

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Lúcia da Silva Osório

**CRUZAMENTO ENTRE AS AVENIDAS DOS ESTADOS E
FARRAPOS/PORTO ALEGRE/RS: EFICÁCIA DA
IMPLANTAÇÃO DE INTERSEÇÃO EM DESNÍVEL EM
COMPARAÇÃO AO USO DE SEMÁFOROS NA SOLUÇÃO
DOS CONGESTIONAMENTOS NA REGIÃO**

Porto Alegre
dezembro 2010

LÚCIA DA SILVA OSÓRIO

**CRUZAMENTO ENTRE AS AVENIDAS DOS ESTADOS E
FARRAPOS/PORTO ALEGRE/RS: EFICÁCIA DA
IMPLANTAÇÃO DE INTERSEÇÃO EM DESNÍVEL EM
COMPARAÇÃO AO USO DE SEMÁFOROS NA SOLUÇÃO
DOS CONGESTIONAMENTOS NA REGIÃO**

Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Luiz Afonso dos Santos Senna

Porto Alegre
dezembro 2010

LÚCIA DA SILVA OSÓRIO

**CRUZAMENTO ENTRE AS AVENIDAS DOS ESTADOS E
FARRAPOS/PORTO ALEGRE/RS: EFICÁCIA DA
IMPLANTAÇÃO DE INTERSEÇÃO EM DESNÍVEL EM
COMPARAÇÃO AO USO DE SEMÁFOROS NA SOLUÇÃO
DOS CONGESTIONAMENTOS NA REGIÃO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2010

Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna
PhD pela University of Leeds
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna (UFRGS)
PhD Eng. pela University of Leeds

Felipe Ferreira de Ferreira (UFRGS)
Msc. Eng. de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Raquel da Fonseca Holz (UFRGS)
Msc. Eng. Oceânica pela Universidade Federal do Rio Grande

Dedico este trabalho a meus pais, Ângelo e Elaine, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

Agradeço ao Prof. Luiz Senna, orientador deste trabalho, às Profa. Helena Cybis e Profa. Carin Schmitt pelas orientações e contribuições na construção deste trabalho.

Agradeço a meus pais, Ângelo e Elaine, pelo amor, confiança, incentivo e oportunidade.

Agradeço aos meus irmãos, Tiago e Júlia, pela simples presença e compreensão.

Agradeço ao meu namorado, Marcelo, pelos conhecimentos, idéias e apoio dedicados durante todo período de desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos amigos e colegas que compartilharam este breve e valioso período da graduação.

O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano.

Issac Newton

RESUMO

OSÓRIO, L, S. **Cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos/Porto Alegre/RS:** eficácia da implantação de interseção em desnível em comparação ao uso de semáforos na solução dos congestionamentos na região. 2010. 97 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho analisa a eficácia da substituição da interseção atualmente semaforizada por uma solução em desnível no cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos, na cidade de Porto Alegre, RS, na redução dos congestionamentos de tráfego na área. Frente ao alto custo advindo da adoção de uma interseção desse tipo, deve-se ter conhecimento sobre qual a dimensão dos seus benefícios para assim se determinar a viabilidade do projeto. Para o presente caso em estudo, são considerados como benefícios a maior fluidez da demanda de tráfego na área afetada e a conseqüente diminuição de congestionamentos e tempo de espera em fila. A demanda de tráfego do cruzamento foi estimada a partir de contagens de veículos em campo. As contagens foram expandidas, através do uso de fatores de expansão, para o volume médio diário do ano de 2009 e, aplicando-se as taxas de crescimento da frota de veículos do RS, estimou-se a demanda de 2019, considerado ano de projeto da interseção. Conhecidos os volumes de tráfego, foi possível determinar os volumes horários de projeto, volumes utilizados para caracterizar a demanda de veículos. A fim de analisar o atendimento à demanda calculada, determinou-se a capacidade em cada tipo de interseção. A capacidade do cruzamento semaforizado foi determinada através do método de Webster, que calcula a capacidade em função do fluxo de saturação e do tempo de passagem dos veículos pela aproximação. O fluxo de saturação foi estimado com o uso de histogramas de tráfego. A capacidade da solução em desnível foi determinada de forma semelhante ao cálculo de capacidade de via. A comparação entre os valores obtidos de demanda e capacidade de tráfego mostrou que, apesar dos altos volumes de tráfego no cruzamento, a interseção semaforizada existente tem capacidade de atendimento a toda a demanda atual e uma solução em desnível entre as avenidas é exagerada. Entretanto, no ano de 2019, devido às altas taxas de ocupação, o uso de semáforos torna-se impraticável e a interseção em níveis diferentes passa a ser a solução adequada para a região.

Palavras-chave: interseção em desnível; interseção semaforizada; volume de tráfego; capacidade da interseção.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: mapa de localização da interseção entre as avenidas dos Estados e Farrapos ..	12
Figura 2: representação esquemática das etapas de pesquisa	18
Figura 3: método de escolha em função dos volumes de tráfego em área rural para um cruzamento em quatro ramos e velocidade de 70 km/h	24
Figura 4: gráfico indicativo do tipo de interseção em área urbana	25
Figura 5: relação fluxo-velocidade para segmentos de rodovias de múltiplas faixas	29
Figura 6: modelo de fluxograma de tráfego	43
Figura 7: esquema ilustrativo de aplicação de fatores de expansão	45
Figura 8: representação da interseção existente entre as avenidas dos Estados e Farrapos	51
Figura 9: representação da interseção proposta para o cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos	53
Figura 10: representação dos fluxos entre as avenidas dos Estados e Farrapos	57
Figura 11: curvas de crescimento de veículos no Rio Grande do Sul	64
Figura 12: histogramas de tráfego das faixas da avenida dos Estados	68
Figura 13: histogramas de tráfego das faixas da avenida Farrapos	69
Figura 14: indicação das faixas utilizadas nos histogramas de tráfego	70
Figura 15: curva de variação da capacidade com a VFL	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: valores de K para vias rurais brasileiras	41
Quadro 2: valores de K para rodovias norte-americanas	41
Quadro 3: fatores de equivalência em carros de passeio	44
Quadro 4: contagens de tráfego na interseção entre as avenidas dos Estados e Farrapos	56
Quadro 5: volumes de veículos por hora do mês de setembro	58
Quadro 6: valores dos fatores de expansão diário parciais	58
Quadro 7: valores de VMDd do mês de setembro	59
Quadro 8: valores dos fatores de expansão semanal parciais	60
Quadro 9: valores dos fatores de expansão sazonal parciais	60
Quadro 10: valores de VMDa de 2009 nas avenidas dos Estados e Farrapos	63
Quadro 11: frota de veículos do Rio Grande do Sul	63
Quadro 12: valores de VMDa de 2019 nas avenidas dos Estados e Farrapos	65
Quadro 13: valores de VHP dos anos de 2009 e 2019	66
Quadro 14: valores dos fluxos de saturação obtidos para as avenidas dos Estados e Farrapos	71
Quadro 15: relação capacidade/demanda da interseção existente do ano de 2009	78
Quadro 16: taxas de ocupação das avenidas do cruzamento em diferentes anos	79
Quadro 17: relação capacidade/demanda da interseção proposta	80
Quadro 18: valores de VMDa de 2009 e 2019 nas avenidas dos Estados e Farrapos	81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MÉTODO DE PESQUISA	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	15
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	15
2.2.1 Objetivo Principal	15
2.2.2 Objetivos Secundários	16
2.3 HIPÓTESE	16
2.4 PRESSUPOSTO	16
2.5 DELIMITAÇÕES	16
2.6 LIMITAÇÕES	17
2.7 DELINEAMENTO	17
3 INTERSEÇÃO RODOVIÁRIA	20
3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS INTERSEÇÕES	20
3.2 MÉTODOS PARA A ESCOLHA DO TIPO DE INTERSEÇÃO	22
3.2.1 Normas Suecas	23
3.2.2 Normas Inglesas	24
3.2.3 Escolha da Interseção – Interseção em Níveis Diferentes	26
3.3 CÁLCULO DA CAPACIDADE DE INTERSEÇÕES	26
3.3.1 Interseções em Níveis Diferentes	27
3.3.2 Interseções Semáforizadas	30
4 ESTUDOS DE TRÁFEGO	38
4.1 VOLUMES DE TRÁFEGO	38
4.1.1 Comportamento dos Volumes de Tráfego ao Longo do Tempo	39
4.1.2 Determinação do Volume Horário de Projeto	40
4.2 DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO ATUAL	41
4.2.1 Contagens de Tráfego em Interseções	42
4.2.2 Expansões de Dados	44
4.3 DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO FUTURO	46
5 DESCRIÇÃO DA INTERSEÇÃO ATUAL E DA PROPOSTA	49
5.1 INTERSEÇÃO EXISTENTE	49
5.2 INTERSEÇÃO PROPOSTA	51
6 ESTIMATIVA DOS VOLUMES DE TRÁFEGO	54
6.1 ESTIMATIVA DO VOLUME DE TRÁFEGO ATUAL	54

6.1.1 Dados das Contagens de Veículos	55
6.1.2 Fator de Expansão Diária	57
6.1.3 Fator de Expansão Semanal	59
6.1.4 Fator de Expansão Sazonal	60
6.1.5 Estimativa do VMDa de 2009	61
6.2 ESTIMATIVA DO VOLUME DE TRÁFEGO FUTURO	63
6.3 ESTIMATIVA DO VOLUME HORÁRIO DE PROJETO	66
7 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRÁFEGO DAS INTERSEÇÕES	67
7.1 CAPACIDADE DA INTERSEÇÃO SEMAFORIZADA	67
7.1.1 Determinação da Capacidade Atual	67
7.1.2 Determinação da Capacidade da Interseção em 2019	74
7.2 CAPACIDADE DA INTERSEÇÃO EM DESNÍVEL	75
8 ANÁLISE DOS RESULTADOS	78
8.1 INTERSEÇÃO SEMAFORIZADA	78
8.2 INTERSEÇÃO EM DESNÍVEL	80
8.3 ESCOLHA DA INTERSEÇÃO UTILIZADO AS NORMAS SUECAS E INGLESAS	75 81
9 CONCLUSÕES	83
REFERÊNCIAS	85
APÊNDICE A	88
ANEXO A	92
ANEXO B	95

1 INTRODUÇÃO

Numa malha viária as interseções entre vias constituem pontos críticos do sistema, pois são regiões onde ocorrem descontinuidades no fluxo normal da via causada por separação ou união de veículos ao fluxo principal ou ainda, o simples cruzamentos de fluxos de direções diferentes. Por constituírem elementos que alteram o fluxo normal do tráfego, as interseções devem ser pensadas e elaboradas em conformidade com as características da área em termos funcionais e físicos.

