

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

**Venina de Souza Oliveira**  
**Maria Alice Prudêncio Jacques**  
Universidade de Brasília  
Programa de Pós-Graduação em Transportes

## **RESUMO**

Na análise da operação de dispositivos de retorno localizados 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. Na literatura brasileira e do exterior 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 movimento de retornos. O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um procedimento para a estimativa do comprimento de armazenamento dessas faixas auxiliares, considerando a capacidade de cada dispositivo. A partir da coleta de dados do tráfego na cidade de Brasília, buscou-se verificar se os métodos disponíveis na literatura para a estimativa da capacidade desses dispositivos eram adequados para representar a operação observada.

## **ABSTRACT**

In analyzing the operation of U-turn devices located in urban streets, it is observed that the storage length of the auxiliary lane in many situations is not enough to accommodate the vehicles that are waiting to turn. In Brazilian and foreign literature there are a few guidelines to project and install median openings concerning U-turn maneuvers at unsignalized intersections in urban and rural areas. However, there is a shortage of studies that deal with U-turn operational performance. This study aims to develop a methodology for estimating the storage length of auxiliary lanes, taking into account the capacity of U-turn devices. An analysis of the applicability of the current methods to estimate the capacity of these devices to Brasilia City traffic conditions has also been done.

## **1. INTRODUÇÃO**

Conforme as definições encontradas nas normas brasileiras e do exterior, 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 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 nas faixas do tráfego de passagem por uma oportunidade de completar a manobra.

Para a determinação do comprimento da faixa de armazenamento, o DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2005) faz uso das recomendações adotadas pela *American Association of State Highway and Transportation Officials – 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. Diante da análise dessas normas verificou-se que elas não contemplam a avaliação da capacidade nos retornos para os movimentos de conversão que ele permite. Na literatura pesquisada, os trabalhos de AL-MASAEID (1999) e LIU *et al.* (2008) foram os únicos que 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. Segundo AL-MASAEID (1999), o HCM – *Highway Capacity Manual*, manual que contém modelos de estimar a capacidade de diferentes movimentos em interseções não semaforizadas, não

fornece diretrizes específicas para estimar a capacidade e atraso dos movimentos de retorno nas aberturas de canteiros. Diante do exposto, o presente trabalho possui como objetivo geral o aperfeiçoamento dos procedimentos atuais para a elaboração de projetos de dispositivos de retorno, baseado na utilização de um método de estimativa da capacidade desse tipo de dispositivo, voltado para o dimensionamento de faixas de armazenamento.

## 2. MODELOS PARA ESTIMATIVA DA CAPACIDADE EM RETORNOS

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

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

#### 2.1.1. Brecha crítica e tempo de seguimento

O HCM (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. Já o intervalo de tempo entre a partida de um veículo da via secundária e a partida do próximo veículo da mesma via, utilizando a mesma brecha da via principal, sob a condição de fila contínua na via secundária, é denominado tempo de seguimento ( $t_f$ ). Os valores das brechas críticas e do tempo de seguimento, recomendados pelo HCM (TRB, 2000) estão listados na Tabela 1.

**Tabela 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)

#### 2.1.2. 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. A Equação 1 é utilizada como base para determinar a capacidade e o nível de serviço um movimento secundário de uma interseção não semaforizada.

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

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 (s); e  
 $t_{f,x}$ : tempo de seguimento do movimento secundário x (s)

### 2.1.3. Estimativa do comprimento das filas

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 2 é utilizada pelo HCM (TRB, 2000) para calcular o 95º percentil do número de veículos em fila.

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

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).

## 2.2. Modelo de Al-Masaeid

AL-MASAEID (1999) 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 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. 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.

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 3 e 4 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.

$$c = 799 - 0,31q_e \quad (3)$$

$$c = 1.545 - 790e^{q_c/3600} \quad (4)$$

em que  $c$ : capacidade dos movimentos de retorno (veic./h)  
 $q_c$ : fluxo de tráfego conflitante (veic./h)

AL-MASAEID (1999) conclui 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.

### 2.3. Modelo de Liu *et al.*

LIU *et al.* (2008) desenvolveu 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, 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 deve estar previsto faixas auxiliares exclusivas para a realização de tais manobras; e (iii) o volume de veículos realizando a manobra de retorno deve ser relevante.

