entrada de cada quadra residencial. Esse aumento é decorrente da presença da faixa auxiliar exclusiva para a execução das manobras de retorno. Em toda a extensão da via pode-se verificar a presença de faixas de pedestre espaçadas entre si numa média de 260 metros. Algumas dessas faixas, bem como alguns retornos, são controlados por sinalização semafórica.

A via L2 Norte tem orientação Norte-Sul. O lado Oeste da via é predominantemente residencial, com alguns pontos comerciais localizados entre as vias de acesso para as quadras residenciais. Já a ocupação do lado Leste da via, caracteriza-se pelo uso institucional, hospitalar, religioso e com alguns vazios urbanos.

5.2.2 Via L3 Norte

A via L3 também apresenta uma seção transversal com duas pistas de tráfego, separados por um canteiro central, com três faixas de tráfego para cada lado e com uma largura média aproximada de 36 metros. Esses dispositivos possuem uma faixa auxiliar exclusiva para a execução das manobras de retorno, entretanto, esses não ocasionam grandes variações na largura da via. O espaçamento entre esses retornos varia de acordo com as vias que dão acesso à via L3 Norte.

Em toda a extensão da via pode-se verificar a presença de faixas de pedestre espaçadas de acordo com a ocupação dos terrenos lindeiros à via. Não há presença de controle semafórico em nenhum ponto de sua extensão. Semelhante a via L2 Norte, a via L3 Norte tem também sentido Norte-Sul. O lado Oeste caracteriza-se pelo uso institucional, hospitalar, religioso e com alguns vazios urbanos. Já o lado Leste tem ocupação institucional (Campus Darcy Ribeiro) e vários vazios urbanos.

5.3 DETERMINAÇÃO DOS LOCAIS DE PESQUISA

Dessa forma, foi utilizada uma amostra desses retornos para aplicação do estudo de caso desta pesquisa e por fim aperfeiçoar os procedimentos atuais existentes para a elaboração de projetos de dispositivos de retorno. Após a caracterização das vias e dos critérios previamente impostos, nove retornos foram selecionados para a coleta de dados. Dentre esses locais, dois deles foram estabelecidos na via L2 Norte, compreendendo os retornos localizados entre as quadras 408/9 e 410/11. Os sete locais restantes foram localizados na via L3 Norte, abrangendo os retornos localizados entre as quadras 603/611. Na Figura 5.4 cada um desses nove retornos escolhidos pode ser visualizado espacialmente na área de estudo.

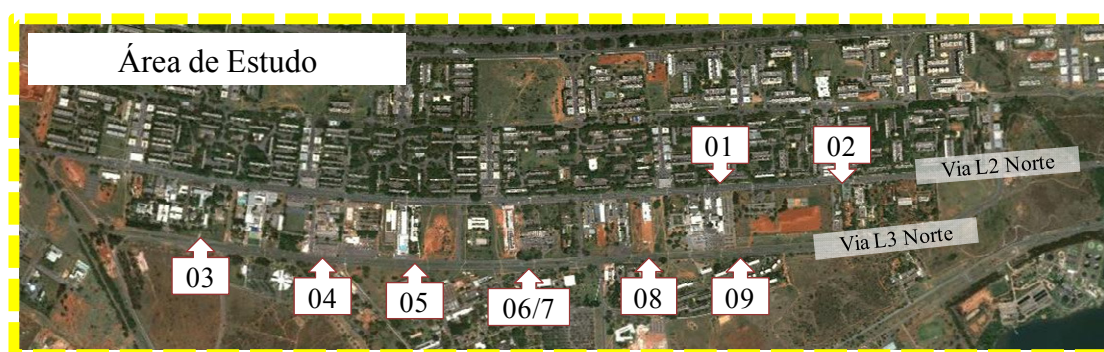


Figura 5.4: Localização dos locais de pesquisa na área de estudo

5.4 COLETA DE DADOS

Definidos os locais de estudo, foram determinadas as variáveis necessárias para serem coletadas, de acordo com a literatura consultada, possibilitando a caracterização operacional de cada configuração local e a consecução dos objetivos propostos nessa pesquisa.

Objetivando detalhar melhor cada retorno selecionado, foram realizadas visitas a cada um desses locais, em que foram levantadas as características geométricas e observados os horários em que o volume de veículos era mais intenso. Essas informações visaram tanto a etapa de análise comparativa a respeito das recomendações para execução de projetos de dispositivos presentes nas normas nacionais e do exterior, quanto a escolha do período ideal para coleta de dados volumétricos.

O procedimento de coleta dessas variáveis foi dividido em duas etapas. A primeira etapa abrangeu o levantamento das características geométricas de cada local e na segunda etapa foram coletados os dados volumétricos de veículos dos nove retornos selecionados. Na Figura 5.5 estão ilustrados os elementos observados nas duas etapas.

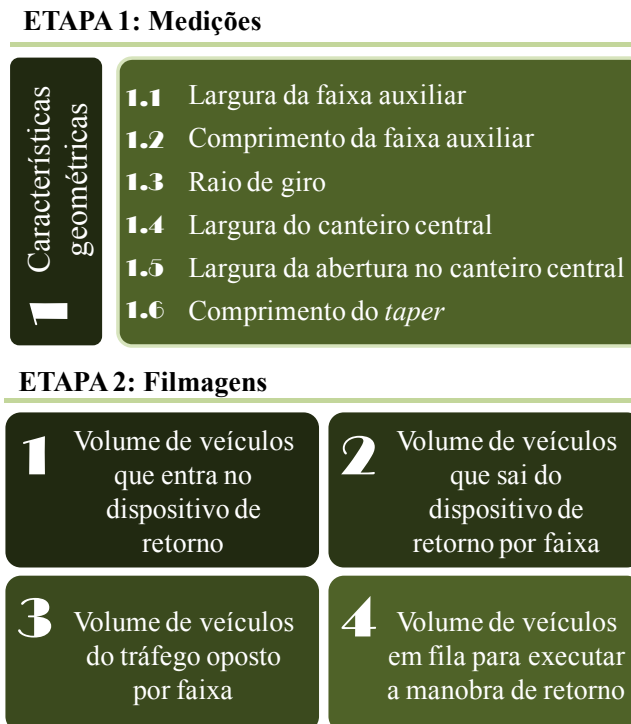


Figura 5.5: Identificação das variáveis para coleta de dados

5.4.1 Etapa 01: Medições

Essa primeira etapa do procedimento de coleta de dados resume-se à caracterização geométrica de cada local. O período necessário para o levantamento desses dados foi de aproximadamente uma semana, vez que, juntamente com a coleta das medidas, o horário de pico em cada um desses locais estava sendo observado, a fim de direcionar o melhor horário para coleta dos dados da etapa seguinte.

Na Figura 5.6, os nove retornos escolhidos estão classificados conforme sua localização. As medidas que envolvem a execução de um projeto de retorno foram elencadas e coletadas. São elas: (i) largura da faixa auxiliar; (ii) comprimento da faixa auxiliar; (iii) largura do canteiro central; (iv) largura da abertura no canteiro central; (v) raio de giro; e

(vi) comprimento do *taper*. Conforme tratado no Capítulo 3, a faixa auxiliar contempla os comprimentos de desaceleração e armazenamento.

RETORNO 01



Via L2 Norte; Quadras 408/09; Sentido S/N

RETORNO 02



Via L2 Norte; Quadras 410/11; Sentido S/N

RETORNO 03



Via L3 Norte; Quadras 603/04; Sentido N/S

RETORNO 04



Via L3 Norte; Quadras 604/05; Sentido S/N

RETORNO 05



Via L3 Norte; Quadras 604/05; Sentido N/S

RETORNO 06/ 07



Via L3 Norte; Quadras 606/07; Sentido S/N e N/S

RETORNO 08



Via L3 Norte; Quadras 606/07; Sentido S/N

RETORNO 09



Via L3 Norte; Quadras 607/09; Sentido S/N

Figura 5.6: Identificação das variáveis para coleta de dados

Cabe destacar que nenhum dos dispositivos estudados apresenta faixa de aceleração. Além disso, os dispositivos de retornos selecionados são todos direcionais, onde os movimentos ocorrem em espaços exclusivos para cada sentido da corrente. Após a apresentação de cada um dos nove retornos, as características geométricas coletadas foram reunidas e organizadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Descrição dos locais selecionados

Retorno	Comprimento da faixa auxiliar	Largura da faixa auxiliar	Comprimento do <i>taper</i>	Largura do canteiro central	Raio de giro	Largura da abertura do canteiro
1	51,87	3,25	33,60	10,33	3,54	7,04
2	57,35	3,02	29,35	10,10	3,54	6,62
3	44,55	3,66	36,75	14,60	5,47	6,64
4	42,23	3,74	24,45	11,50	3,88	7,18
5	50,44	3,80	22,32	13,72	4,96	7,81
6	53,25	3,08	21,29	14,24	5,58	7,50
7	52,02	3,08	20,63	14,54	5,73	7,52
8	51,14	3,24	21,73	14,60	5,68	7,23
9	52,55	3,45	23,72	15,07	5,81	7,27

Diante da análise dos dados acima apresentados, observa-se que, apesar dos locais selecionados possuírem as mesmas características, suas dimensões de projeto são variáveis.

5.4.2 Etapa 02: Filmagem

A segunda fase da coleta de dados resumiu-se à filmagem da operação dos nove retornos. Dentre os dados a serem coletados, pode-se elencar as seguintes variáveis necessárias para atingir o objetivo deste trabalho: (i) o volume de veículos que entra no dispositivo de retorno; (ii) o volume de veículos que sai do dispositivo de retorno por faixa; (iii) o volume de veículos do tráfego oposto por faixa; e (iv) o número de veículos em fila para executar a manobra de retorno.

Optou-se por coletar os dados por meio de filmagens, pois, além de demandar um número menor de pesquisadores, possibilita a coleta de mais variáveis. Essas filmagens foram realizadas com o auxílio de uma câmera de vídeo, acoplada a um tripé e suspensa por uma escada, atingindo uma altura aproximada de 2,50 metros (Figura 5.7). Em cada local de coleta foi necessário apenas uma câmera filmadora e um pesquisador para manuseá-la.