As interseções são divididas em dois grupos principais, as em nível e as em níveis diferentes e, cada uma delas possui características distintas quanto a sua funcionalidade, operação e principalmente, capacidade e custo. Em uma interseção, quando a sua capacidade é superada pela demanda de tráfego, os efeitos desse componente no fluxo de veículos são muito grandes e, dependendo da proporção ela se torna um gargalo do sistema de transportes da região. Por outro lado, quando a demanda de veículos é superdimensionada os custos decorrentes de uma interseção de maior capacidade são superiores aos benefícios, tornando-a, assim, inviável. Considerando-se essas questões, definiu-se o estudo desenvolvido neste trabalho: análise dos benefícios proporcionados ao fluxo de veículos com a implantação de uma interseção em desnível no entroncamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos na cidade de Porto Alegre. Esse cruzamento, apresentado na figura 1, é um dos acessos de veículos provenientes do Vale dos Sinos, Serra e de outros municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre à capital e tem apresentado consideráveis congestionamentos em horas de pico.



Figura 1: mapa de localização da interseção entre as avenidas dos Estados e Farrapos (adaptado do GOOGLE EARTH, 2000)

Atualmente, na confluência entre as avenidas dos Estados e Farrapos existe uma interseção em nível operando com sistema de semáforos. Apesar da interseção semaforizada estar entre as interseções em nível com maiores capacidades de tráfego, em horários de pico, observam-se as grandes filas formadas nesse entroncamento. Na busca por alternativas de redução dos congestionamentos dessa área estuda-se neste trabalho a implantação de uma interseção em níveis diferentes do tipo trincheira, na qual uma via passa sob a outra.

Para a determinação dos benefícios dessa nova interseção, tem-se como base a comparação entre os volumes de tráfego e a capacidade da interseção. A comparação foi realizada para quatro situações diferentes, a saber: os volumes de tráfego atuais aplicados à interseção semaforizada e a interseção em desnível e os volumes de tráfego do ano de projeto (ano de

2019) aplicados, também, aos dois tipos de interseção. Para determinação da demanda foram utilizadas contagens de tráfegos realizadas em 2009 pela Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC). Como ferramentas para o desenvolvimento do estudo são usados normas e métodos descritos em manuais brasileiros.

Além da introdução, o trabalho apresenta no capítulo 2 o método de pesquisa, no qual são apresentadas a questão de pesquisa, os objetivos do trabalho, hipótese, pressuposto, delimitações, limitações e delineamento.

O capítulo 3 descreve as interseções rodoviárias. Primeiramente é descrita a classificação das interseções, apresentando as interseções em nível e em níveis diferentes. Posteriormente, são apresentadas as Normas Suecas e Inglesas para a determinação do tipo de conexão em função do volume de tráfego das vias envolvidas. Na sequência são descritos métodos para a determinação da capacidade de uma confluência. Nesse capítulo é dada ênfase aos métodos aplicados às interseções em nível semaforizadas e interseções em dois níveis, pois são os dois tipos estudados no trabalho.

Os estudos sobre o tráfego de veículos são descritos no capítulo 4. Neste capítulo constam as formas como o tráfego se comporta ao longo do tempo e o método de determinação do Volume Horário de Projeto (VHP). Na sequência, é descrito a forma de estimativa do volume de tráfego atual de uma região e projeção em anos futuros, através da aplicação de taxas de crescimento de veículos no Estado.

No capítulo 5 constam as descrições físicas e operacionais dos dois tipos de interseções estudadas no trabalho, a interseção em nível semaforizada existente e a solução em níveis diferentes proposta.

Os cálculos utilizados para estimar as demandas de tráfego no cruzamento em estudo são descritos no capítulo 6. Nesse capítulo constam as formas de obtenção dos fatores de expansão a serem aplicados nas contagens veiculares, os procedimentos para a determinação das taxas de crescimento de veículos no Rio Grande Sul e os valores das demandas obtidos.

No capítulo 7 são descritas, separadamente, as formas de determinação da capacidade de cada uma das interseções. Nesse capítulo são apresentadas as equações utilizadas, os cálculos

realizados, os fatores considerados, e por fim, os valores das capacidades resultantes para cada tipo de cruzamento.

O capítulo 8 apresenta as análises dos resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho. As análises são realizadas através de comparações entre os valores determinados para as capacidades e as demandas de tráfego. Para cada tipo de interseção foram comparadas as capacidades das suas avenidas com as demandas dos anos de 2009 e 2019.

No capítulo 9 constam as conclusões obtidas com a realização do trabalho quanto a necessidade da implantação de uma interseção com maior capacidade de tráfego que a atual no cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo são descritos os elementos que compõem o Método de Pesquisa do trabalho. Aqui são apresentados a questão de pesquisa que o estudo tem por objetivo responder, os objetivos, principal e secundários do trabalho, hipótese assumida, pressuposto, delimitações, limitações e o delineamento, esse último descrevendo todas as etapas realizadas no trabalho.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: a adoção de uma interseção em níveis diferentes para o cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos solucionaria o problema de congestionamentos em horas de pico de tráfego gerados pela demanda atual e futura da região?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a avaliação da eficácia de uma interseção em níveis diferentes para o cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos quanto à solução dos congestionamentos existentes na interseção atual (interseção em nível semaforizada) e a avaliação da eficácia dessa interseção quanto à demanda futura de tráfego.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- a) descrição da interseção existente no cruzamento em estudo;
- b) determinação da capacidade de tráfego da interseção existente;
- c) descrição da interseção proposta para o cruzamento em estudo;
- d) determinação da capacidade de tráfego da interseção proposta;
- e) determinação do tráfego futuro da região influenciada pelo cruzamento
- f) escolha do tipo de interseção para o cruzamento através da aplicação das Normas Suecas e Inglesas.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que a implantação de uma interseção em níveis diferentes solucionaria o problema de congestionamentos da região, pois iria aumentar a capacidade de tráfego da interseção tornando-a compatível com a demanda de tráfego atual e a futura do cruzamento.

2.4 PRESSUPOSTO

Os dados de contagens de tráfego realizados em campo, disponibilizados pela EPTC, foram bem colhidos e seus resultados estão muito próximo da realidade atual.

2.5 DELIMITAÇÕES

A pesquisa fica delimitada à análise somente da interseção em estudo, não sendo considerada a influência de interseções existentes posteriores ou anteriores ao cruzamento analisado. Cabe observar que um estudo do sistema de transporte como um todo, englobando interseções

próximas e influentes no fluxo de veículos do cruzamento em estudo, resultaria em valores mais próximos da realidade.

2.6 LIMITAÇÕES

As limitações do trabalho são:

- a) não serão realizadas contagens classificatórias de veículos para o trabalho, sendo utilizadas as contagens realizadas em 2009 pela EPTC;
- b) o trabalho avalia como benefício apenas a redução do congestionamento atual e futuros (ano de 2019, considerando-se o décimo ano após a abertura da interseção) de veículos na área.

2.7 DELINEAMENTO

O delineamento do trabalho abrangeu as seguintes etapas:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) descrição da interseção atual do cruzamento e da proposta;
- c) estimativa do volume de tráfego atual;
- d) estimativa do volume de tráfego futuro;
- e) determinação da capacidade da interseção atual e da proposta;
- f) avaliação da eficácia da interseção atual e da proposta;
- g) conclusões.

As etapas descritas acima são apresentadas de forma esquemática na figura 1. Cada etapa é descrita a seguir.

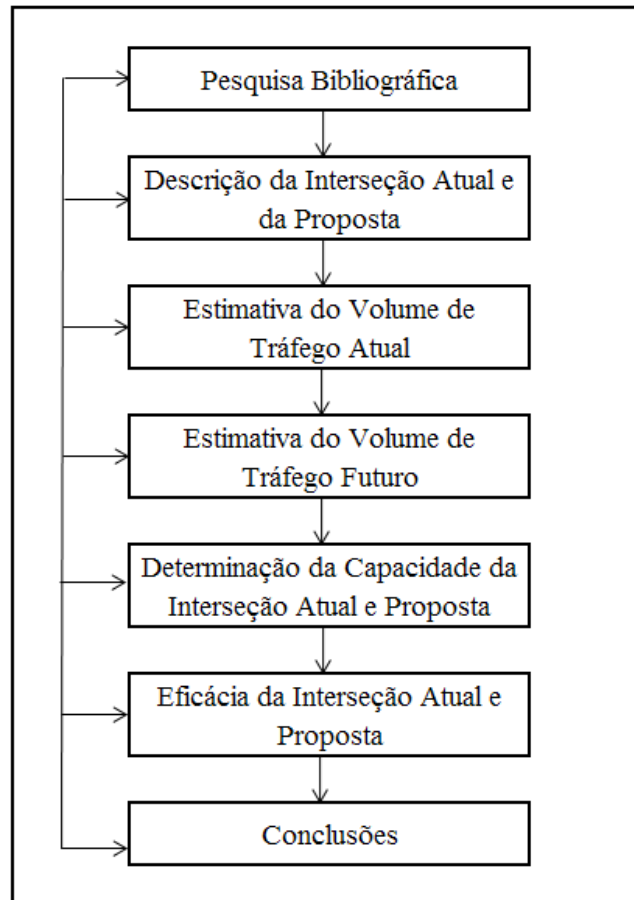


Figura 2: representação esquemática das etapas da pesquisa

A pesquisa bibliográfica foi a primeira etapa desenvolvida no trabalho de diplomação. Nesse período foram aprofundados os conhecimentos sobre os tipos básicos de interseções, as formas de definir a interseção adequada para o volume de tráfego da confluência e capacidade de interseções em nível semaforizadas e em desnível. Nesta primeira etapa também se adquiriu conhecimento sobre o comportamento dos volumes de tráfego ao longo do tempo, formas de determinação de número de veículos através de contagens de tráfego e o tratamento dos dados colhidos em campo por meio de expansão de valores.