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) foi adotado pelo autor. LIU *et al.* (2008), analisou os dados da brecha crítica e do tempo de seguimento, conforme a largura do canteiro: (i) canteiros estreitos (< 6,4 metros) e (ii) canteiros mais largos ( $\geq 6,40$  metros). Durante a análise desses resultados, LIU *et al.* (2008) concluiu 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 (Tabela 2).

**Tabela 2:** Brechas críticas e intervalos de tempo entre veículos para interseções não semaforizadas

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)

#### 3.3.1 Capacidade de movimentos de retorno em canteiros centrais

LIU *et al.* (2008) utilizou o modelo de Harders (TRB, 2000) para estimar a capacidade potencial do movimento retorno em interseções não semaforizadas, entretanto adaptou os valores da brecha crítica e do tempo de seguimento aos valores por ele encontrado (2), em que a capacidade potencial de movimentos de retorno podem ser calculados utilizando a Equação 5 e a Equação 6.

$$c_{p,w} = v_c \frac{e^{-0,00178v_c}}{1 - e^{-0,00069v_c}} \quad (5)$$

$$c_{p,m} = v_c \frac{e^{-0,00192v_c}}{1 - e^{-0,00086v_c}} \quad (6)$$

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

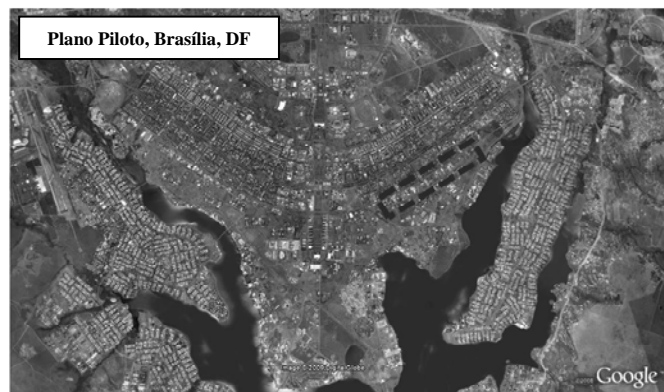
$c_{p,n}$ : capacidade potencial de movimentos de retorno em aberturas de canteiros largura inferior a 6,4 metros (veic./h); e  
 $v_c$ : volume de tráfego que conflita com os movimentos de retorno (veic./h).

A aplicação dessa metodologia mostrou que a capacidade potencial dos veículos realizando manobras de retorno em aberturas de canteiro é diretamente proporcional ao raio de giro.

### 3. ESTUDO DE CASO

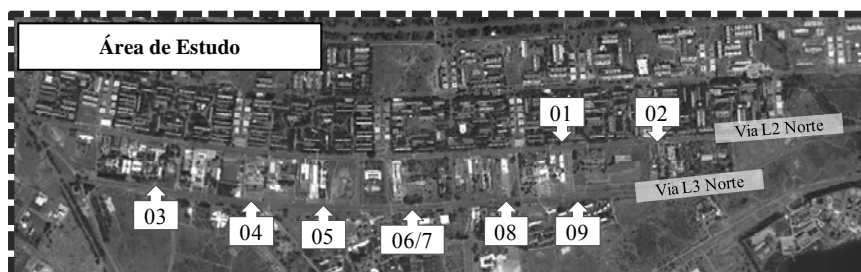
Os critérios utilizados para a determinação da área de estudo foram baseados nas recomendações para trabalhos futuros contidas no trabalho realizado por LIU *et al.* (2008). São eles: (i) o local deverá estar situado dentro do perímetro urbano; (ii) as vias devem possuir seis faixas, sendo três em cada sentido; (iii) os retornos devem estar localizados em meio de quadra e sem controle semafórico; (iv) o volume de veículos que desejam executar a manobra de retorno deve ser relevante; e (v) a presença de faixa exclusiva para a manobra de retorno.

Para aplicação do estudo de caso desta pesquisa, a rede viária básica do Plano Piloto de Brasília foi escolhida por apresentar uma grande quantidade de retornos. A ausência de controle semafórico foi o fator determinante para a escolha da área a ser estudada. (Figura 1).



**Figura 1:** Localização da área de estudo do Distrito Federal

Nove retornos foram selecionados para a coleta de dados. Dentre esses locais, dois deles foram estabelecidos na via L2 Norte e os sete locais restantes foram localizados na via L3 Norte (Figura 2).