Figura 5.7: Adaptação da filmadora para coleta de dados

O posicionamento da filmadora na forma ilustrada na Figura 5.7 foi baseado em estudos anteriores, onde nota-se que a operação assistida de cima permite uma melhor visualização dos movimentos realizados pelos veículos. No caso desta pesquisa, a filmagem permitia a visualização dos movimentos de entrada e saída na faixa auxiliar.

Visando verificar o comportamento do tráfego em situações de congestionamento, as filmagens foram realizadas durante dias úteis da semana nos períodos de pico de cada local, definidos na etapa anterior, por um período de uma hora. As filmagens nos retornos 1, 4, e 9 foram realizadas no pico da tarde, entre 17h30 e 18h30. Nos retornos 2, 6 e 8 as aconteceram durante o pico do meio-dia, entre 11h30 e 12h30. E por fim, nos retorno 3, 5, 7 obteve-se as imagens no pico da manhã, entre 7h30 e 8h30.

5.5 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E OPERACIONAIS

Além da medição realizada nos nove retornos selecionados, após a conclusão das coletas de dados, os vídeos foram assistidos repetidas vezes, para que todos os parâmetros considerados relevantes fossem analisados. Além disso, os dados volumétricos referentes ao tráfego oposto conflitante, extensão da fila e veículos realizando a manobra de conversão foram computados.

Realizou-se uma análise comparativa entre as recomendações das normas citadas no Capítulo 3 e os dados verificados em campo. A Tabela 5.2 contempla todos os critérios exigidos por essas normas, para a execução de projetos de retorno. Os dados apresentados são os valores mínimos recomendados, considerando uma via de velocidade de projeto de 60 km/h, com larguras suficientes para acomodar os veículos de projeto (veículos leves e ônibus) durante a execução da manobra de retorno, em faixas de conversão simples.

Tabela 5.2: Resumo dos valores mínimos recomendados pela normas nacionais e do exterior para dimensionamento de projeto geométrico de retornos

Largura do canteiro central	Faixa desaceleração				Taper
15,60-18 m	70-100 m				30 m
Números de veículos que giram por hora	≤ 60	100	200	300	
Extensão da faixa (m)	15	30	50	75	

Os critérios observados foram a largura do canteiro central; a extensão da faixa de desaceleração somada a faixa de armazenamento; e o comprimento do *taper*. Os valores utilizados como comparação foram selecionados de acordo com as características operacionais das vias em estudo. Constatou-se que os projetos dos dispositivos em estudo não foram executados conforme as recomendações das normas.

A largura do canteiro central, conforme tratado no item 3.1, varia em função do veículo de projeto e do tipo de manobra. Assim, considerando como veículo de projeto o ônibus e a manobra de conversão sendo executada a partir da faixa interna junto ao canteiro central para o acostamento, o valor mínimo recomendado para a largura do canteiro central é de 15,6 metros (AASHTO, 2004). Entretanto duas outras normas apresentam diferentes valores mínimos, 18 metros (DNIT, 2005) e 17,7 metros (FHWA, 2007).

Na Figura 5.8 estão listadas as medidas encontradas nos nove dispositivos estudados e também o valor mínimo recomendado pela AASHTO (2004) e pelo DNIT (2005). Diante da leitura dessa ilustração é possível observar que os retornos 3, 6, 7, 8 e 9 possuem o canteiro central com largura aproximada ao sugerido pela AASHTO (2004), contudo o valor mínimo recomendado de 15,9 metros, não foi atendido em nenhum dos nove canteiros.

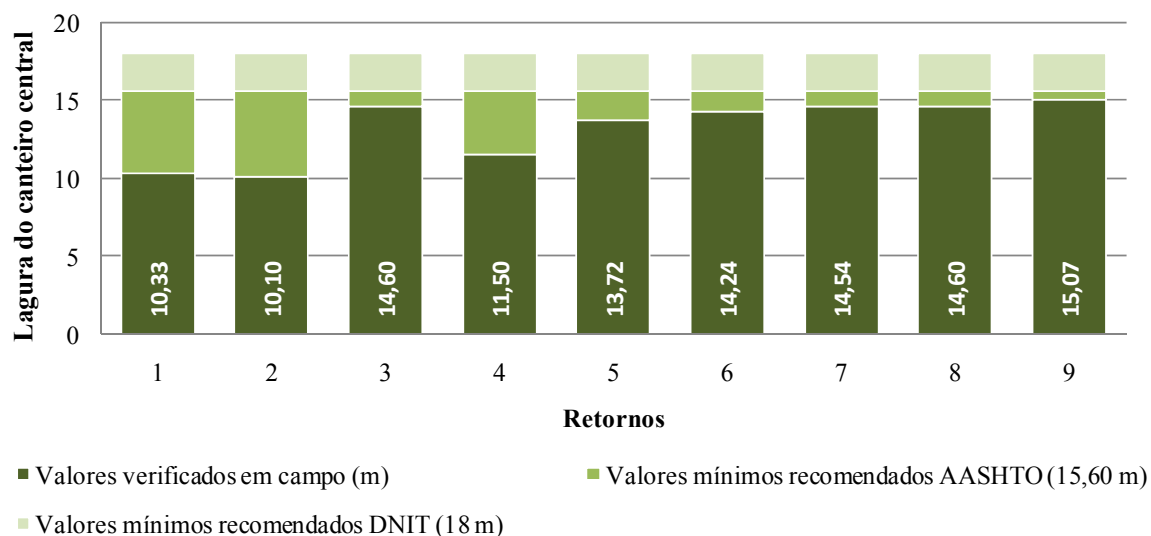


Figura 5.8: Largura do canteiro central

Verificou-se ainda, a dificuldade dos ônibus realizarem a manobra de retorno, onde os mesmos não utilizam a faixa auxiliar. Essa observação é justificada pelos dados da Figura 5.8, pois conforme ilustrado, o canteiro central não tem dimensão suficiente para realização de tal manobra. Essa falha de projeto resulta na interrupção da faixa do tráfego de passagem e também gera situações arriscadas para os veículos que trafegam na faixa de auxiliar, onde são retidos durante a inserção dos ônibus nos dispositivos de retorno. Durante as filmagens, registrou-se uma colisão entre um ônibus e outro veículo, provocada por tal situação.

Na análise do comprimento necessário para a desaceleração, excluindo o *taper*, a literatura recomenda que a extensão necessária para que o veículo, partindo da velocidade de projeto de uma via de 60 km/h, possa parar desacelerando confortavelmente, é de 75 metros conforme a AASHTO (2004). Entretanto, considerando o mesmo cenário, o valor recomendado pelo DNIT (2005) é de 100 metros. Conforme os referidos órgãos, somado a esses valores, se faz necessário prever um espaço para o armazenamento dos veículos que aguardam para realizar a manobra de conversão.

A Figura 5.9 ilustra o comparativo entre as extensões da faixa auxiliar verificados em campo e os valores recomendados pelas normas. Atenta-se que para essa comparação não foi adicionado o comprimento de armazenamento, e ainda assim, em nenhum dos locais

estudados as normas foram atendidas. Observou-se ainda, que nos retornos 3 e 4 o comprimento da faixa auxiliar não atinge a 50% do valor recomendado pelo DNIT (2005).

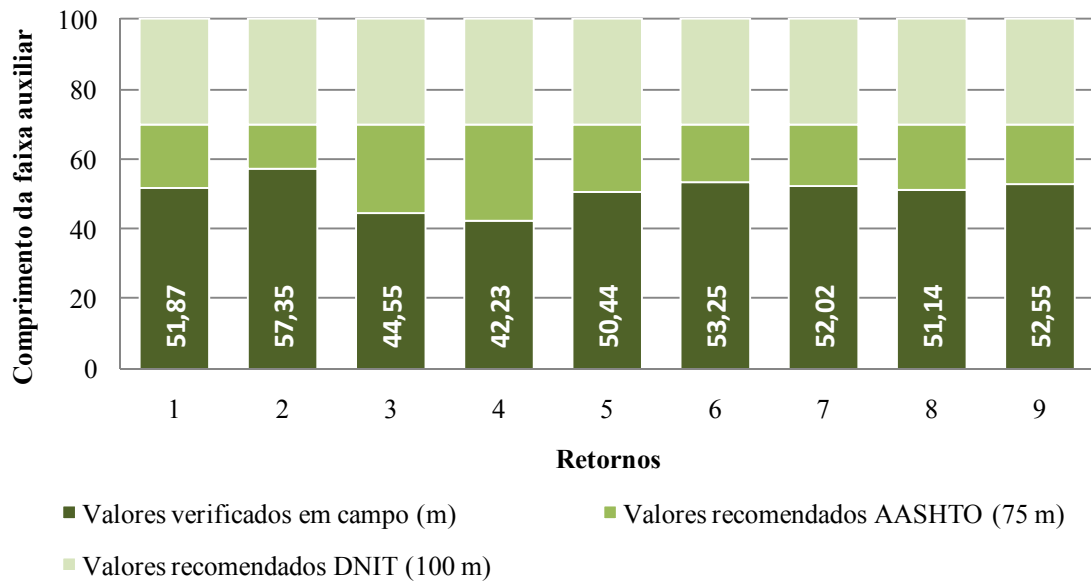


Figura 5.9: Comprimento da faixa auxiliar (excluindo o *taper*)

O comprimento mínimo do *taper* recomendado para áreas urbanas é de 30 metros (AASHTO, 2004 e DNIT, 2005). A Figura 5.10 contempla os valores encontrados em campo e permite constatar que o comprimento do *taper* nos retornos 1 e 3 atendeu os valores recomendados, já o retorno 2 apresentou comprimento aproximado. Nos demais locais os valores sugeridos pelas normas não foram adotados.