A segunda etapa refere-se à descrição das interseções, a existente e a proposta. Neste item foram expostos elementos e características de cada tipo, tais como: a localização da interseção, as dimensões e quantidades de faixas de tráfego de cada avenida.

Na etapa seguinte, chamada de estimativa do volume de tráfego atual, procedeu-se a determinação da demanda de tráfego atual na interseção e, para tanto, foram utilizadas as contagens volumétricas e classificatórias realizadas pela EPTC em 2009. Nesta etapa foram

calculados os fatores de expansão, utilizados para a determinação do tráfego atual a partir de contagens veiculares de apenas um dia. Os fatores de expansão foram calculados com dados de contagens de veículos de um posto permanente de contagens do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Posteriormente à determinação do volume de tráfego atual, através da expansão de dados colhidos em campo, pode-se determinar o tráfego futuro da interseção. A determinação desse tráfego baseou-se na extrapolação de tendências, através de projeções matemáticas, utilizando séries históricas de crescimento do volume de tráfego da região.

Após as etapas de estimativa dos volumes de tráfego do cruzamento em estudo, foram determinadas as capacidades de tráfego das interseções atual e proposta. Nesta fase foram aplicados os conhecimentos adquiridos na primeira etapa e assim, determinou-se a capacidade da interseção atual do entroncamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos e da interseção proposta, a interseção em dois níveis tipo trincheira.

Na fase de avaliação da eficácia da interseção atual e futura, com posse de valores de capacidade dos dois tipos de interseção e da demanda de tráfego dos dois tempos (2009 e 2019), foi possível avaliar a necessidade de uma interseção em desnível para o entroncamento em estudo. Nesta fase foi analisada para a situação de demanda atual a necessidade de alteração da interseção existente e para a situação futura (ano de 2019) a necessidade de implantação de uma nova interseção com maior capacidade.

Após o desenvolvimento das seis fases descritas acima, chega-se à etapa de conclusões do trabalho. Nesta etapa é apresentada a conclusão se, de acordo com os procedimentos descritos na literatura na qual o presente estudo foi baseado, os gastos com a implantação de uma nova interseção para o cruzamento em estudo é justificável frente ao volume de tráfego, concluindo a sua necessidade hoje e a necessidade no futuro baseado em comparação de demanda e capacidade de tráfego.

3 INTERSEÇÃO RODOVIÁRIA

Interseção rodoviária é um elemento que compõe a infraestrutura do sistema de transportes e pode ser definida como “[...] a área em que duas ou mais vias se unem ou se cruzam, abrangendo todo o espaço destinado a facilitar os movimentos dos veículos que por ela circulam.”. As interseções são regiões especiais que “[...] constituem elementos de descontinuidade em qualquer rede viária e representam situações críticas que devem ser tratadas de forma especial.” (BRASIL, 2005, p. 39).

O emprego de um determinado tipo de interseção deve ser cuidadosamente estudado e “[...] deve-se estabelecer os objetivos que se pretende alcançar com o projeto das interseções, geralmente relacionados com a capacidade, a segurança e os custos de implantação.”. A escolha de um tipo de interseção “[...] dependerá principalmente da correlação existente entre a topografia do terreno, os volumes de tráfego e sua composição, a capacidade das vias, a segurança e os custos de implantação e de operação.” (BRASIL, 2005, p. 39-40). Nos próximos itens são detalhadas informações necessárias para o estudo e projeto de uma interseção.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS INTERSEÇÕES

Existem diversos tipos de interseções a serem utilizadas para a união ou cruzamento de vias e esses tipos são agrupados segundo certas semelhanças. O Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, DAER, (RIO GRANDE DO SUL, 1991, p. 25) explica que:

São vários os critérios utilizados [para classificar as interseções], todos eles válidos em vista do aspecto que procuram destacar. É preciso, no entanto, observar que às vezes, uma interseção participa das características de mais de um dos tipos fundamentais [...], especialmente quando os problemas de circulação são completos. Basicamente, há dois grandes grupos definidos em função dos planos em que se realizam os movimentos de cruzamento: interseções em nível e interseções em níveis diferentes.

Interseções em nível são aquelas nas quais há apenas um plano para realizar os movimentos. No Manual de Projeto de Interseções do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT, consta que as interseções em nível são classificadas da seguinte forma (BRASIL, 2005, p. 89-90, grifo do autor):

a) Em função do número de ramos:

Interseção de três ramos ou “T”: interseção em nível com três ramos. A designação “T” decorre de ser comum que um dos ramos se situe no prolongamento de outro;

Interseção de quatro ramos: interseção em nível com quatro ramos;

Interseção de ramos múltiplos: interseção em nível com cinco ou mais ramos.

b) Em função das soluções adotadas:

Mínima: solução sem nenhum controle especial, aplicável normalmente onde o volume horário total (dois sentidos) em termos de UCP¹ da via principal for inferior a 300 e o da via secundária for inferior a 50;

Gota: solução que adota uma ilha direcional do tipo “gota” na via secundária com a função de disciplinar os movimentos de giro à esquerda;

Canalizada: solução em que os movimentos do tráfego têm suas trajetórias definidas pela sinalização horizontal, por ilhas e outros meios, com o objetivo de minimizar os seus conflitos;

Rótula (rotatória): solução em que o tráfego se move no sentido anti-horário ao redor de uma ilha central;

Rótula vazada: solução em que as correntes diretas da via principal atravessam uma ilha central, em torno da qual as demais correntes circulam no sentido anti-horário.

c) Em função do controle de sinalização:

Sem sinalização semafórica (luminosa): típica de zonas rurais onde o fluxo é controlado por sinalização horizontal e vertical;

Com sinalização semafórica (luminosa): típica de zonas urbanas onde o fluxo é controlado por semáforo.

Sobre o segundo grupo, as interseções em níveis diferentes, o DAER (RIO GRANDE DO SUL, 1991, p. 27) afirma que:

[...] podem ser de dois tipos gerais: quando existe, apenas, o cruzamento das vias interceptantes em níveis diferentes por meio de estruturas de separação dos greides,

¹ UCP: unidades de carro de passeio.

e quando, além do cruzamento em desnível, a interseção possui pistas separadas que se ligam com seus distintos ramos para conduzir os veículos de uma via a outra.

Para as interseções em nível diferentes sem ramos de conexão, o Manual do DNIT (BRASIL, 2005, p. 93) explica que “[...] não há trocas de fluxos de tráfego entre as rodovias que se interceptam, ou seja, o cruzamento em desnível não tem ramos de conexão.”. Já, as interseções com ramos de ligação são designadas como interconexões e podem ter diversas configurações, de acordo com o mesmo Manual:

Interconexão em “T” ou “Y”: interconexão com três ramos. O aspecto geral do projeto faz com que seja designada por “T” ou “Y”. Quando uma das correntes de tráfego de um ramo executar giro próximo de 270° a interconexão é designada por “trombeta”;

Diamante: interconexão em que a via principal apresenta, para cada sentido, uma saída à direita antes do cruzamento e uma entrada à direita após o mesmo. As conexões na via secundária são interseções em nível;

Trevo completo: interconexão em que, nos quatro quadrantes, os movimentos de conversão à esquerda são feitos por laços (loops) e à direita por conexões externas aos laços;

Trevo parcial: interconexão formada pela eliminação de um ou mais ramos de um trevo completo, apresentando pelo menos um ramo em laço;

Direcional: interconexão que utiliza ramos direcionais para os principais movimentos de conversão à esquerda. Quando todos os movimentos de conversão são feitos por ramos direcionais a interconexão diz-se “totalmente direcional”;

Semidirecional: interconexão que utiliza ramos semidirecionais para os principais movimentos de conversão à esquerda;

Giratório: interconexão que utiliza uma interseção rotatória (rótula) na via secundária.

3.2 MÉTODOS PARA A ESCOLHA DO TIPO DE INTERSEÇÃO

A escolha da interseção mais adequada para um cruzamento de vias não é uma escolha simples, pois envolve estudos de diferentes áreas, de forma que o DNIT (BRASIL, 2005, p. 101) explica que “[...] essa escolha se constitui num problema complexo, que envolve volumes de tráfego, velocidades, diferentes tipos de veículos, aspectos topográficos, orçamentos e, sobretudo, o grau de aleatoriedade na distribuição do tráfego [...]”. Apesar da complexidade, no Manual consta que:

[...] [existem] condições gerais que podem justificar a adoção de um ou outro tipo específico, dependendo de fatores de terreno, de tráfego, de circulação, de segurança e de custos. O exame desses fatores conduz a uma série de critérios de seleção para o tipo de interseção a adotar em cada caso [...].

Atualmente, o Manual do DNIT aponta duas normas diferentes para a escolha do tipo de interseção para um cruzamento, as Normas Suecas e as Normas Inglesas, descritas a seguir.