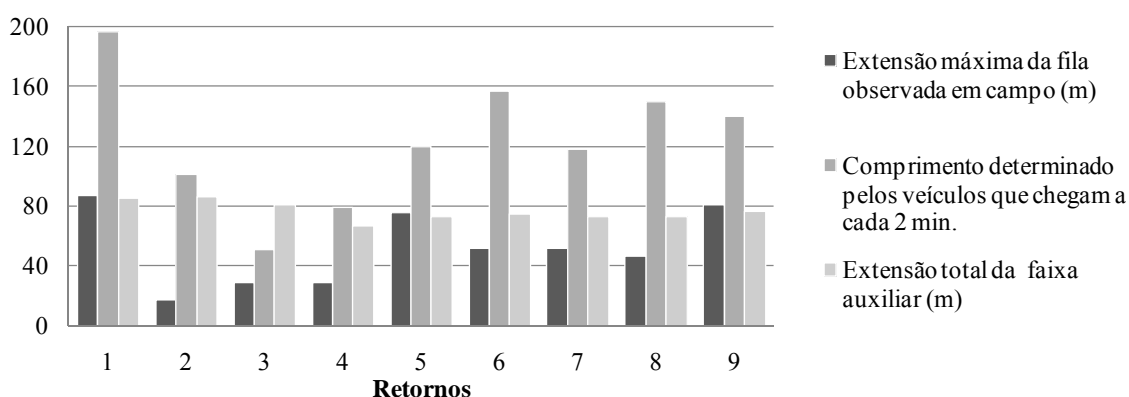


**Figura 2:** Localização dos locais de pesquisa na área de estudo

Definidos os locais de estudo, foram determinadas as variáveis necessárias para serem coletadas, são elas: (i) número de veículos em fila, para executar a manobra de retorno; (ii)

comprimento da faixa auxiliar; (iii) volume de veículos que entra e sai do dispositivo de retorno; e (iv) volume de veículos do tráfego oposto. 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, por um período de uma hora.

O comparativo entre a extensão da fila máxima observada em campo, a extensão determinada a partir do cálculo do número médio de veículos que chegam durante dois minutos e o comprimento da faixa auxiliar medida em campo está ilustrado na Figura 3. Constata-se que as normas superestimam a extensão necessária para o armazenamento de veículos, atentando-se para a relevância da aplicação de estudos de capacidade.



**Figura 3:** Extensão máxima da fila

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

Nesta etapa do presente trabalho pretende-se utilizar os dados volumétricos coletados, primeiramente, para verificar a adequabilidade das metodologias existentes, abordadas no item 2, para a estimativa da capacidade nos dispositivos de retorno. Após essa verificação, realizar-se-ão 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.

##### 4.1. Aplicação dos modelos existentes

Para testar os modelos existentes, foi necessário coletar os volumes de tráfego dos nove dispositivos de retorno. 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 e quando presente, a fila máxima obteve apenas três veículos. A Tabela 3 contempla os valores referentes ao volume do fluxo oposto conflitante e a capacidade dos dispositivos de retorno em estudo.

**Tabela 3:** Volumes de tráfego coletados em campo

Retornos	Fluxo oposto (veic./h)	Capacidade (veic./h)	Retornos	Fluxo oposto (veic./h)	Capacidade (veic./h)
1	566,40	1.003,20	6	706,00	801,00
3	1.392,00	257,33	7	588,00	604,36
4	792,00	401,45	8	272,00	772,00
5	1.363,20	625,20	9	553,20	705,60

Os dados apresentados acima 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 quatro faixas e que os nove locais em estudo estão localizados em vias de seis faixas. Os resultados do processamento da equação proposta pelas metodologias citadas estão dispostos na Tabela 4.

**Tabela 4:** Resultados da aplicação dos métodos

Retornos	Capacidade (veic./h)				
	Verificada em campo	HCM	Al-Masaied (linear)	Al-Masaied (exponencial)	Liu <i>et al.</i>
1	1003,20	1004,96	623,42	620,40	638,86
3	257,33	490,28	367,48	382,07	189,27
4	401,45	828,25	553,48	560,60	459,38
5	625,20	474,01	376,41	391,33	197,56
6	801,00	890,50	580,14	583,84	521,05
7	604,36	983,09	616,72	614,83	619,05
8	772,00	1298,04	714,68	693,00	979,49
9	705,60	1022,53	627,51	623,78	651,26

Comparando os valores observados 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 exatidão a capacidade do retorno 1. Esses resultados podem ser reflexo 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 seis faixas. AL-MASAIED (1999), em seu estudo propôs duas equações para estimativa da capacidade em dispositivos de retorno. Entretanto, ambas as equações propostas por AL-MASAIED (1999) subestimaram a capacidade real na maioria dos retornos. Entretanto apresentou valores menos discrepantes quando comparado ao método proposto pelo HCM (TRB, 2000).