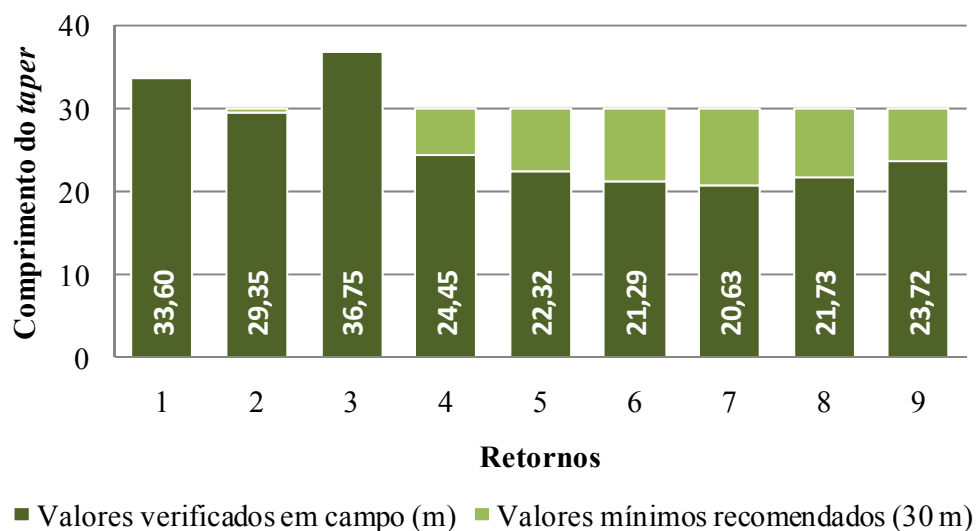


Figura 5.10: Comprimento do *taper*

Após a reprodução dos vídeos, a próxima etapa desta pesquisa consistiu em converter os volumes coletos em carros de passeio. O fator de conversão utilizado foi de 2,0 para ônibus e caminhões, conforme recomendações do HCM (TRB, 2000), considerando o greide da área de estudo igual a 2%.

A Tabela 5.3, contempla os dados coletados referentes à extensão da fila, o volume de veículos que chegam por hora e o volume de chegada a cada dois minutos nos nove dispositivos. Comparando-se esse último volume com a extensão máxima da fila em cada retorno, verifica-se que a utilização do critério de projeto da faixa de armazenamento pelo volume de chegada em dois minutos, resultaria em um super-dimensionamento da faixa de armazenamento para os retornos considerados.

Tabela 5.3: Volume de veículos coletados na faixa auxiliar

Retornos	Extensão máxima da fila (veic.)	Taxa de chegada (Veic/h)	Volume de chegada a cada 2min (veic.)
1	15	1016,40	33,88
2	3	522,00	17,40
3	5	264,00	8,80
4	5	409,09	13,64
5	13	621,60	20,72
6	9	811,00	27,03
7	9	608,73	20,29
8	8	777,00	25,90
9	14	723,60	24,12

Para a determinação da extensão da fila, adotou-se o valor de 5,8 metros para o comprimento total do veículo (AASHTO, 2004), convertendo assim, o volume de veículos para metros. Os valores ilustrados na Figura 5.11 são referentes às extensões máximas coletadas durante o horário de pico.

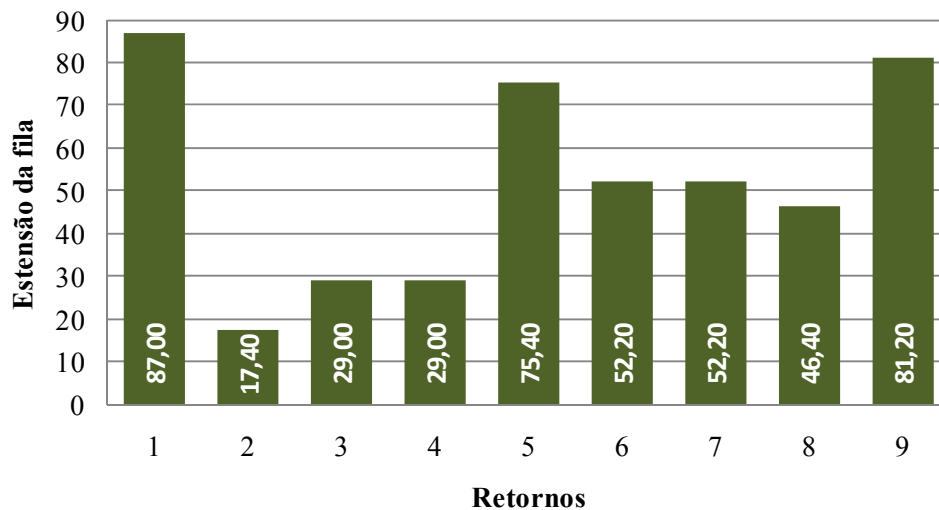


Figura 5.11: Extensão da fila (m)

A Figura 5.12 contempla o comparativo entre a dimensão do comprimento da fila, a extensão da faixa auxiliar mais o *taper* de cada retorno e os valores recomendados pelas normas para a faixa de desaceleração excluindo o *taper*. Optou-se por não incluir nos valores recomendados o comprimento de armazenamento, uma vez que essa dimensão varia conforme o volume de veículos retornando, e nos casos estudados, pode ser admitido o seu valor como a extensão da fila máxima.

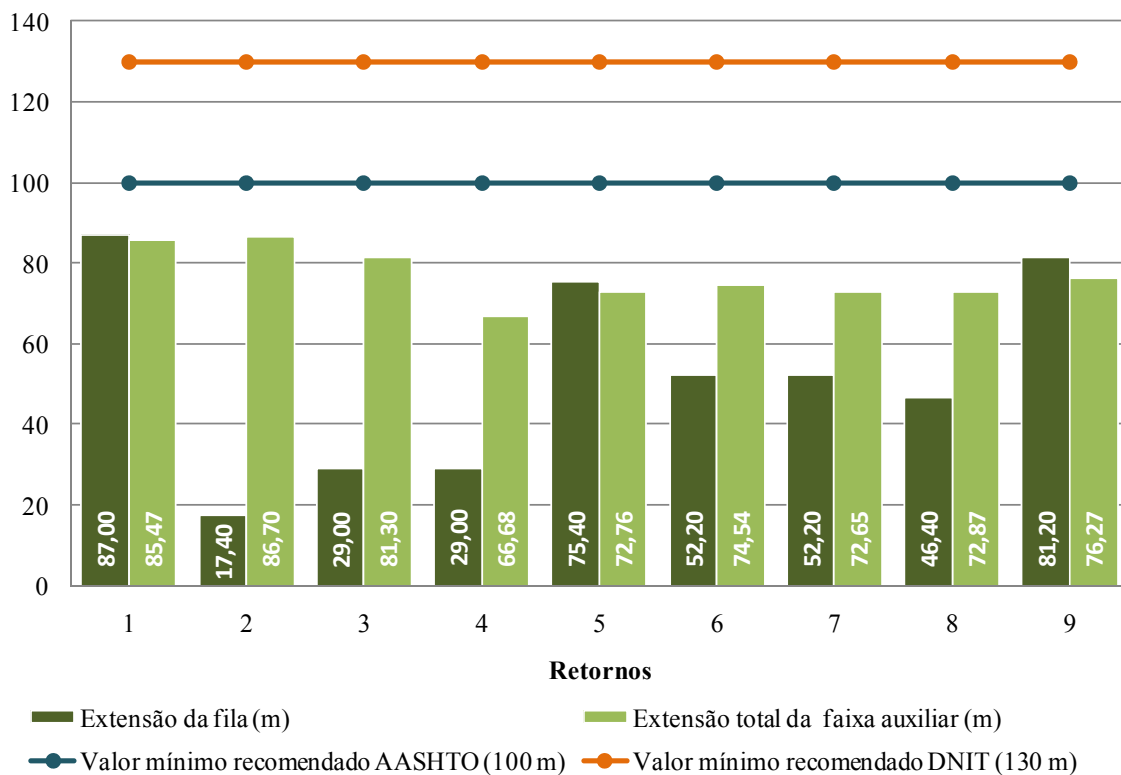


Figura 5.12: Extensão da fila vs. comprimento da faixa de armazenamento

A partir dessa análise observa-se que em nenhum dos retornos estudados a faixa auxiliar permite a desaceleração dos veículos na forma prevista nas normas. Essa situação é mais crítica nos retornos 1, 5 e 9, onde a faixa auxiliar sequer é suficiente para armazenar a fila máxima observada.

Para o comprimento de armazenamento, as normas consultadas recomendam que esse seja calculado baseado no número de veículos que chegam durante dois minutos no horário de pico (AASHTO, 2004). A Figura 5.13 ilustra o comparativo entre a extensão da fila máxima observada em campo, a extensão determinada pelo número de veículos que chegam durante dois minutos e o comprimento da faixa auxiliar medida em campo.

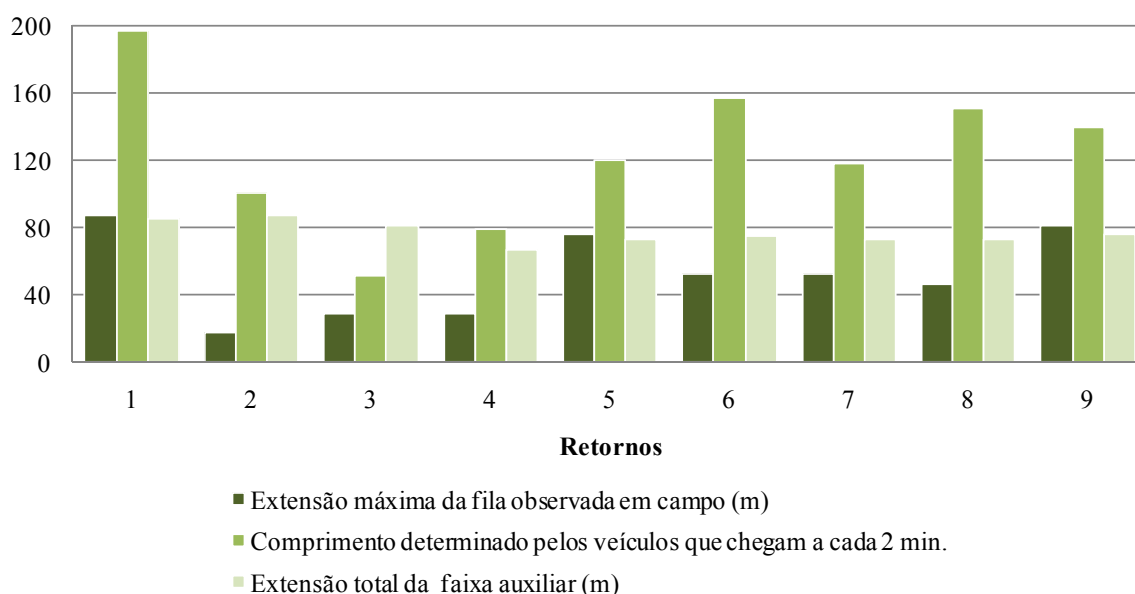


Figura 5.13: Extensão da fila vs. dimensionamento recomendado

Verifica-se que as normas superestimam a extensão necessária para o armazenamento de veículos. Conforme tratado anteriormente no Capítulo 3, em algumas vias urbanas com baixa velocidade, o comprimento total da faixa auxiliar é a extensão total necessária para o armazenamento dos veículos somada ao comprimento do trecho em *taper*. Como os retornos estudados encontram-se em vias de 60 km/h essa situação não se aplica. Ainda se fosse aplicado, observa-se que esses projetos de retorno não atenderiam as essas recomendações.