3.2.1 Normas Suecas

Desenvolvidos na Suécia, os critérios dessas normas “[...] orientam por meio de fórmulas, gráficos e recomendações diversas, quais os tipos de solução a adotar, uniformizando os projetos em suas linhas gerais.” (BRASIL, 2005, p. 101). As Normas Suecas separam as interseções em dois grupos fundamentais, as interseções maiores e as menores.

Para a aplicação dessas normas no Manual do DNIT (BRASIL, 2005, p. 101-102) consta que “[...] as interseções de rodovias foram divididas em sete tipos, designados de A até G. Levando em consideração as condições de trânsito nas rodovias de menor porte, foram agrupadas em interseções menores, A, B, C, G, e interseções maiores, D, E, F.”. Sobre as interseções menores, o DNIT explica que:

As interseções menores caracterizam-se por não incluírem medidas substanciais para a melhoria da circulação dos fluxos de tráfego entre as rodovias.

As interseções dos tipos A, B, C são usadas em rodovias rurais e urbanas, tanto na rede principal como na rede local. As interseções do tipo G são recomendadas nestas normas apenas para centros urbanos.

Sobre as interseções maiores, o DNIT (BRASIL, 2005, p. 105) define que “[...] caracterizam-se pelas medidas tomadas para a melhoria da circulação do tráfego entre as rodovias principal e secundária. Estas medidas causam um aumento significativo do nível de segurança do trânsito.”.

De acordo com as Normas Suecas, a escolha do tipo de interseção pode ser em função de dois critérios, volume de tráfego das vias ou em função da segurança do trânsito (BRASIL, 2005, p. 115-117). A figura 2 apresenta a forma de escolha do tipo de interseção em função dos

volumes de tráfego, para um cruzamento com quatro ramos e vias com velocidades iguais a 70 km/h.

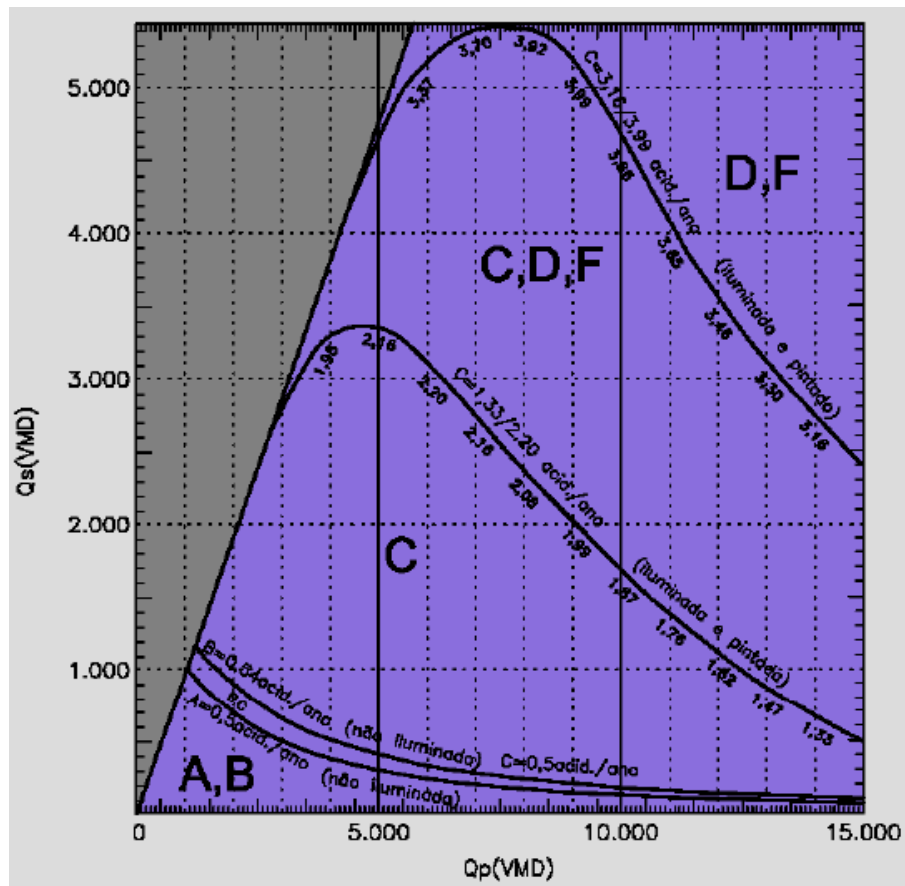


Figura 3: método de escolha em função dos volumes de tráfego em área rural para um cruzamento com quatro ramos e velocidades iguais a 70 km/h (BRASIL, 2005, p. 126)

Na figura 2, Q_p e Q_s são, respectivamente, os volumes médios diários de tráfego da via principal e secundária.

3.2.2 Normas Inglesas

De acordo com as Normas Inglesas as interseções podem ser classificadas em três categorias distintas, as interseções com prioridade, as rótulas e as interseções com separação de níveis. Na escolha do tipo de interseção a ser empregada deve-se considerar diversas características,

pois “Diferentes tipos de interseções são indicados em função dos volumes de tráfego, velocidades e limitações locais.”. Segundo as Normas Inglesas (BRASIL, 2005, p. 130-131):

Os acessos e interseções de menor importância são melhor atendidos por projetos tipo T simples ou deslocados para atender ambos os lados da rodovia. Para os casos de maior porte pode ser conveniente projetar interseções canalizadas, rotatórias, interconexões, ou mesmo estabelecer controle por semáforos em casos extremos. A separação de níveis é necessária nas interseções com grande volume de tráfego, devendo-se empregar soluções menos onerosas nos demais casos. Em trechos de rodovias de alta velocidade deve-se evitar, tanto quanto possível, interseções que impliquem em quedas bruscas de velocidade na rodovia principal, rótulas e o uso de controle por semáforos.

Segundo as Normas Inglesas a escolha de um tipo de interseção pode ser feita a partir dos volumes de tráfego das vias envolvidas no cruzamento, a figura 3 apresenta um gráfico para a determinação do tipo a ser usado.

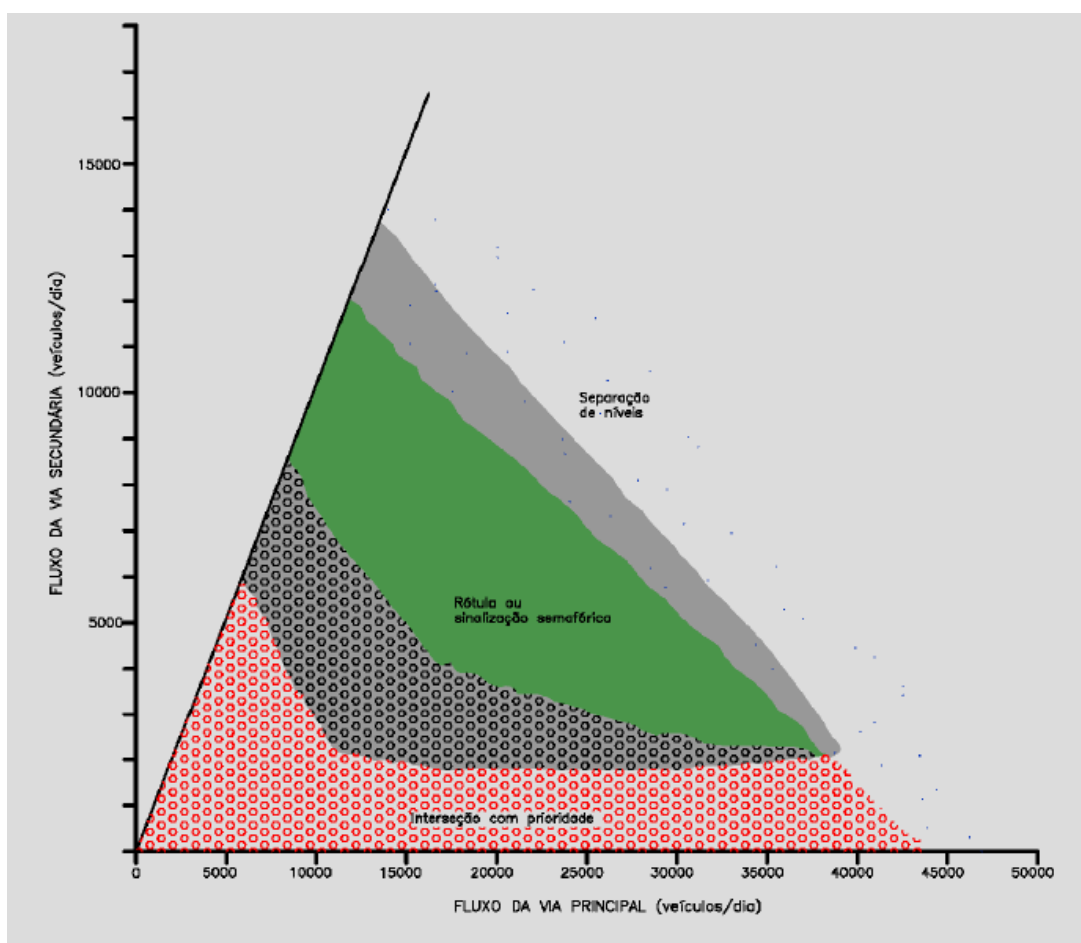


Figura 4: gráfico indicativo do tipo de interseção em área urbana (BRASIL, 2005, p. 132)

3.2.3 Escolha da Interseção – Interseção em Níveis Diferentes

Uma interseção em desnível, quando comparada com uma em nível, apresenta um custo de execução significativamente maior, por este motivo seu emprego deve ser justificado. Segundo o DNIT (BRASIL, 2005, p. 403), para o emprego de uma interseção em níveis diferentes sem ramos “[...] deverão ser considerados em conjunto fatores como: volume potencial de tráfego de conversão (fator diretriz), nível de serviço, custos e condições do local.”.