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 quatro faixas. Os canteiros centrais 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 foram de 6,4 e 2,5 segundos respectivamente. Por fim, observa-se que a aplicação do método de LIU *et al.* (2008) subestimou a capacidade dos dispositivos de retornos. Após a realização da análise acima 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).

#### 4.2. Aplicação dos modelos existentes

Nessa fase da pesquisa os métodos apresentadas na revisão da literatura para determinação da capacidade foram calibradas no *software* SYSTAT versão 12. O programa foi calibrado com as equações propostas por cada método. Primeiramente foi realizada a calibração da equação linear de AL-MASAIED (1999), em uma regressão linear com os valores obtidos em campo, constantes na Tabela 4, em que, embora o valor de  $R^2$  tenha apresentado um valor baixo, os dois parâmetros obtidos foram significativos a um nível de significância de 10% e os resíduos não apresentaram tendência. Assim, a partir da calibração desse modelo foi possível

considerar as variáveis obtidas para formulação da equação linear (Equação 7) que determina o valor da capacidade em dispositivos de retorno.

$$c = 933,615 - 0,369v_c \quad (7)$$

em que  $c$ : capacidade dos movimentos de retorno (veic./h)  
 $v_c$ : fluxo de tráfego oposto conflitante (veic./h)

AL-MASAIED (1999) também apresenta uma equação exponencial para estimativa da capacidade (Vide Equação 4). Visando definir variáveis que expressassem melhor a capacidade real, foi realizada uma análise de regressão não linear. Diante dos resultados apresentados esse modelo foi descartado, pois não obteve resultados significativos a um nível de confiança de 95%. Em função de uma limitação no *software*, não foi possível verificar os resultados dessa mesma 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.

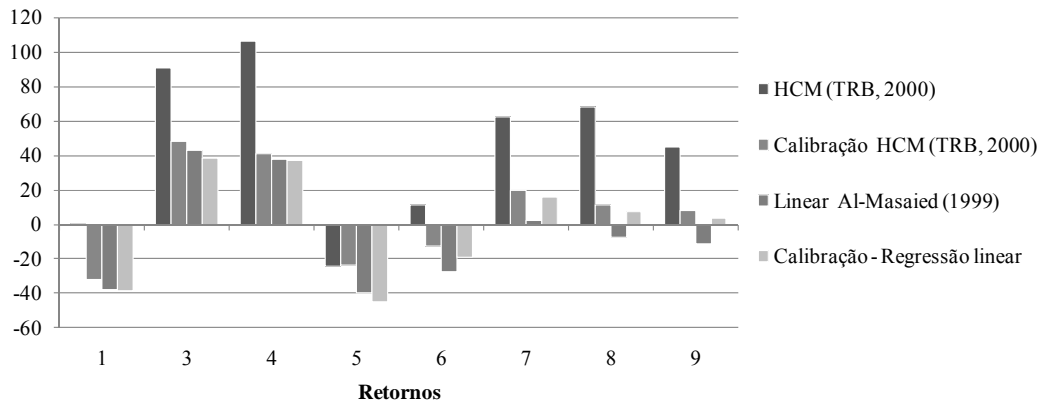
Já os resultados da calibração do método para estimativa da capacidade do HCM (TRB, 2000), obtiveram parâmetros significativos a um nível de confiança de 95%. Esse método equivale à equação proposta por LIU *et al.* (2008) para determinar a capacidade em dispositivos de retorno localizados em canteiros largos. Constatou-se, ainda que os valores da brecha crítica e tempo de seguimento, estimado após a calibração do método, quando comparados aos valores consultados na literatura, apresentaram resultados compatíveis. Embora  $R^2$  seja baixo, como os parâmetros foram significativos e os resíduos não apresentaram tendência, o modelo é aceitável. Assim, por meio da Equação 8 é possível prever a capacidade de movimentos de retorno.

$$c_p = v_c \frac{e^{-v_c \times 3,3743 / 3600}}{1 - e^{-v_c \times 3,658 / 3600}} \quad (8)$$

em que  $c_p$ : capacidade potencial do movimento de retorno (veic./h);  
 $v_c$ : fluxo de tráfego oposto conflitante (veic./h);  
 $t_{c,x}$ : brecha crítica para o movimento secundário (3,743 segundos); e  
 $t_{f,x}$ : tempo de seguimento do movimento secundário x (3,658 segundos).