Em virtude desse cenário, urge a necessidade de estudos adequados para o dimensionamento das faixas de armazenamento em dispositivos de retorno, ressaltando a relevância desta pesquisa.

5.6 TÓPICOS CONCLUSIVOS

Este capítulo abrange o estudo de caso da presente pesquisa. A escolha da área de estudo e dos nove dispositivos de retorno analisados foi decorrente da adaptação dos critérios estudados. Cada um desses locais foi caracterizado geometricamente e operacionalmente.

Observou-se que as normas existentes para projetos de retorno não foram adotadas durante a execução dos dispositivos em questão. Além disso, algumas recomendações presentes nas normas consultadas apresentam valores inadequados à realidade verificada em campo. Constata-se que os problemas operacionais em dispositivos de retorno podem ser resultado da deficiência na infraestrutura, decorrente do mau dimensionamento do projeto ou em decorrência do comprimento da faixa auxiliar ser insuficiente para a demanda de veículos retornando.

Esses resultados demonstram a relevância da aplicação de estudos de capacidade como instrumento de mitigação dos entraves operacionais existentes em dispositivos de retorno, além de ser um instrumento para prevenção de problemas que poderão surgir futuramente.

6. CAPÍTULO

MODELO PARA ESTIMATIVA DA CAPACIDADE E O PROCEDIMENTO DE DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DA FAIXA DE ARMAZENAMENTO

Nesta etapa do presente trabalho utilizou-se os dados volumétricos coletados, primeiramente, para verificar a adequabilidade das metodologias existentes, abordadas no Capítulo 4, para a estimativa da capacidade nos dispositivos de retorno. Após essa verificação, realizam-se as adaptações julgadas necessárias, definindo um procedimento de estimativa da capacidade adequado à realidade das vias urbanas em estudo, que possibilite a determinação do comprimento da faixa de armazenamento.

A calibração de cada método é apresentada, bem como a avaliação da adequabilidade desses métodos, por meio da comparação dos resultados e das diferenças encontradas. Pretende-se assim, identificar os aspectos que mereçam ser adaptados, explicando claramente cada passo do processo. Por fim, são feitas as devidas considerações e recomendações para a adaptação dos métodos e a apresentação de sua formulação final.

6.1 APLICAÇÃO DOS MODELOS EXISTENTES

Para testar os modelos existentes, foi necessário coletar os volumes de tráfego dos nove dispositivos de retorno. A contagem volumétrica foi registrada em intervalos de 5 minutos, durante o período de uma hora. A cada intervalo eram coletados os volumes referentes ao tráfego oposto, aos veículos que se inseriam na faixa de armazenamento, aos veículos que realizavam a manobra de retorno e o número de veículos em fila.

Os intervalos em que não foi verificada a formação de fila foram excluídos da amostra. O retorno 2 não foi considerado na amostra por apresentar poucos intervalos com a presença de fila, abrangendo no máximo três veículos.

A Tabela 6.1 contempla os valores referentes ao volume do fluxo oposto conflitante e a capacidade dos dispositivos de retorno em estudo.

Tabela 6.1: Volumes de tráfego coletados em campo

Retornos	Fluxo oposto (veic./h)	Capacidade (veic./h)
1	566,40	1003,20
3	1392,00	257,33
4	792,00	401,45
5	1363,20	625,20
6	706,00	801,00
7	588,00	604,36
8	272,00	772,00
9	553,20	705,60

Os dados apresentados foram processados nas equações dos três modelos apresentados, HCM (TRB, 2000), Al-Masaied (1999) e Liu *et al.* (2008). É importante salientar que todos os modelos foram propostos considerando vias de no máximo duas faixas por sentido e que os nove locais selecionados estão localizados em vias de três faixas por sentido. Os resultados do processamento da equação proposta pelo HCM (TRB, 2000) estão disponíveis na Tabela 6.2

Tabela 6.2: Aplicação do método do HCM (TRB, 2000)

Retornos	Capacidade verificada em campo (veic./h)	Capacidade calculada (veic./h)	Diferença (%)
1	1003,20	1004,96	0,1754
3	257,33	490,28	90,5220
4	401,45	828,25	106,3124
5	625,20	474,01	-24,1819
6	801,00	890,50	11,1736
7	604,36	983,09	62,6661
8	772,00	1298,04	68,1399
9	705,60	1022,53	44,9170

Comparando os valores vistos em campo e os resultantes da aplicação do método da estimativa da capacidade do HCM (TRB, 2000), constata-se que esse método não foi consistente em seus resultados, superestimando acima de 100% o valor da capacidade no retorno 4 e estimando com bastante precisão a capacidade do retorno 1. Esses resultados podem ser reflexos da utilização da brecha crítica e tempo de seguimento para vias de

quatro faixas, vez que o HCM (TRB, 2000) não contempla a estimativa desses parâmetros para vias de três faixas por sentido.

Al-Masaied (1999), em seu estudo propôs duas equações para estimativa da capacidade em dispositivos de retorno. Os dados coletados em campo foram inseridos em ambas as equações, linear e exponencial (Equações 4.8 e 4.9), e os resultados são descritos na Tabela 6.3.

Tabela 6.3: Aplicação do método do Al-Masaied (1999)

Retornos	Capacidade verificada em campo (veic./h)	Capacidade linear calculada (veic./h)	Diferença (%)	Capacidade exponencial calculada (veic./h)	Diferença (%)
1	1003,20	623,42	-37,8573	620,40	-38,1584
3	257,33	367,48	42,8031	382,07	48,4721
4	401,45	553,48	37,8687	560,60	39,6421
5	625,20	376,41	-39,7940	391,33	-37,4065
6	801,00	580,14	-27,5730	583,84	-27,1115
7	604,36	616,72	2,0445	614,83	1,7320
8	772,00	714,68	-7,4249	693,00	-10,2334
9	705,60	627,51	-11,0675	623,78	-11,5959

Diante da análise dos dados apresentados, verifica-se que as equações propostas por Al-Masaied (1999) subestimaram a capacidade real na maioria dos retornos. Entretanto apresentaram valores menos discrepantes quando comparado ao método proposto pelo HCM (TRB, 2000).

Por fim, a metodologia proposta por Liu *et al.* (2008) foi baseada no método do HCM (TRB, 2000), entretanto os autores estimaram a brecha crítica e o tempo de seguimento para movimentos de retorno conforme a largura do canteiro, considerando vias de duas faixas por sentido. O canteiro central dos nove locais selecionados, segundo a classificação de Liu *et al.* (2008), foram considerados como largos, pois apresentaram largura superior a 6,4 metros. Nesse caso a brecha crítica e o tempo de seguimento, medidos em campo, foram de 6,4 e 2,5 segundos respectivamente.

A Tabela 6.4 contempla os valores da capacidade dos oito dispositivos de retorno em estudo, obtidos por meio da aplicação do método de Liu *et al.* (2008) e a diferença

percentual entre os dados coletados em campo, possibilitando observar que a aplicação desse método subestimou a capacidade dos dispositivos de retornos.

Tabela 6.4: Aplicação do método de Liu *et al.* (2008)

Retornos	Capacidade verificada em campo (veic./h)	Capacidade potencial Liu <i>et al.</i> (veic./h)	Diferença (%)
1	1003,20	638,86	-36,3182
3	257,33	189,27	-26,4512
4	401,45	459,38	14,4299
5	625,20	197,56	-68,4009
6	801,00	521,05	-34,9504
7	604,36	619,05	2,4304
8	772,00	979,49	26,8769
9	705,60	651,26	-7,7008

A Figura 6.1 foi elaborada para contemplar todas as diferenças percentuais entre e os valores coletado em campo e os valores resultantes das aplicações das metodologias, fornecendo uma melhor visualização dos resultados. O eixo zero representa a capacidade observada em campo.

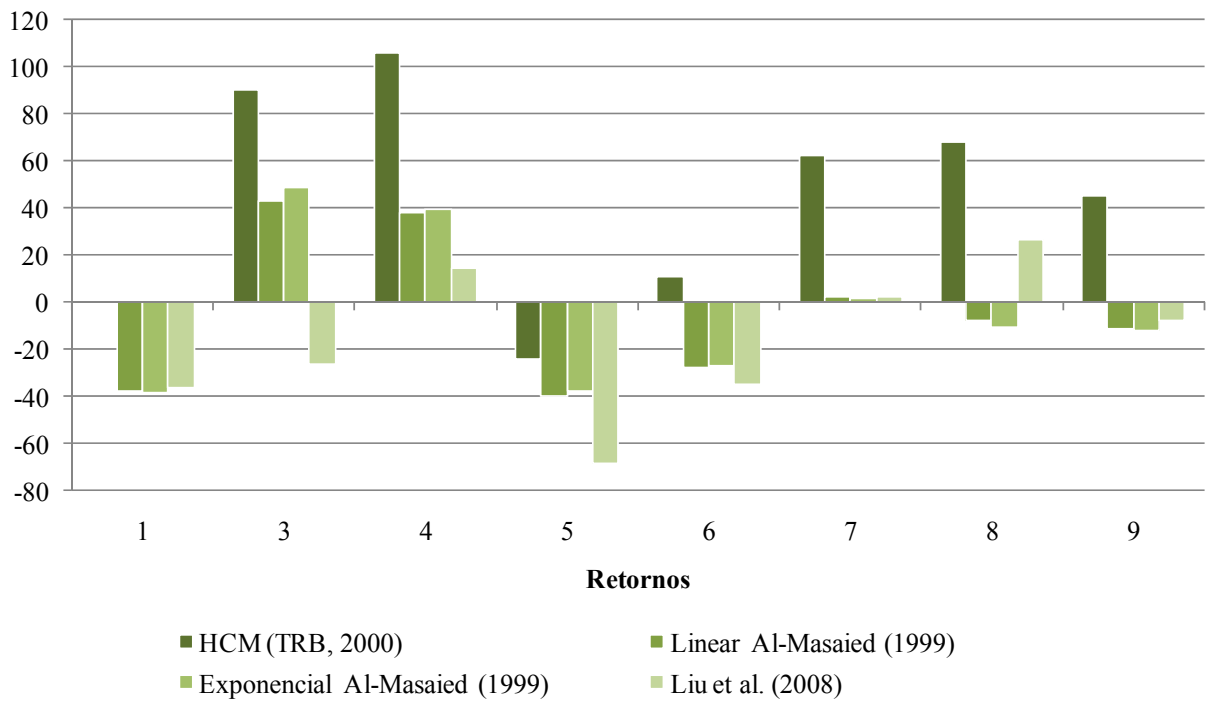


Figura 6.1: Diferenças percentuais entre os valores coletados em campo e os resultantes da aplicação dos métodos

No retorno 1 observa-se que a capacidade resultante da aplicação do método do HCM (TRB, 2000) apresentou valores semelhantes à capacidade real coletada em campo. Entretanto, nesse mesmo local as demais metodologias subestimaram o valor da capacidade em média 37%.