Apesar do emprego de normas anteriormente citadas para a determinação do tipo de interseção a ser adotada, o uso de interconexões deve ser justificada através de outros critérios. Esses critérios são relacionados à existência de vias expressas, a ocorrência de congestionamentos (o volume de tráfego), o número de acidentes ocorridos na interseção (segurança no cruzamento), a topografia da região e os benefícios aos usuários das vias (BRASIL, 2005, p. 133).

Entretanto, muitas vezes basta apenas um deles para a escolha do tipo de interseção. De acordo com o DNIT (BRASIL, 2005, p. 405, grifo nosso), dentre os critérios acima citados, assume-se que “A principal justificativa para uma interconexão é o **volume de tráfego** elevado associado à interferência das suas diversas correntes, excedendo a capacidade de uma interseção em nível, considerados também os índices prováveis de acidentes e danos materiais e pessoais.”.

3.3 CÁLCULO DE CAPACIDADE DE INTERSEÇÕES

A capacidade das rodovias refere-se à quantidade de veículos acomodados em uma seção da via. O Highway Capacity Manual, HCM, define capacidade como sendo a quantidade máxima de veículos que podem cruzar uma seção da via, durante um período determinado em que as condições de tráfego e dispositivos de controle não se alteram (UNITED STATES OF AMERICA, 2000, p. 2-2).

A capacidade é determinada como uma taxa de fluxo de tráfego, Demarchi e Setti (2009, p. [6], grifo do autor) afirmam que:

A capacidade é determinada em termos de uma **taxa de fluxo** de veículos, expressa em veículos por hora e determinada a partir do valor correspondente à razão entre o número de veículos que cruzam a seção em análise num período de tempo, normalmente os 15 minutos mais congestionados de uma hora.

Em uma interseção, a capacidade determina o volume de tráfego que ela acomoda, de forma que “As interseções devem ser projetadas para acomodar os volumes de tráfego determinados para o ano de projeto, normalmente escolhido como o décimo ano após o ano de abertura.” (BRASIL, 2005, p. 148). A seguir são descritos métodos de cálculo para a determinação da capacidade de interseções semaforizadas e de interseções em níveis diferentes.

3.3.1 Interseções em Níveis Diferentes

Em uma interseção em desnível há a separação dos fluxos de veículos, o qual, segundo o DNIT (BRASIL, 2005, p. 407), “[...] elimina o cruzamento das correntes de tráfego direto e minimiza os conflitos resultantes. Tal dispositivo favorece sensivelmente a circulação na interseção e resolve, com frequência, os problemas de congestionamento.”.

No projeto de uma interseção em desnível deve-se escolher qual via terá passagem por cima e qual terá por baixo, no Manual do DNIT (BRASIL, 2005, p. 408) são considerados os seguintes pontos:

- Em geral os projetistas são orientados pela necessidade de economia, que é obtida através de soluções que se adaptem à topografia existente, não só ao longo das rodovias que se cruzam, mas em toda a área a ser usada pelos ramos de acesso. Portanto, é preciso considerar alternativas para a área da interconexão como um todo, para decidir a questão: via por cima ou via por baixo.
- Há certa vantagem para o tráfego que passa sob a estrutura. Quando o motorista se aproxima, a estrutura se avoluma em sua visão e torna óbvio o cruzamento à sua frente, dando-lhe um aviso antecipado da probabilidade de conexões do entroncamento.
- O tráfego direto da rodovia que passa por cima recebe preferência estética. Há visão ampla a partir da aproximação da estrutura, oferecendo ao motorista a mínima sensação de restrição e confinamento.

Em uma interseção em desnível, a análise de sua capacidade se assemelha à análise da capacidade das vias, não havendo cálculos especiais para esses elementos. Por acomodar alto

Cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos/Porto Alegre/RS: eficácia da implantação de interseção em desnível em comparação ao uso de semáforos na solução dos congestionamentos na região.

volume de tráfego, a “Capacidade para o trânsito direto [é] igualável à capacidade das vias fora da interseção.” (BRASIL, 2005, p. 137).

Existem diferentes fatores que influem na determinação da capacidade de uma via, o HCM (UNITED STATES OF AMERICA, 2000, p. 2-4 – 2-6) descreve como fatores: as condições da rodovia (tais como, número de faixas de tráfego e suas larguras, características dos alinhamentos horizontal, vertical e velocidade de operação), condições de tráfego (tipo de veículo e distribuição do fluxo), controle de acessos à via principal e a tecnologia empregada na operação do sistema de transportes. Portanto, previamente à determinação da capacidade de uma via, deve-se, de acordo com as suas características, a identificar com um dos padrões de rodovia determinadas pelo HCM.

Entre os padrões de rodovias indicadas pelo HCM, as vias denominadas de *multilane highways* têm, em geral, suas velocidades limitadas no intervalo de 60 km/h a 90 km/h, possuem de quatro a seis faixas de tráfego (contando as duas direções) e podem ou não possuir divisão física entre os diferentes fluxos (UNITED STATES OF AMERICA, 2000, p. 12-1). Segundo o HCM, quando comparadas *freeways* e *multilane highways* (rodovia de múltiplas faixas) a maior diferença deve-se ao controle parcial de acessos das rodovias de múltiplas faixas, sendo este menos rígido que em *freeways*.

De acordo com o HCM (UNITED STATES OF AMERICA, 2000, p. 12-4), a capacidade de uma via pode ser determinada em função da velocidade de fluxo livre da via. O manual americano apresenta essa relação em forma de gráfico, a figura 4 traduz a relação.

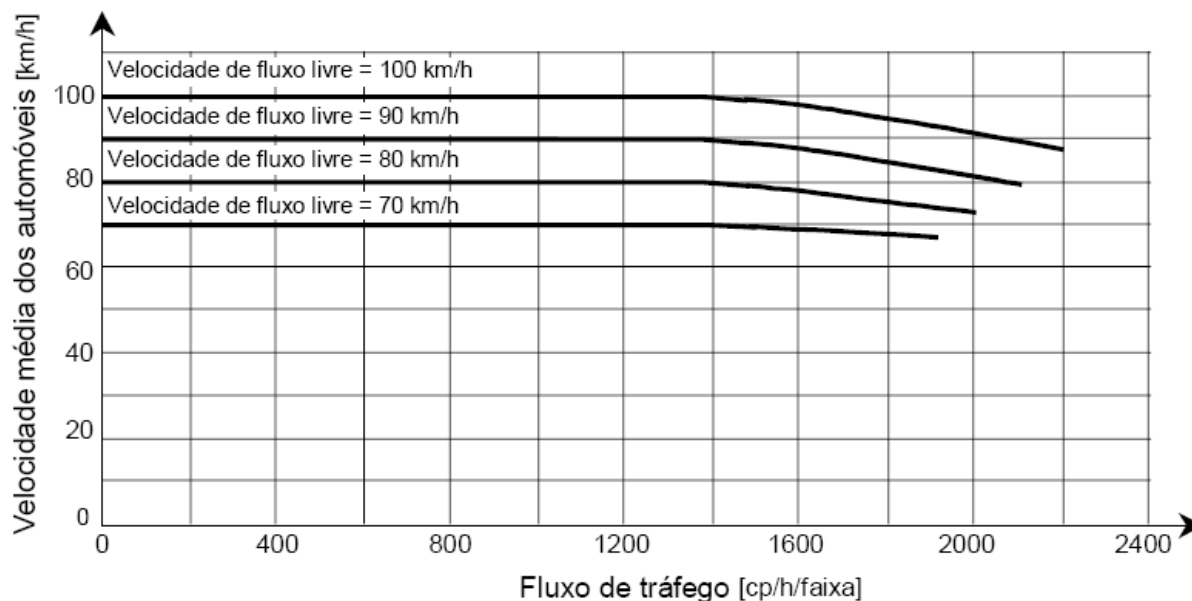


Figura 5: relação fluxo-velocidade para segmentos de rodovias de múltiplas faixas (DEMARCHI; SETTI, 2009, p. [9])

Na figura 4, cada curva corresponde a uma velocidade de fluxo livre e o final da curva indica, no eixo das abcissas, a capacidade da via. Portanto, a capacidade de uma via, com velocidade de fluxo livre de 100 km/h, é de 2.200 carros de passeio/hora/faixa (UNITED STATES OF AMERICA, 2000, p. 12-3).

A velocidade de fluxo livre pode ser definida como a “[...] velocidade média dos veículos de uma determinada via, quando apresenta volumes baixos de tráfego e não há imposição de restrições quanto às suas velocidades, nem por interação veicular, nem por regulamentação de trânsito.” (BRASIL, 2006, p. 24). Quando não é possível medir a velocidade de fluxo livre em campo, ela pode ser estimada pela equação 1 (BRASIL, 2006, p. 269):

$$VFL = BVFL - f_f - f_{el} - f_{cc} - f_A \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

VFL = estimativa da velocidade de fluxo livre (km/h);

BVFL = valor básico da velocidade de fluxo livre (km/h);

f_f = fator de ajustamento para largura de faixa (km/h);

f_{el} = fator de ajustamento para espaço livre lateral (km/h);

f_{cc} = fator de ajustamento para o tipo de canteiro central (km/h);

f_A = fator de ajustamento para o número de acessos (km/h).

Segundo o DNIT, o valor da BVFL pode ser estimado das seguintes maneiras (BRASIL, 2006, p. 298):

[...] pela medição da velocidade em uma rodovia em condições semelhantes. Pode também ser estimado em função dos limites de velocidades permitidos pela sinalização. Pesquisas recentes feitas nos Estados Unidos mostram que para velocidades limites de 65 a 70km/h pode-se adotar para a BVFL valores 11 km/h mais altos [...].

Os valores dos fatores de ajustamentos da equação 1 dependem das características físicas da via e são descritos nos quadros apresentados no anexo A.