A Figura 4 ilustra as diferenças percentuais entre os valores obtidos antes e depois da calibração dos métodos do HCM (TRB, 2000) e da equação linear de AL-MASAIED (1999). O eixo zero representa a capacidade verificada em campo.





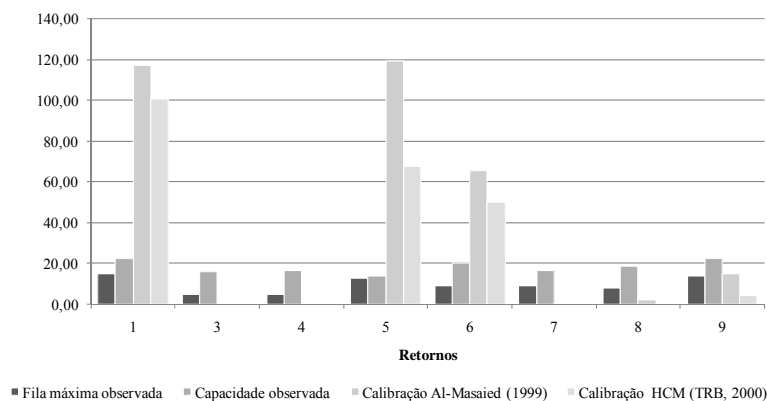
**Figura 4:** Diferenças percentuais entre os valores coletados em campo e os resultados da aplicação dos métodos recomendados e calibrados do HCM 2000 e de AL-MASAIED (1999)

A interpretação da figura acima permite concluir que as calibrações dos dois métodos quando comparados aos métodos existentes para estimativa da capacidade em dispositivos de retorno, apresentaram resultados melhores, pois não estimaram o valor da capacidade em excesso.

### 4.3. 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*. As variáveis utilizadas para a estimativa do número de veículos na fila foi a taxa de chegada observada em campo e os valores da capacidade observada e obtida por meio da calibração 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 valor de  $T$  deve ser igual a 0,25 (vide Equação 2). Os resultados do emprego da estimativa do 95º percentil do número de veículos em fila proposta pelo HCM (TRB, 2000), estão dispostos na Figura 5. O valor da fila máxima verificada em campo também é apresentado a título de comparação. Nos locais que a capacidade estimada pelos dois métodos calibrados foi bem superior a estimativa do número de veículos em fila foi menor que zero.



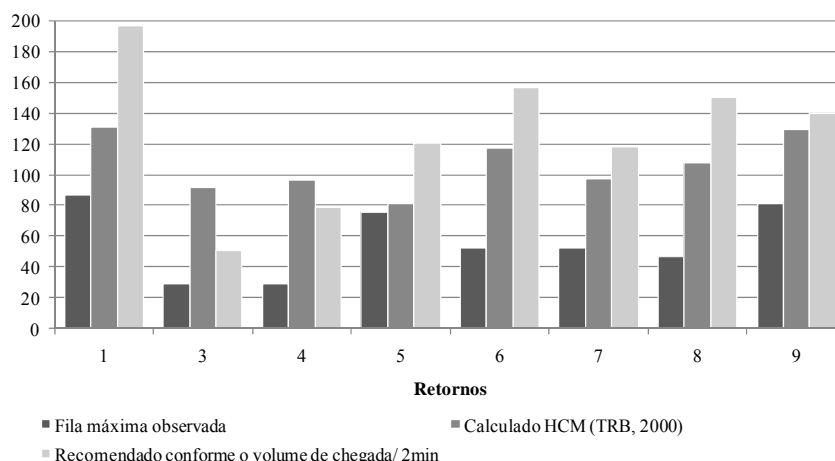
**Figura 5:** Número estimado de veículos em pelo método do 95º percentil do número de veículos em fila (TRB, 2000)

Na análise da ilustração acima, quando comparamos o número máximo de veículos que aguardam para realizar a manobra de retorno observada em campo em um dado instante, com o valor estimado pelos três métodos, observa-se que a utilização dos métodos de ALMASAIED (1999) e do HCM (TRB, 2000) apresentou valores em sua maioria superestimada, 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 observada, embora sempre superiores.