Nos retornos 3 e 4 constatam-se resultados semelhantes entre si, com a maioria dos métodos superestimando a capacidade. Com a aplicação do método do HCM (TRB, 2000) a capacidade nesses locais foi superestimada variando entre 90 a 100%. Nos mesmos dispositivos, a aplicação do método de Al-Masaied (1999) superestima a capacidade em 40%. Já a aplicação da metodologia proposta por Liu *et al.* (2008), possui discrepâncias menores, apresentando no retorno 3 resultado 26% menor e no retorno 4 valor 14% maior quando comparados a capacidade observada.

Nos retornos 3, 4, 6, 7, 8 e 9, o método do HCM (TRB, 2000) produziu valores superestimados com diferentes resultados, que variaram entre 11 a 68%. No retorno 5, os demais métodos obtiveram resultados com variações de 26 a 68% abaixo do valor da capacidade observada em campo. Para os retornos 6, 8 e 9, quando comparados os resultados verificados em campo e os obtidos pelo método de Al-Masaied (1999), constatou-se que a capacidade calculada apresentou valores inferiores. Ou seja, nos retornos 6 e 9, a capacidade estimada por Liu *et al.* (2008), apresentou resultados abaixo do esperado e no retorno 8 a capacidade apresentou valor 26% acima do esperado. Por fim, no retorno 7 verificou-se a boa representação da capacidade real com a aplicação dos métodos de Al-Masaied (1999) e Liu *et al.* (2008).

Após a realização da análise apresentada, constatou-se a necessidade de obter uma metodologia que apresente resultados mais condizentes com a realidade verificada em campo. Para tanto, é realizada a seguir a calibração das metodologias do HCM (TRB, 2000), de Al-Masaied (1999) e Liu *et al.* (2008).

6.2 CALIBRAÇÃO DOS MODELOS EXISTENTES

Nesta fase da pesquisa os métodos apresentados na revisão da literatura para determinação da capacidade foram calibrados no *software* SYSTAT versão 12. O programa foi calibrado com as equações propostas por cada método. Primeiramente foi realizada a calibração da

Equação 4.8 de Al-Masaied (1999), em uma regressão linear como os valores obtidos em campo, constantes na Tabela 6.2. Os resultados são apresentados na Tabela 6.5.

Tabela 6.5: Resultados da regressão linear de Al-Masaied (1999)
(fluxo oposto vs. capacidade)

Regressão linear						
Variável dependente	Capacidade					
N	8					
R múltiplo	0,628					
R quadrado	0,394					
R quadrado ajustado	0,293					
Erro padrão	196,969					
Coeficiente de regressão $B = (X'X)^{-1}X'Y$						
	Coeficientes	Erro padrão	Std. Coeficiente	Tolerância	t	Valor-P
Constante	933,615	161,313	0	.	5,788	0,001
Fluxo oposto	-0,369	0,187	-0,628	1	1,975	0,096
Análise de variância						
	SQ	gl	MQ	Razão-F	Valor-P	
Regressão	151.300,07	1	151.300,07	3,9	0,096	
Resíduo	232.779,95	6	38.796,66			

Na análise da Tabela 6.5 verifica-se que, embora o valor de R^2 tenha apresentado um valor baixo, os dois parâmetros foram significativos a um nível de significância de 10% e os resíduos não apresentaram tendência (Figura 6.2).

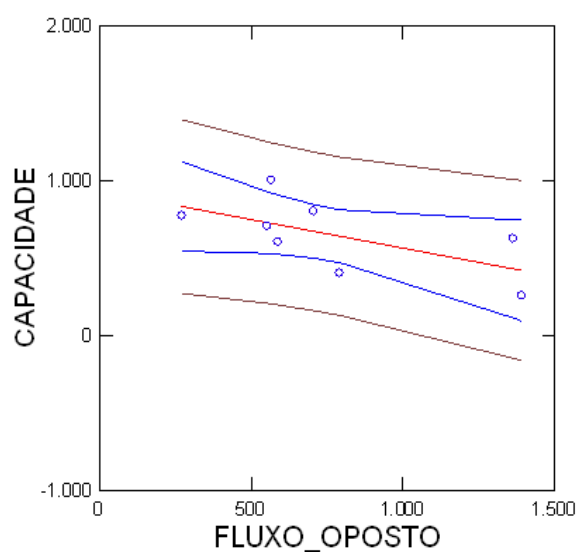


Figura 6.2: Resíduos da calibração da equação linear de Al-Masaied (1999)

Assim, a partir da regressão linear realizada foi possível considerar as variáveis obtidas para formulação da equação linear (Equação 6.1) que determina o valor da capacidade em dispositivos de retorno.

$$c = 933,615 - 0,369v_c \quad (6.1)$$

No qual:

c : capacidade dos movimentos de retorno (veic./h); e

v_c : fluxo de tráfego oposto conflitante (veic./h).

Tentou-se, também, inserir a variável “largura do canteiro” para verificar se ela era significativa para explicar a capacidade observada. Entretanto, talvez pelo pequeno número de pontos de observação, o modelo linear estimado para essa variável, não foi estatisticamente significativo.

Em seguida, a equação para o cálculo da capacidade proposta pelo HCM (TRB, 2000) foi inserida no software e por meio de uma análise de regressão não linear os dados da Tabela 6.6 foram obtidos (Equação 4.3).

Tabela 6.6: Resultados da calibração do método do HCM (TRB, 2000)

Soma dos quadrados e média dos quadrados					
	SQ	gl	MQ		
Regressão	3.491.133,65	2	1.745.566,82		
Resíduo	234.239,83	6	39.039,97		
Total	3.725.373,48	8			
Média ajustada	384.080,03	7			
R-quadrado					
R-quadrado bruto(1-Resíduo/Total)			0,937		
Média R-quadrado ajustado (1-Resíduo/Ajustado)			0,39		
R-quadrado(Observado vs. Estimado)			0,39		
Estimativa dos parâmetros					
Parâmetro	Estimativa	ASE	Parâmetro/ASE	Intervalo de confiança (95%)	
				Inferior	Superior
Brecha crítica	3,734	0,948	3,938	1,414	6,055
Tempo de seguimento	3,658	0,939	3,894	1,359	5,957

A calibração do método para estimativa da capacidade do HCM (TRB, 2000) obteve parâmetros significativos a um nível de confiança de 95%. Esse método equivale à Equação 4.17, proposta por Liu *et al.* (2008), para determinar a capacidade em dispositivos de retorno localizados em canteiros largos.

Constatou-se, ainda, que os valores da brecha crítica e tempo de seguimento estimado, quando comparados aos valores consultados na literatura, apresentaram resultados compatíveis. Embora R^2 seja baixo, como os parâmetros são significativos e os resíduos não apresentaram tendência, o modelo é aceitável (Figura 6.3).

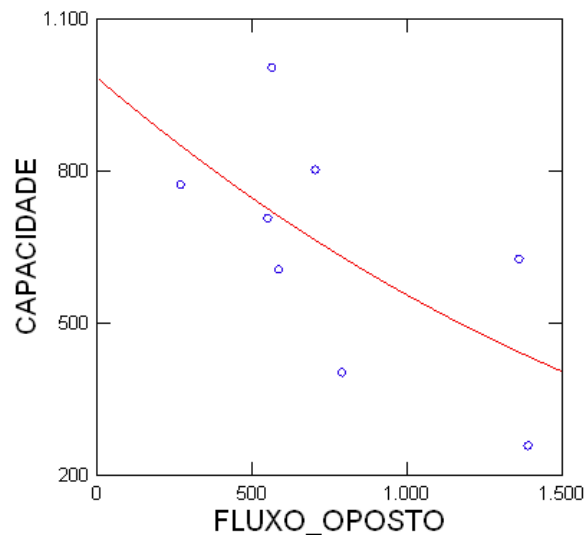


Figura 6.3: Resíduos da calibração da equação exponencial do HCM (TRB, 2000)

Assim, por meio da Equação 6.2 proposta, é possível prever a capacidade de movimentos de retorno.

$$C_p = v_c \frac{e^{-v_c \times 3,3743/3600}}{1 - e^{-v_c \times 3,658/3600}} \quad (6.2)$$

Em que:

c_p : capacidade potencial do movimento de retorno (veic./h);

v_c : fluxo de tráfego oposto conflitante (veic./h);

t_c : brecha crítica para o movimento secundário (3,743 segundos); e

t_f : Tempo de seguimento do movimento secundário (3,658 segundos).