3.3.2 Interseções SemafORIZADAS

Uma interseção semaforizada é, segundo o Manual de Semáforos do Departamento Nacional de Trânsito, DENATRAN, (BRASIL, 1979, p. 14), um cruzamento no qual “[...] um dispositivo de controle de tráfego que, através de indicações luminosas transmitidas para motoristas e pedestres, alterna o direito de passagem de veículos e/ou pedestres em interseções de duas ou mais vias.”. A indicação luminosa (verde, amarelo ou vermelho), de acordo com o DENATRAN (BRASIL, 1979, p 17, grifo do autor), quando “[...] aplicada a uma ou mais correntes de tráfego (movimento), é denominada **fase**. O tempo total, em segundos, para a completa sequência de sinalização, numa interseção, é denominada **ciclo**.”.

A capacidade de uma interseção semaforizada é definida como “[...] o número máximo de veículos capazes de atravessar o cruzamento durante um período de tempo.”. Assim sendo, “A capacidade de uma via interrompida por semáforo é determinada pelo fluxo de saturação (característica da aproximação) e pelo tempo de verde oferecido pelo semáforo que a controla [...]” (BRASIL, 1979, p. 62).

O cálculo de capacidade de interseções semaforizadas descrito nesse Manual segue o Método de Webster, pois, de acordo com o DENATRAN (BRASIL, 1979, p. 61), este método “[...] aborda praticamente todos os fatores que interferem no valor da capacidade e apresenta cálculos complementares que permitem uma avaliação mais precisa das condições encontradas, como reserva de capacidade, o grau de saturação e outros.”. A capacidade de uma interseção sinalizada por semáforo é dada pela equação (BRASIL, 1979, p. 63):

$$\text{capacidade} = S \times \frac{g_{ef}}{C} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

Capacidade = (veíc./htv);

S = fluxo de saturação (veíc./htv);

C = tempo do ciclo (segundos);

g_{ef} = tempo de verde efetivo (segundos).

Na equação 2, “O fluxo de saturação é definido como sendo o fluxo que seria obtido se houvesse uma fila de veículos na aproximação e a ela fossem dados 100% do tempo de verde do cruzamento (escoamento ininterrupto)”. Sua unidade é em veíc./htv, ou seja, o número de veículos que passam pela interseção em uma hora de tempo verde. Já a variável tempo de verde efetivo é definido como o período “[...] no qual ocorre o escoamento de veículos na taxa de saturação [...]”. (BRASIL, 1979, p. 62-63). O tempo de verde efetivo pode ser determinado pela seguinte equação:

$$g_{ef} = g + t_a - I \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

g_{ef} = tempo de verde efetivo (segundos);

g = tempo de verde normal (segundos);

t_a = tempo de amarelo (segundos);

I = tempo perdido por fase (segundos).

A variável tempo perdido por fase (I) presente na equação 3 “[...] é definida como sendo a diferença entre o período de verde efetivo e a soma dos tempos de verde e amarelo.”. Entende-se como verde efetivo aquele que é efetivamente utilizado para escoamento do tráfego, pois “Devido aos efeitos de reação/aceleração no início do período verde (atrasos iniciais) e desaceleração no período do amarelo (redução de fluxo), o tempo disponível não é totalmente aproveitado e parte dele é perdido.” (BRASIL, 1979, p. 64-65).

O fluxo de saturação, “Sempre que possível [...] deve ser obtido no local, através de medidas diretas feitas por meio de histogramas de tráfego.” (BRASIL, 1979, p. 141). Para a determinação dos histogramas de tráfego é necessário fazer contagens de veículos que passam em uma interseção semaforizada. O Manual do DENATRAN (BRASIL, 1979, p. 148-149) explica que os números de veículos “[...] devem ser anotados numa planilha em intervalos de cinco em cinco segundos; nessa planilha os valores observados na contagem deverão estar associados ao tipo de movimento observado [...]”. Para se obter um valor de fluxo de saturação válido “Deverão ser feitas pelo menos cinco medidas de contagens de veículos nas aproximações [...]” e, nos períodos que a coleta de dados é realizada “[...] o fluxo deverá ser contínuo e sem interrupções.”.

A elaboração do histograma de tráfego é feita plotando-se as taxas de escoamento de veículos (em cada intervalo de cinco segundos) pelo tempo. O valor do fluxo de saturação é a média aritmética das taxas de escoamento de veículos, desconsiderando as taxas do primeiro e do último intervalo coletado (BRASIL, 1979, p. 150).

Entretanto, quando não é possível determinar o fluxo de saturação em campo, esse pode ser definido, para aproximações padrões, pela equação abaixo:

$$S = 525 \times L \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

S= fluxo de saturação (ucp/htv);

L = largura da aproximação (metros).

O DENATRAN (BRASIL, 1979, p. 142) indica em seu Manual que o uso da equação 4 é restrito para “[...] aproximações consideradas como tipo padrão, ou seja, aproximações onde não haja veículos estacionados, e onde o tráfego de conversão à esquerda é nulo, e o da direita é no máximo 10% do tráfego total.”. Para aproximações com características diferentes das do tipo padrão “[...] a aplicação da equação 4 [...] continua válida, porém o valor do fluxo de saturação obtido deverá sofrer uma correção [...]”.

Como descreve a equação 2, a capacidade de um cruzamento semaforizado é em função do tempo de verde e do tempo do ciclo da interseção. Quando se deseja implantar um semáforo novo esses tempos devem ser determinados. De acordo com o Manual do DENATRAN (BRASIL, 1979, p. 74), o tempo do ciclo ótimo de uma aproximação semafórica é definido conforme a equação 5:

$$C_o = \frac{1,5 \times T_p + 5}{1 - Y} \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

C_o = tempo de ciclo ótimo da interseção (segundos);

T_p = tempo total perdido no ciclo (segundos);

Y = somatório das taxas de ocupação críticas de cada fase da interseção.

O tempo perdido total, presente na equação 5, é definido como a “[...] a soma dos tempos perdidos para cada uma de suas fases; caso haja vermelho geral, este tempo é considerado perdido [...]” (BRASIL, 1979, p. 65).

A taxa de ocupação é determinada segundo a equação 6 (BRASIL, 1979, p. 66):

$$y = \frac{q}{S} \quad (\text{equação 6})$$

Onde:

y = taxa de ocupação da aproximação;

q = demanda da aproximação (ucp/h);

S = fluxo de saturação da aproximação (ucp/htv).

Na equação 5, o valor de Y é o somatório das taxas de ocupação críticas, ou seja, é a soma dos maiores valores de y de cada fase (BRASIL, 1979, p. 68). Uma vez definidos o tempo de ciclo e as taxas de ocupação das aproximações, pode-se, em função desses, definir o tempo necessário de verde efetivo através da equação 7 (BRASIL, 1979, p. 75):

$$g_{ef} = \frac{y_{crit}}{Y} \times (C_o - T_p) \quad (\text{equação 7})$$

Onde:

g_{ef} = tempo de verde efetivo (segundos);

y_{crit} = taxa de ocupação crítica da aproximação;

Y = somatório das taxas de ocupação críticas de cada fase da interseção;

C_o = tempo de ciclo ótimo da interseção (segundos);

T_p = tempo total perdido no ciclo (segundos).

A aplicação da equação 5 do Método de Webster é restringida a valores de Y menores que um e, “Embora o tempo de ciclo ótimo também dependa do tempo total perdido (T_p), pode-se dizer que, de maneira geral, valores de Y superiores a 0,85 têm grande possibilidade de produzir tempos de ciclo inviáveis.” (BRASIL, 1979, p. 82). Na impossibilidade de aplicação do Método de Webster, metodologias mais atuais de cálculo semafórico fornecem, entre outros, valores de capacidade e qualidade de operação do cruzamento.

Uma metodologia muito conhecida é a descrita no *Highway Capacity Manual* (HCM), que baseia-se na determinação da capacidade e nível de serviço² de operação da interseção semaforizada para condições conhecidas ou não. (UNITED STATES OF AMERICA, 2000, p. 16-1). De acordo com Rodrigues (2007, p. [2]) o método indica um nível de serviço de acordo com os atrasos médios dos veículos, de forma que (RODRIGUES, 2007, p. [2]):

Nível de Serviço A: [atraso] menor que 10 seg./veíc.;

Nível de Serviço B: [atraso] entre 10 e 20 seg./veíc.;

Nível de Serviço C: [atraso] entre 20 e 35 seg./veíc.;

Nível de Serviço D: [atraso] entre 35 e 55 seg./veíc.;

Nível de Serviço E: [atraso] entre 55 e 80 seg./veíc.;

Nível de Serviço F: [atraso] maior que 80 seg./veíc.;

Entretanto “Este atraso médio possui complexa metodologia de cálculo que envolve uma série de variáveis independentes e procedimentos como, por exemplo, pesquisa de perfil de ciclo.” (RODRIGUES, 2007, p. [2]).

Outra metodologia de análise de semáforos é a *Intersection Capacity Utilization* (ICU), onde calcula-se um valor de ICU, que é o resultado da “[...] soma do tempo necessário para atender a todos os movimentos em uma interseção, caso esta fosse semaforizada com um tempo de ciclo padrão, dividido pelo tempo total disponível.” (RODRIGUES, 2007, p. [2]).

O valor do ICU indica um nível de serviço (diferente dos classificados no HCM), e sua análise é feita da seguinte forma (HUSCH; ALBECK, 2003, p. 6 – 7):

² O HCM (UNITED STATES OF AMERICA, 2000, p. 2-2 – 2-3) define nível de serviço como uma medida qualitativa das condições operacionais do fluxo de tráfego. É classificado de A à F, sendo o nível A representante das melhores condições de operação da via e o F das piores condições de tráfego.