Há que se reconhecer que o método do HCM (TRB, 2000) considera para as mesmas condições 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 tem 95% de chance de ser inferior ao estimado. Assim, para determinação do comprimento das faixas de armazenamento mais adequadas para os retornos considerados nesse estudo, optou-se por utilizar os valores da fila fornecidos pela capacidade observada, já que estariam na condição de corrigir o projeto em uma situação existente, vez que esse apresentou as melhores estimativas.

### 4.3. 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 presentes na Figura 6.



**Figura 6:** Comparativo do comprimento para o armazenamento de veículos (m)

A partir do comparativo entre a fila máxima observada e dos comprimentos seguintes; calculado pelo método do HCM (TRB, 2000) usando a capacidade observada, e o recomendado pelas normas, constata-se que os valores resultantes da aplicação do método do HCM (TRB, 2000) forneceram os melhores resultados, 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. Para finalizar o procedimento acima apresentado, o comprimento total da faixa auxiliar dos oito dispositivos é detalhado na Tabela

5. Durante a estimativa da extensão dessa faixa, utilizou-se o comprimento de armazenamento calculado pelo HCM (TRB, 2000) e os valores recomendados pelas normas para comprimento de desaceleração e do *taper*. Na última coluna é apresentado o valor da faixa auxiliar existente em cada local.

**Tabela 5:** Determinação do comprimento total da faixa auxiliar (m).

Retornos	Armazenamento Calculado com a Capacidade Observada	Desaceleração AASHTO (2004)	<i>Taper</i> DNIT (2005)	Faixa Auxiliar Calculada	Faixa Auxiliar Existente
1	130,51			235,51	85,47
3	91,57			196,57	81,30
4	96,71			235,51	66,68
5	81,05	75,00	30,00	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 Tabela 6.

**Tabela 6:** Etapas do procedimento para determinação do comprimento da faixa auxiliar de dispositivos de retorno

Elementos de Projeto	Correção da Situação Existente	Projetos de Novos Locais
Taper	Normas (em função da velocidade)	
Cumprimento de Desaceleração	Normas (em função da velocidade)	
Capacidades	Observada	Estimada
Tamanho da Fila	Estimada (HCM, 2000)	

O procedimento acima apresentado, no caso de locais em fase de projeto pode ser usado provisoriamente, entretanto durante o desenvolvimento do método proposto para estimativa do comprimento da faixa de armazenamento, pode-se observar 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.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

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. 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.

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. Para determinar o valor da capacidade nos dispositivos de retorno, os dados volumétricos de nove dispositivos de retornos foram coletados e processados nas equações de três modelos: HCM (TRB, 2000), AL-MASAIED (1999) e LIU *et al.* (2008). A análise das diferenças percentuais entre os

valores coletado em campo e os valores resultantes da aplicação dessas metodologias, constatou que esses métodos não são adequados para expressar a capacidade real dos dispositivos de retorno em questão.

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. 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 seis faixas. 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 95º percentil do número de veículos não apresentou resultados ideais, indicado que futuros estudos para o desenvolvimento de modelos que realizem estimativas mais próximas da realidade brasileira são recomendados. 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, bem como a coleta dos os valores da brecha crítica e tempo de seguimento, verificados em campo, confrontando esses valores como 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.

#### **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, No. 6.
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura 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.
- LIU, P., WANG, X., LU, J. e SOKOLOW, G. (2008). *Headway Acceptance Characteristics of U-Turning Vehicles at Unsignalized Intersections*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, nº2027. Washington, D.C.
- TRB – TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (2000) *Highway Capacity Manual*. Special Report 209. National Research Council, Washington, DC, EUA, 4ª ed. revisada.

---

Venina de Souza Oliveira ([veninaoliveira@gmail.com](mailto:veninaoliveira@gmail.com))

Maria Alice Prudêncio Jacques ([mapj@unb.com](mailto:mapj@unb.com))

Programa de Pós-Graduação em Transportes da Universidade de Brasília.

Campus Universitário Darcy Ribeiro – Faculdade de Tecnologia – Bloco SG-12.

CEP 70919-970, Brasília, Brasil.