Al-Masaied (1999) formulou uma equação exponencial para estimativa da capacidade (Equação 4.9). Visando definir variáveis que expressassem melhor a capacidade real, foi realizada uma análise de regressão não linear. Os resultados constam na Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Resultados da calibração da equação exponencial de Al-Masaied (1999)

Soma dos quadrados e média dos quadrados					
	SQ		gl	MQ	
Regressão	3.492.528,35		2	1.746.264,17	
Resíduo	232.845,14		6	38.807,52	
Total	3.725.373,48		8		
Média ajustada	384.080,03		7		
R-quadrado					
R-quadrado bruto(1-Resíduo/Total)				0,937	
Média R-quadrado ajustado (1-Resíduo/Ajustado)				0,394	
R-quadrado(Observado vs Estimado)				0,394	
Estimativa dos parâmetros					
Parâmetro	Estimativa	ASE	Parâmetro/ASE	Intervalo de confiança (95%)	
				Inferior	Superior
A	1931,396	654,711	2,95	329,375	3533,417
B	-1029,385	521,447	-1,974	-2305,319	246,549

Diante dos resultados apresentados esse modelo foi descartado, pois não obteve resultados significativos a um nível de confiança de 95%, em que o intervalo de confiança do parâmetro “B” inclui o valor zero. Em função de uma limitação no *software*, não foi possível verificar os resultados dessa análise para um nível de significância de 90%. Assim, considera-se que, mesmo calibrado, esse modelo não é adequado para estimar a capacidade dos retornos estudados. A Figura 6.4 apresenta as diferenças percentuais entre os valores obtidos antes e depois da calibração do método do HCM (TRB, 2000).

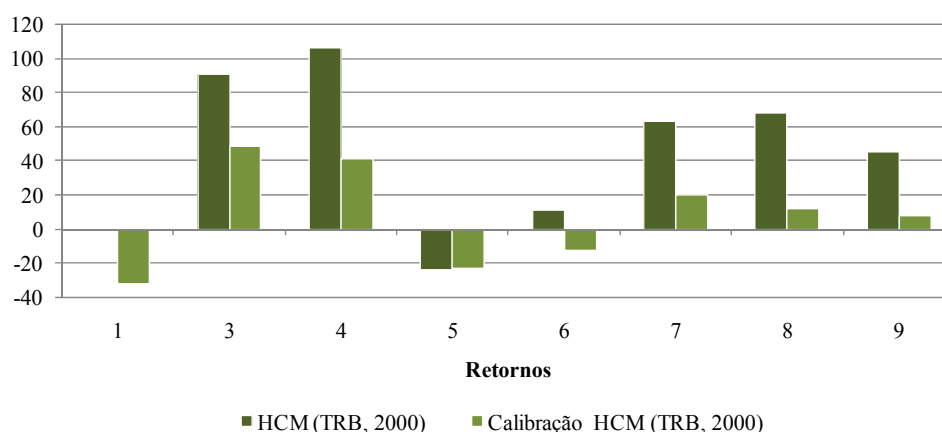


Figura 6.4: Diferenças percentuais entre os valores das capacidades coletados em campo e os valores resultantes da aplicação do método recomendado e da calibração do HCM 2000

Na Figura 6.5 estão dispostas as diferenças percentuais entre os valores coletados em campo, os resultantes da aplicação da equação linear de Al-Masaied (1999) e da calibração da regressão linear.

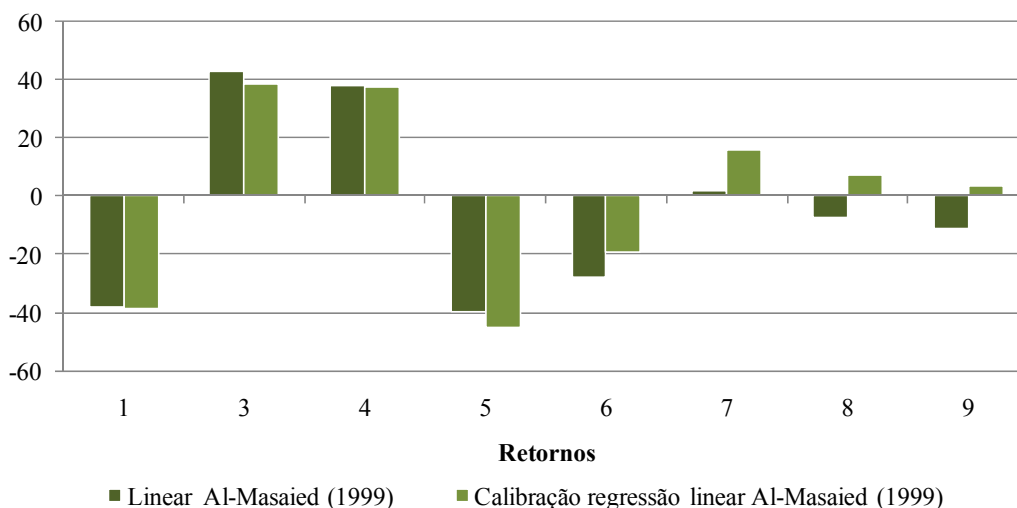


Figura 6.5: Diferenças percentuais entre os valores das capacidades coletadas em campo e os valores resultantes do modelo linear de Al-Masaied (1999) e da calibração desse modelo

A interpretação das Figuras 6.4 e 6.5 permite concluir que as calibrações dos dois métodos, quando comparados aos métodos existentes para estimativa da capacidade em dispositivos de retorno, apresentaram resultados melhores, vez que não estimaram o valor da capacidade em excesso.

Assim, buscando identificar o método que melhor representou a capacidade observada, após a calibração dos métodos, a capacidade dos nove dispositivos em estudo foi calculada para cada equação fornecida. A diferença percentual entre a capacidade observada e a calibrada pelos dois métodos estão ilustradas na Figura 6.6.

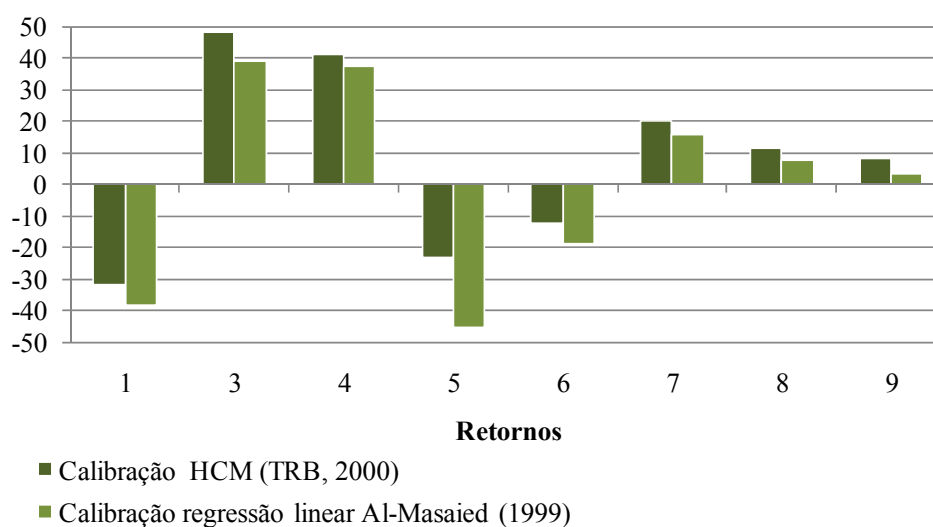


Figura 6.6: Diferenças percentuais entre os valores das capacidades coletadas em campo e os resultantes da calibração dos métodos

As calibrações apresentam resultados semelhantes: a calibração do método do HCM (TRB, 2000) e a calibração da regressão linear subestimaram a capacidade nos mesmos locais (retornos 1, 5 e 6). O HCM (TRB, 2000) calibrado sempre apresenta valores superiores para a capacidade estimada, comparativamente ao modelo linear (retornos 3, 4, 7, 8 e 9). Então para estudos mais conservadores, onde se pretende projetar faixas de armazenamento com mais folga, o modelo linear é mais recomendado. Para projetos mais econômicos, o uso do HCM calibrado tende a definir faixas de armazenamento menores.

6.3 DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DA FILA

Para efeito de determinação do comprimento da fila o modelo a ser adotado neste estudo é o do HCM (TRB, 2000), que estima o 95º percentil do número de veículos em fila. Nos casos em que a aplicação desse modelo apresentar resultados menores que zero, a determinação do comprimento da faixa de auxiliar incluirá somente o comprimento de desaceleração e o *taper*.

Na Tabela 6.8 estão reunidas as variáveis necessárias para a estimativa do 95º percentil do número de veículos na fila: taxas de chegada; o valor da capacidade observada em campo; e os valores das capacidades calculados após as calibrações dos métodos de Al-Masaied (1999), HCM (TRB, 2000). Durante a aplicação do método do HCM (TRB, 2000), admitiu-se que o período de estudo corresponde a 15 minutos, assim o período de tempo (T) deve ser igual a 0,25 (Equação 4.4).

Tabela 6.8: Taxa de chegada vs. capacidade (veic./h)

Retornos	Taxa de chegada	Capacidade		
		Observada	Calibração Al-Masaied (1999)	Calibração HCM (TRB, 2000)
1	1016,40	1003,20	724,61	761,19
3	264,00	257,33	419,97	498,82
4	409,09	401,45	641,37	681,96
5	621,60	625,20	430,59	506,70
6	811,00	801,00	673,10	711,50
7	608,73	604,36	716,64	753,36
8	777,00	772,00	833,25	872,91
9	723,60	705,60	729,48	766,00

Os resultados do emprego da Equação 4.4 proposta pelo HCM (TRB, 2000), para determinação do número de veículos em fila, estão dispostos na Tabela 6.9. O valor da fila máxima verificada em campo também é apresentado a título de comparação. Nos locais em que a capacidade estimada pelos dois métodos calibrados foi bem superior à observada, a estimativa do número de veículos em fila apresentou resultados negativos.

Tabela 6.9: Número estimado de veículos em pelo método do HCM (TRB, 2000)

Retornos	Capacidade dos retornos			Fila máxima observada
	Observada	Calibração Al-Masaied (1999)	Calibração HCM (TRB, 2000)	
1	22,50	117,32	100,65	15,00
3	15,79	-69,63	-88,19	5,00
4	16,67	-62,40	-68,95	5,00
5	13,97	119,19	67,89	13,00
6	20,26	65,55	49,98	9,00
7	16,74	-17,34	-25,59	9,00
8	18,53	2,24	-6,63	8,00
9	22,25	14,66	4,23	14,00

Na análise da Tabela 6.9, ao comparar o valor da fila máxima observada em campo com o valor estimado pelos três métodos, observa-se que a utilização dos métodos de Al-Masaied (1999) e do HCM (TRB, 2000) apresentaram valores superestimados, com alguns valores negativos, que na prática devem ser interpretados como ausência de fila. Já a estimativa do número de veículos em fila utilizando a capacidade observada em campo apresentou valores mais aproximados da fila máxima observada, embora sempre superiores. A Figura 6.7 possibilita uma melhor visualização desses resultados.