- a) Nível de serviço A, $ICU \leq 55\%$: a interseção não tem congestionamento. Um tempo de ciclo de 80 segundos ou menos, opera o tráfego de forma eficiente. Todo o tráfego é atendido no primeiro ciclo. Distúrbios no tráfego, acidente e interrupções nas faixas podem ser suportados com o mínimo de congestionamento. Essa interseção pode acomodar 40% a mais de tráfego em todos os seus movimentos.
- b) Nível de serviço B, $55\% < ICU \leq 64\%$: a interseção tem muito pouco congestionamento. Quase todo o tráfego pode ser atendido no primeiro ciclo. Um ciclo de 90 segundo de duração ou menos opera o tráfego de maneira eficiente. Distúrbios no tráfego, acidente e interrupções nas faixas podem ser suportados com o mínimo de congestionamento. Essa interseção pode acomodar 30% a mais de tráfego em todos os seus movimentos.
- c) Nível de serviço C, $64\% < ICU \leq 73\%$: a interseção é pouco congestionamento. A maioria do tráfego pode ser atendida no primeiro ciclo. Um ciclo de 100 segundo de duração ou menos opera o tráfego de maneira eficiente. Distúrbios no tráfego, acidente e interrupções nas faixas podem causar algum congestionamento. Essa interseção pode acomodar 20% a mais de tráfego em todos os seus movimentos.
- d) Nível de serviço D, $73\% < ICU \leq 82\%$: a interseção normalmente não tem congestionamento. A maioria do tráfego deve ser atendida no primeiro ciclo. Um ciclo de 110 segundo de duração ou menos opera o tráfego de maneira eficiente. Distúrbios no tráfego, acidente e interrupções nas faixas podem causar congestionamentos significativos. Uso de tempos não otimizados causam congestionamentos. Essa interseção pode acomodar 10% a mais de tráfego em todos os seus movimentos.
- e) Nível de serviço E, $82\% < ICU \leq 91\%$: a interseção está no limite das condições de congestionamentos. Muitos veículos são atendidos no primeiro ciclo. Um ciclo de 120 segundo de duração é requerido para operar o tráfego. Mínimos distúrbios no tráfego, acidente e interrupções nas faixas podem causar congestionamentos significativos. Uso de tempos não otimizados podem causar congestionamentos significativos. Essa interseção tem menos de 10% da sua capacidade de reserva disponível.
- f) Nível de serviço F, $91\% < ICU \leq 100\%$: a interseção está acima da sua capacidade e provavelmente tem congestionamentos com duração de 15 a 60 minutos. Filas residuais no tempo de verde são comuns. Um ciclo com duração maior que 120 segundos é requerido para operar o tráfego. Mínimos distúrbios no tráfego, acidentes ou obstruções de faixas podem aumentar os congestionamentos. Uso de tempos não otimizados podem aumentar congestionamentos.
- g) Nível de serviço G, $100\% < ICU \leq 109\%$: a interseção está 9% acima da sua capacidade e provavelmente tem congestionamentos com duração de 60 a 120 minutos. Longas filas são comuns. Um ciclo com duração maior que 120 segundos é requerido para operar o tráfego. Motoristas podem escolher rotas alternativas, se existirem, ou fazer menos viagens no horário de pico. Uma

programação semafórica atuada pelo tráfego pode contribuir com a priorização de certos movimentos.

g) Nível de serviço H, ICU > 109%: a interseção está 9% ou mais acima da sua capacidade e provavelmente tem congestionamentos com duração superior a 120 minutos. Longas filas são comuns. Um ciclo com duração maior que 120 segundos é requerido para operar o tráfego. Motoristas podem escolher rotas alternativas, se existirem, ou fazer menos viagens no horário de pico. Uma programação semafórica atuada pelo tráfego pode contribuir com a priorização de certos movimentos.

Sobre essas duas últimas metodologias descritas acima, Rodrigues (2007, p. [8]) explica que:

Enquanto a metodologia proposta pelo HCM infere sobre a qualidade de operação em tempo real da interseção, no que diz respeito ao tempo perdido pelos veículos, a metodologia ICU diz respeito principalmente à capacidade da interseção absorver um incremento de tráfego e quais os efeitos na operação da mesma.

4 ESTUDOS DO TRÁFEGO

Os estudos de tráfego são empregados para a obtenção de “[...] dados de cinco elementos fundamentais do tráfego (motorista, pedestre, veículo, via e meio ambiente) e seu interrelacionamento.”. Através desses estudos podem ser obtidos dados para o dimensionamento de interseções, análises de capacidade, compatibilidade de nível de serviço, entre outros (BRASIL, 2006, p. 19). A seguir são detalhados importantes componentes de um estudo de tráfego.

4.1 VOLUMES DE TRÁFEGO

Volume de tráfego é definido pelo Manual de Estudos Tráfego do DNIT (BRASIL, 2006, p. 63) como “[...] o número de veículos que passam por uma seção de uma via, ou uma determinada faixa, durante uma unidade de tempo.”. O volume de tráfego inclui todos os veículos que circulam pela via, em um ou mais sentidos de fluxos.

A demanda de tráfego e, conseqüentemente o volume de tráfego, variam de acordo com o mês do ano, o dia da semana, a hora do dia e um subintervalo dentro de uma hora. Essas variações são importantes se as rodovias devem atender de forma eficaz a demanda de pico sem falhar, já que os efeitos das falhas podem se estender para além do tempo no qual a demanda superou a capacidade e pode demorar várias horas para se dissipar (UNITED STATES OF AMERICA, 2000, p. 8-2).

Nos estudos de Engenharia de Tráfego normalmente os volumes de tráfego são expressos em Volume Médio Diário – VMD –. Segundo o Manual do DNIT (BRASIL, 2006, p. 63) o VMD refere-se “À média dos volumes de veículos que circulam durante 24 horas em um trecho de via, ou de uma determinada faixa, durante uma unidade de tempo.”. De acordo com o Manual, dependendo da quantidade de dados disponíveis para o cálculo do VMD, ele pode ser (BRASIL, 2006, p. 63, grifo do autor):

- **Volume Médio Diário Anual (VMDa)**: número total de veículos trafegando em um ano dividido por 365;
- **Volume Médio Diário Mensal (VMDm)**: número total de veículos trafegando em um mês dividido pelo número de dias do mês. É sempre acompanhado pelo nome do mês a que se refere;
- **Volume Médio Diário Semanal (VMDs)**: número total de veículos trafegando em uma semana dividido por 7. É sempre acompanhado pelo nome do mês a que se refere. É utilizado como uma amostra do VMDm;
- **Volume Médio Diário em um Dia de Semana (VMDd)**: número total de veículos trafegando em um dia de semana. Deve ser sempre acompanhado pela indicação do dia de semana e do mês correspondente.

Dentre os tipos de VMD citados acima, DNIT (BRASIL, 2006, p. 63) afirma que “O VMDa, ou simplesmente VMD, é o de maior importância.”.

Outro parâmetro empregado no estudo do volume de tráfego é o Volume Horário (VH). O VH é utilizado para analisar as variações do fluxo de tráfego durante o dia, expressa o número total de veículos trafegando em uma determinada hora (BRASIL, 2006, p. 64). A seguir são descritas a variação dos volumes de tráfego ao longo do tempo e a determinação do volume de veículos a ser usado para o dimensionamento de um projeto viário.

4.1.1 Comportamento dos Volumes de Tráfego ao Longo do Tempo

Como descrito anteriormente, os volumes de tráfego variam de acordo com a sua localização temporal, essa variação pode ser desde uma variação anual, em que há diferenças de volumes de veículos de um ano para outro, até variações de volumes conforme a hora do dia. As mudanças anuais ocorrem “Como reflexo das mudanças na economia do país [...]. Esse efeito faz com que seja necessário um cuidado especial na utilização de dados antigos, uma vez que podem levar a uma avaliação errônea da importância da rodovia.” (BRASIL, 2006, p. 71).

As variações mensais ou sazonais da demanda de tráfego refletem as atividades sociais e econômicas da área servida pela rodovia. As variações de volume semanais (variações de acordo com o dia da semana) são relacionadas com esta mesma área (UNITED STATES OF AMERICA, 2000, p. 8-3). Em relação a flutuações semanais de tráfego, dentro das áreas urbanas o Manual do DNIT (BRASIL, 2006, p. 70) explica que “[...] a predominância das idas

Cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos/Porto Alegre/RS: eficácia da implantação de interseção em desnível em comparação ao uso de semáforos na solução dos congestionamentos na região.

e voltas aos locais de trabalho faz com que os picos de tráfego se concentrem nos dias da semana, de segunda a sexta-feira, que apresentam variações entre si na ordem de 5%.”.

As variações de tráfego ao longo do dia indicam suas horas de pico. A capacidade e outras análises de tráfego fazem uso da hora pico de volume de tráfego, pois ela representa o período crítico para operação da via e requer uma maior capacidade (UNITED STATES OF AMERICA, 2000, p. 8-6).

4.1.2 Determinação do Volume Horário de Projeto

Um parâmetro auxiliar para o dimensionamento de rodovias é o Volume Horário de Projeto (VHP). O Manual do DNIT (BRASIL, 2006, p. 24) explica que o VHP é o “Fluxo de veículos (número de veículos por hora) que deve ser atendido em condições adequadas de segurança e conforto pelo projeto da via em questão.”.

Em um projeto rodoviário as rodovias não são projetadas para ter capacidade igual à máxima demanda prevista, pois caso contrário, seriam superdimensionadas e economicamente inviáveis, logo “[...] o dimensionamento deve prever um certo número de horas congestionadas e a decisão de qual número é aceitável para a adoção do **Volume Horário de Projeto (VHP)**.” (BRASIL, 2006, p. 73, grifo do autor).