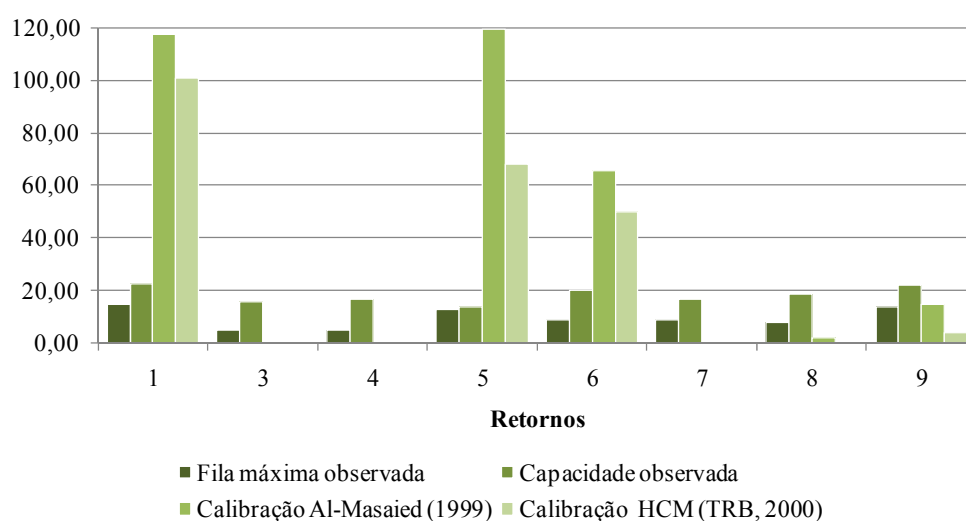


Figura 6.7: Número estimado de veículos em pelo método do HCM (TRB, 2000)

Há que se reconhecer que o método do HCM (TRB, 2000) considera para as condições similares de fluxo e capacidade, diferentes possibilidades para o número de veículos em fila no período em estudo. Por essa razão o método não prevê uma estimativa determinística, mas sim a estimativa do 95º percentil. Portanto, em uma única hora de observação esses valores têm 95% de chance de ser inferior ao estimado.

Esses resultados mostram que futuros estudos no sentido de permitir a calibração do método do HCM para estimativa da fila para o projeto de retornos, ou para o desenvolvimento de um método alternativo, também são recomendáveis. Assim, para determinação do comprimento das faixas de armazenamento mais adequadas, para os retornos considerados neste estudo, optou-se por utilizar os valores da fila fornecidos pela capacidade observada, vez que esse apresentou as melhores estimativas, considerando uma condição de correção do projeto de uma situação existente.

6.4 DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DA FAIXA AUXILIAR

Para a determinação do comprimento da faixa auxiliar, o número de veículos em fila, fornecidos a partir da capacidade observada, foi convertido em metros, adotando 5,8 metros para o comprimento total do veículo (AASHTO, 2004). Os comprimentos obtidos estão listados da Tabela 6.10.

Tabela 6.10: Comparativo do comprimento de armazenamento (em metros)

Retornos	Fila máxima observada	Calculado com base na capacidade observada (HCM, 200)	Recomendado conforme o volume de chegada/ 2 min
1	87,00	130,51	196,50
3	29,00	91,57	51,04
4	29,00	96,71	79,09
5	75,40	81,05	120,18
6	52,20	117,50	156,79
7	52,20	97,07	117,69
8	46,40	107,47	150,22
9	81,20	129,06	139,90

Na Tabela 6.10 é apresentado para efeito de comparação, o comprimento da fila máxima observada. Na última coluna é mostrado o comprimento de armazenamento que deveria ser projetado usando o critério das normas do DNIT (2005) e da AASHTO (2004).

A partir do comparativo entre a fila máxima observada, calculada pelo método do HCM (TRB, 2000) usando a capacidade observada e o pelas recomendações das normas, da AASHTO (2004) e DNIT (2005), constata-se que os valores resultantes da aplicação do método do HCM (TRB, 2000) forneceram resultados mais aproximados.

Embora esses valores sejam mais elevados do que o comprimento da fila máxima observada. Somente no caso dos retornos 3 e 4, que apresentam volumes menores de conversão, é que o comprimento definido pela norma apresentou valores mais aproximados do observado. Essa análise é melhor visualizada na Figura 6.8.

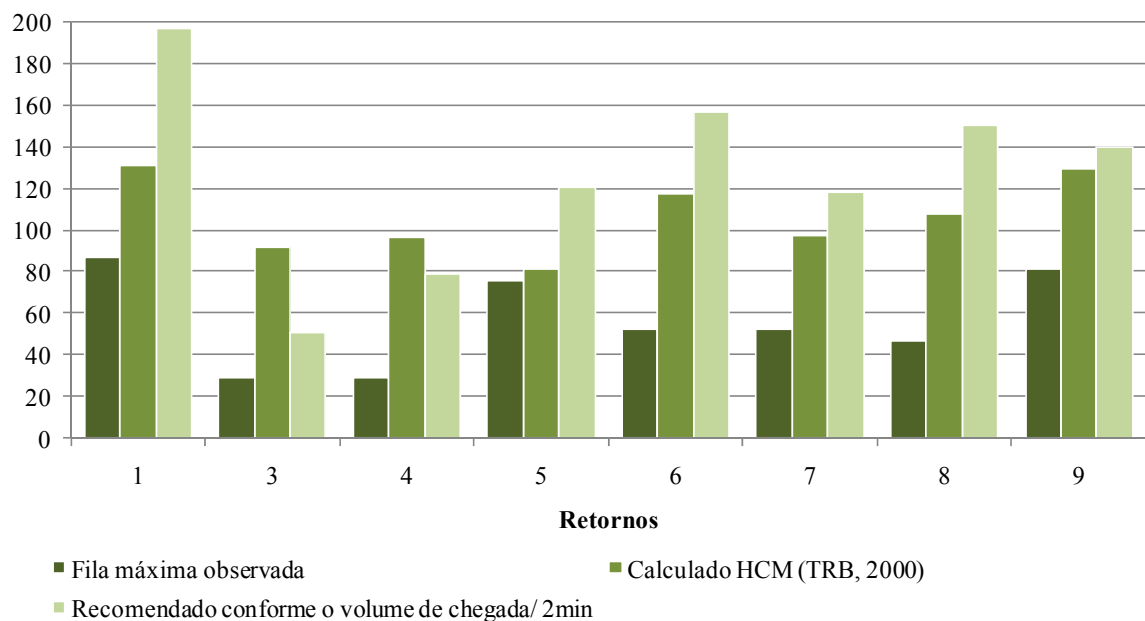


Figura 6.8: Comparativo do comprimento para o armazenamento de veículos (m)

Na estimativa da extensão dessa faixa, utilizou-se o comprimento de armazenamento calculado pelo HCM (TRB, 2000) e os valores recomendados pelas normas, do DNIT (2005) e da AASHTO (2004), para comprimento de desaceleração e do *taper*.

Para finalizar o procedimento apresentado, o comprimento total da faixa auxiliar dos oito dispositivos é detalhado na Tabela 6.11. Na última coluna é apresentado o valor da faixa auxiliar existente em cada local.

Tabela 6.11: Determinação do comprimento total da faixa auxiliar (em metro)

Retornos	Armazenamento calculado com a capacidade observada	Desaceleração	Taper	Faixa auxiliar calculada	Faixa auxiliar existente
1	130,51	75,00	30,00	235,51	85,47
3	91,57			196,57	81,30
4	96,71			235,51	66,68
5	81,05			235,51	72,76
6	117,50			117,50	74,54
7	97,07			202,07	72,65
8	107,47			212,47	72,87
9	129,06			234,06	76,27

Com base nas etapas anteriores, o procedimento para determinação da faixa auxiliar de dispositivos de retorno pode ser resumido na Figura 6.9.



Figura 6.9: Etapas do procedimento para determinação do comprimento da faixa auxiliar de dispositivos de retorno

O procedimento apresentado, no caso dos locais em fase de projeto, pode ser usado provisoriamente, entretanto durante o desenvolvimento do método proposto para estimativa do comprimento da faixa de armazenamento, observa-se que estimativas mais exatas da capacidade do movimento permitem a determinação de valores mais aproximados do comprimento ideal da fila. Assim, recomenda-se que futuros estudos sejam feitos para aperfeiçoar o método de estimativa da capacidade.

6.5 TÓPICOS CONCLUSIVOS

Identificou-se inicialmente que os métodos existentes para determinação da capacidade em dispositivos de retorno não se aplicam à realidade atual dos dispositivos em estudo, comprovando mais uma vez a relevância desta pesquisa. É possível que a extensão das faixas auxiliares desses dispositivos tenha sido estimada para o volume de tráfego da época em que foram projetados. Os valores encontrados após a calibração desses métodos expressaram resultados melhores que os valores obtidos por meio da aplicação direta das equações existentes.

O método do HCM (TRB, 2000), após ser calibrado, apresentou resultados mais significativos que as demais metodologias. Além disso, com essa calibração foi possível estimar o valor da brecha crítica e do tempo de seguimento, para movimentos de retorno em vias com três faixas para cada sentido. Esses valores foram compatíveis com os valores disponíveis na literatura consultada.

Por fim, observou-se que a aplicação do método do HCM (TRB, 2000) para estimativa do comprimento da fila não apresentou resultados ideais, indicando que, futuros estudos para o desenvolvimento de modelos que realizem estimativas mais próximas da realidade brasileira, são recomendados.

7. CAPÍTULO

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Retornos são dispositivos que permitem a inversão do sentido da circulação do trânsito. Em vias urbanas, devem ser implantados em canteiros centrais, em locais que ofereçam condições de segurança e fluidez. Na literatura existem algumas diretrizes para projetar e implantar aberturas em canteiros, viabilizando manobras de retorno não controladas por semáforos em vias rurais e urbanas. Entretanto, constata-se que há escassez de estudos tratando do desempenho operacional de retornos na literatura nacional e internacional.

A presente pesquisa propôs desenvolver uma metodologia para a estimativa do comprimento da faixa de armazenamento de retornos localizados em canteiros centrais, levando em conta a sua capacidade, objetivando contribuir para uma melhor operação desses dispositivos, reduzindo congestionamentos e o risco de acidentes de trânsito.

7.1 CONCLUSÕES

Diante da pesquisa realizada, foi possível observar que o manual do DNIT (2005) é a única bibliografia nacional que aborda as diretrizes para dimensionamento de dispositivos de retorno. Embora esse manual seja voltado para rodovias, nele encontram-se disponíveis algumas orientações específicas o dimensionamento de projetos de retorno em rodovias localizadas em áreas urbanas. Algumas dessas orientações são idênticas às recomendações do documento da AASHTO (2004).

A partir da revisão bibliográfica realizada e das consultas junto aos órgãos nacionais responsáveis pela implantação de projetos de retornos em vias urbanas, pode-se concluir que não existem procedimentos específicos em nível nacional para a tomada de decisão que visem definir a inserção de retornos em aberturas no canteiro central em vias urbanas. Logo, tais órgãos utilizam-se de critérios próprios estabelecidos com base na experiência acumulada em implantações anteriores.

Na análise das recomendações nacionais e do exterior para implantação de projetos de retorno, verificou-se que a adoção dos valores sugeridos pelas normas, durante a execução do projeto desses dispositivos, é de fundamental importância para possibilitar que determinadas manobras de retorno possam ser realizadas. Entretanto, observou-se uma variação nos valores apresentados pelas normas consultadas. Essas diferenças podem ser resultado das distintas premissas em que estão baseadas essas recomendações, que variam de um país para o outro e até mesmo dentro de um mesmo país. Além disso, a maioria das normas apresentadas baseia-se em observações feitas nos Estados Unidos, possuindo critérios e normas estritamente norte-americanos.

No que tange aos estudos da capacidade em dispositivos de retorno, o HCM (TRB, 2000) não apresenta uma metodologia para esse tipo de análise. Entretanto, durante a revisão da literatura, notou-se o interesse por parte de alguns pesquisadores em desenvolver metodologias para melhorar ou adaptar o que é proposto pelo HCM 2000. Outra lacuna encontrada no HCM (TRB, 2000) é referente à ausência de valores de brecha crítica e tempo de seguimento para vias com seis faixas.

Realizada a revisão bibliográfica, foram estabelecidos critérios para definir um cenário adequado para a coleta de dados, objetivando o cálculo da capacidade em dispositivos de retorno. Os critérios utilizados foram baseados principalmente no trabalho realizado por Liu *et al.* (2008). O relevante número de retornos e a facilidade de deslocamento foram fatores contribuintes para a escolha da região administrativa do Plano Piloto, em Brasília como área de estudo.

Após a análise geométrica dos locais selecionados foi possível constatar que as normas existentes para projetos de retorno não foram adotadas durante a execução dos dispositivos em questão. É possível que a extensão das faixas auxiliares desses dispositivos tenha sido estimada para o volume de tráfego da época em que foram projetados. Além disso, algumas recomendações presentes nas normas consultadas apresentam valores inadequados à realidade verificada em campo. Esses resultados confirmaram a relevância da aplicação de estudos de capacidade como instrumento de mitigação dos entraves operacionais existentes em dispositivos de retorno, além de ser um instrumento para prevenção de problemas que poderão surgir futuramente.

Para determinar o valor da capacidade nos dispositivos de retorno, os dados volumétricos coletados, foram processados nas equações dos três modelos do HCM (TRB, 2000), de Al-Masaied (1999) e de Liu *et al.* (2008). A análise das diferenças percentuais entre os valores coletado em campo e os valores resultantes das aplicações dessas metodologias, revelou que esses métodos não são adequados para expressar a capacidade real dos dispositivos de retorno em questão.

Objetivando obter melhores resultados, uma análise de regressão foi realizada para cada uma dessas equações propostas, que definem novas equações para determinação da capacidade dos nove dispositivos de retorno. A calibração desses métodos não apresentou resultados ideais, no entanto, os valores encontrados foram mais expressivos que os obtidos durante a aplicação das equações existentes. Esse resultado indica a necessidade de ampliação da base de dados, com vistas ao desenvolvimento de um modelo mais robusto para estimar a capacidade em dispositivos de retorno.

Sabe-se que é praticamente impossível determinar com exatidão o valor da capacidade, pois essa é influenciada por diversos fatores, sendo satisfatório estima-lá com valores aproximados. A calibração do método proposto pelo HCM (TRB, 2000) para estimativa da capacidade, obteve resultados mais significativos que as demais metodologias. Além disso, obteve-se o valor da brecha crítica e do tempo de seguimento, para movimentos de retorno em vias com seis faixas. Esses valores foram compatíveis com os valores disponíveis na literatura consultada. Para a determinação do comprimento da faixa de armazenamento, o método do HCM (TRB, 2000) para estimativa do número de veículos em fila foi adaptado visando determinar o comprimento médio da faixa de armazenamento.

A aplicação do procedimento proposto para a definição do comprimento da faixa de armazenamento e, em decorrência, da própria faixa auxiliar, ao ser aplicado nos retornos estudados confirmou a hipótese do presente trabalho. Isto é, seus resultados foram mais realistas que os obtidos com a utilização direta das normas, que não consideram a capacidade dos retornos. O aperfeiçoamento futuro dos métodos de estimativa da capacidade e da fila máxima certamente faria com que o procedimento proposto atinja o seu máximo potencial como ferramenta para a elaboração de projetos de retorno.

7.2 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que este estudo seja aperfeiçoado objetivando o desenvolvimento de um método mais preciso de estimativa da capacidade de movimentos de retorno. Para atingir esse objetivo, sugere-se a ampliação da amostra, além da coleta dos valores da brecha crítica e tempo de seguimento, verificados em campo, confrontando esses valores com os encontrados durante a calibração do método do HCM (TRB, 2000).

Ao adaptar a metodologia do HCM 2000 para a análise da capacidade desses dispositivos, sugere-se a realização de um exame mais detalhado a respeito das condições geométricas e operacionais das vias urbanas brasileiras, buscando aprimorar essa ferramenta e disponibilizando, dessa forma, um método mais preciso para a utilização na realidade nacional. Assim, se faz necessário que futuros estudos sejam feitos para aperfeiçoar o método de estimativa da capacidade e o método para estimativa da fila máxima, uma vez que valores mais exatos permitem uma melhor estimativa do comprimento da faixa de armazenamento.

Por fim, cabe ressaltar que para obter uma melhor operação desses dispositivos, se faz necessário o aperfeiçoamento dos procedimentos atuais para execução de projetos de dispositivos de retorno, por meio do desenvolvimento de um método de estudo de capacidade voltado para o dimensionamento das faixas de armazenamento. Em consequência, tal fato poderá resultar na conservação de níveis aceitáveis da fluidez do tráfego, proporcionando menor atraso para a circulação de veículos, diminuição dos custos no sistema de transporte, redução nos impactos negativos ao meio ambiente, pela diminuição dos níveis de poluição e conseqüentemente possibilitar a oferta de uma melhor qualidade de vida para a população urbana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO – AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (2004). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington, DC.
- AL-MASAEID, H R. (1999). *Capacity of U-Turn at Median Openings*. Institute of Transportation Engineers Journal, Vol. 69, n. 6.
- ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (2008). *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. Edição de 2008*. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuario.html>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2009.
- ANTP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (1997). *Transporte Humano: cidades com qualidade de vida*. São Paulo, SP.
- BOTELHO, A. (2002). *Reestruturação Produtiva e Produção do Espaço: o caso da indústria automobilística instalada no Brasil*. Revista do Departamento de Geografia, n. 15, Universidade de São Paulo – USP, pp. 55-64.
- BRASIL (2006). *Código de Trânsito Brasileiro e Legislação Complementar em Vigor*. Brasília, DF.
- DETRAN / DF – DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO DISTRITO FEDERAL (2009). *Estatística de Frota de Veículos*. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.detran.df.gov.br/>>. Acesso em: 15 de maio de 2009.
- DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (2009). *Estatísticas da Frota Nacional de Veículos*. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 15 de maio de 2009.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2005). *Manual de Projeto de Interseções*. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ.
- FDOT – FLORIDA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (1997). *Median Handbook*. Tallahassee, FL.
- FHWA – THE U.S. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (2007). *Synthesis of the Median U-Turn Intersection Treatment, Safety, and Operational Benefits*. Publicação n. FHWA.HRT.07.033. United States Department of Transportation.

- KOEPKE, F. J. e LEVINSON, H. S. (1999). *Access Management Guidelines for Activity Centers*. National Cooperative Highway Research Program – NCHRP Report 348. Washington, D.C.
- KYTE, M., TIAN, Z., MIR, Z., HAMEEDMANSOOR, Z., KITTELSON, W., VANDEHEY, M., ROBINSON, B., BRILON, W., BONDZIO, L., WU, N., e TROUTBECK, R. J. (1996). *Capacity and level of service at median openings*. National Cooperative Highway Research Program – NCHRP Report 346. Washington, D.C.
- LIU, P., LU, J., HU, F., e SOKOLOW, G. (2008). *Capacity of U-Turn Movement at Median Openings on Multilane Highways*. Journal of Transportation Engineering. Vol. 134, N°4. ASCE.
- LUCAS, C. B. (2008). *Quem Vai Cuidar do Nosso Trânsito*. Publicado em dezembro de 2008. Disponível em: <<http://www.perkons.com.br/>>. Acesso em: 10 de março de 2009.
- MARÍN, L., QUEIROZ, M. S. A. (2000). *A Atualidade dos Acidentes de Trânsito na Era da Velocidade: uma visão geral*. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 16 (1):7-21, jan-mar, 2000.
- POTTS, I., HARWOOD, D., GLUCK, J. e LEVINSON, H. S. (2005). *Safety of U-Turns at Unsignalized Median Openings*. National Cooperative Highway Research Program – NCHRP Report 524. Washington, D.C.
- RODRIGUES, J. N. (2009). *Trânsito e Sociedade. Desafios do Século XXI. Frente Parlamentar em Defesa do Trânsito Seguro*. Disponível em: <http://frentetransitoseguro.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=875&Itemid=56>.
- SCHOR, T. (1999). *O Automóvel e o Desgaste Social*. São Paulo Perspec., Set 1999, vol. 13, n. 3, p.107-116. ISSN 0102-8839.
- TRB – TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (2000). *Highway Capacity Manual*. Special Report 209. National Research Council, Washington, DC, EUA, 4ª ed. revisada.