A determinação do VHP é feita da seguinte forma (BRASIL, 2006, p. 73):

Quando se dispõe de contagens horárias contínuas de uma rodovia, que abranjam um período de um ano inteiro, pode-se determinar o volume horário a ser usado no projeto através do critério denominado “curva da enésima hora”. Esta curva consiste na ordenação decrescente de todos os volumes horários anuais, expressos em percentagem do Volume Médio Diário (VMD), designado como **fator K**.

A escolha do valor do fator K varia de acordo com o local do projeto, no Brasil é usual adotar (BRASIL, 2005, p. 47):

[...] o volume da 50ª hora, nos locais em que se dispõe de contagens mecanizadas permanentes. O valor de $K = 8,5\%$ do VMD tem sido adotado como representativo para rodovias rurais em que não se dispõe de informações mais precisas do comportamento do tráfego.

Apesar de ser usual a adoção de um fator $K = 8,5\%$ para a determinação do VHP, no Manual do DNIT (BRASIL, 2006, p. 74) constam, para cada região do Brasil, valores diferentes de K . O Manual também indica os valores usados de K para as vias norte-americanas em função do tipo da área na qual ela está inserida. Os quadros 1 e 2 mostram esses valores.

Região	Fator K
Norte	8,0%
Nordeste	8,5%
Centro	8,6%
Sudeste	8,8%
Sul	9,1%

Quadro 1: valores de K para vias rurais brasileiras (BRASIL, 2006, p. 74)

Tipo de área	Fator K
Urbana	9,1%
Suburbana	9,3%
Rural em transição para urbana	9,3%
Rural desenvolvida	9,5%
Rural subdesenvolvida	10,0%

Quadro 2: valores de K para vias norte-americanas (BRASIL, 2006, p. 74)

No caso da determinação do VHP para interseções tem-se que (BRASIL, 2006, p. 75):

Nas interseções, por razões econômicas, costuma-se efetuar contagens de tráfego nos períodos de pico durante um número limitado de dias. Um critério para determinação do VHP consiste na expansão e ajustamento das contagens feitas, com base nas variações horárias, semanais e sazonais da rodovia principal, para estimar o VMD anual de cada ramo da interseção. Sobre esses VMDs se aplica então o valor K adotado para a rodovia principal.

4.2 DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO ATUAL

A determinação do tráfego atual pode ser realizada através de contagens de tráfego. As contagens de tráfego são utilizadas para se obter conhecimento do tráfego de uma dada região de interesse, Soares (1975, p. 100) afirma que:

Cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos/Porto Alegre/RS: eficácia da implantação de interseção em desnível em comparação ao uso de semáforos na solução dos congestionamentos na região.

A finalidade principal das contagens do volume de tráfego consiste em apresentar dados com os quais se possa atacar ou prevenir problemas relacionados com o tráfego. Para isso, torna-se indispensável o conhecimento dos seguintes itens: quantidade de tráfego existente, o seu volume em certas ocasiões, os movimentos empreendidos pelos veículos e os tipos de veículos envolvidos.

Os dados colhidos em campo sofrem expansões (horária, semanal e sazonal) e “[...] após as correções e ajustamentos necessários, [esses dados fornecerão] os volumes médios diários atuais dos subtrechos homogêneos da rodovia em estudo.” (BRASIL, 2006, p. 199). A seguir são detalhados os processos de contagem de tráfego em interseções, elaboração de fluxogramas e o tratamento de dados colhidos em campo.

4.2.1 Contagens de Tráfego em Interseções

As contagens de volumes de tráfego em interseções são de extrema importância, pois, segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (BRASIL, 2006, p. 206), “A definição da solução a adotar para uma determinada interseção e o dimensionamento de seus ramos dependem necessariamente do volume e das características do tráfego que circulará no ano de projeto.”. A saber, “O ano de projeto é geralmente considerado como o décimo ano após a conclusão das obras programadas.” (BRASIL, 2006, p. 112).

A finalidade das contagens determinará o planejamento da realização das contagens. Para a identificação de volume total de tráfego e volume de pico “Os horários mais comuns para a pesquisa são aqueles em que ocorrem os maiores fluxos, chamados de ‘horas de pico’, pois é nestes momentos que a interseção está sob solicitação máxima.” (BRASIL, 2006, p. 113).

A partir das contagens de tráfego são determinados os fluxogramas necessários para o projeto. O fluxograma apresentado na figura 5 é uma forma usual e simples de representar os fluxos de um cruzamento, o qual ilustra os volumes de tráfego associados aos movimentos veiculares (BRASIL, 2006, p. 124).

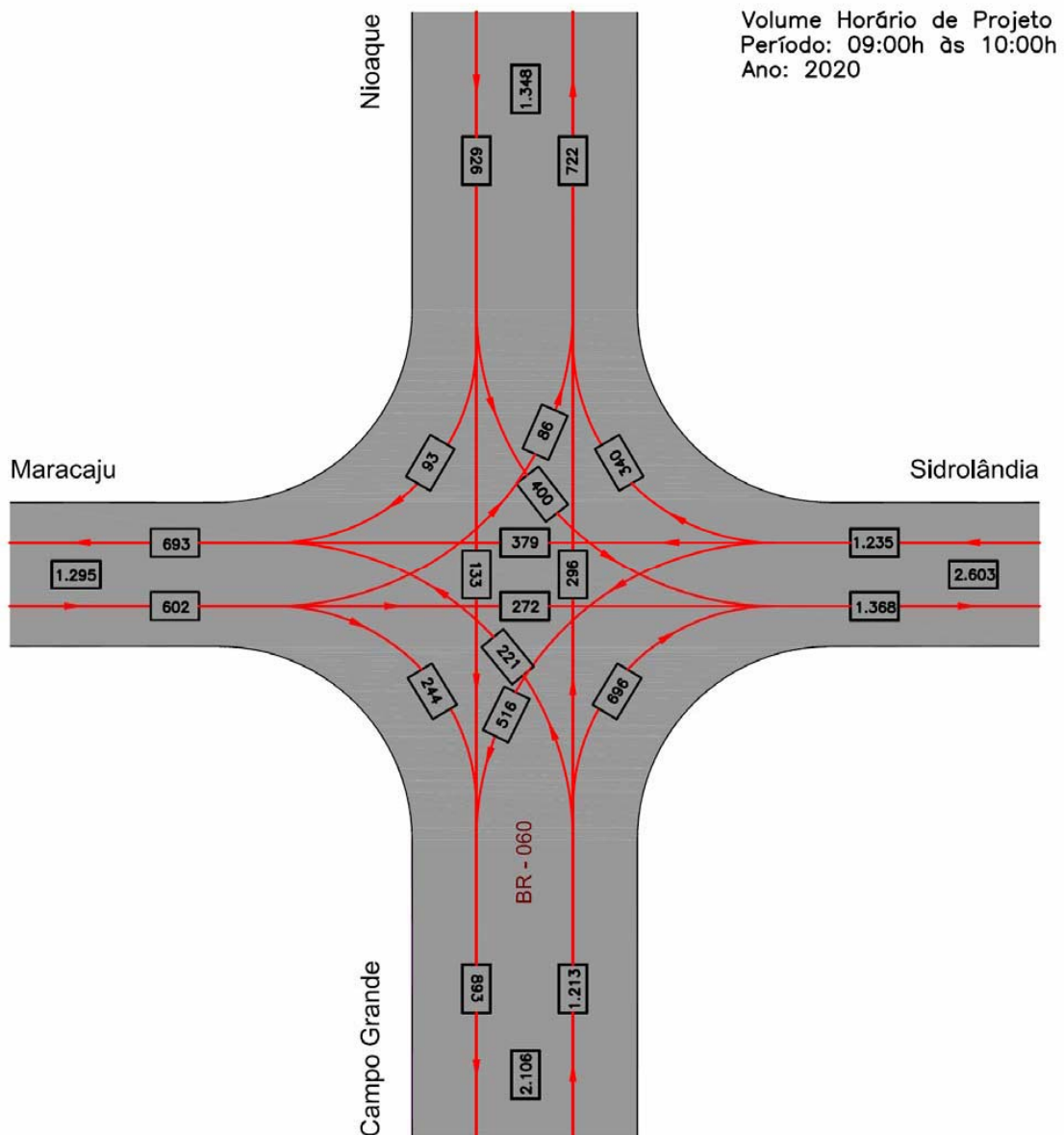


Figura 6: modelo de fluxograma de tráfego UCP (BRASIL, 2006, p. 127)

Como pode ser observado na figura 5, a unidade de tráfego utilizada no modelo do fluxograma é o UCP – unidades de carro de passeio –, pois “Para estudos de capacidade pode ser conveniente representar cada tipo de veículo em [...] UCP, ou seja, número equivalente de carros de passeio que exerce os mesmos efeitos na capacidade da rodovia que o veículo referido.” (BRASIL, 2006, p. 56). Os fatores de conversão para cada tipo de veículo podem ser obtidos do quadro 3.

Tipo de Veículo	veículo de passeio	caminhão e ônibus	semi-reboque e reboque	moto	bicicleta	sem informação
Fator de equivalência	1,0	1,5	2,0	1,0	0,5	1,1

Quadro 3: fatores de equivalência em carros de passeio (BRASIL, 2006, p. 56)

4.2.2 Expansões de Dados

Expansão de dados é um método utilizado para se expandir dados de contagens de um período curto de tempo para um período maior através da utilização de “[...] fatores de expansão, que expandem o volume observado em uma hora para um dia, por exemplo.” (BRASIL, 2008, p. 26). Sobre os fatores de expansão a serem usados, Valente (1994 apud BRASIL, 2008) explica que “[...] para se determinar tais fatores, há de se dispor das curvas de variação de tráfego.”. As curvas apontadas anteriormente “[...] podem ser encontradas a partir de contagens anteriores realizadas ao longo do ano.” (BRASIL, 2008, p. 26-27).

De forma sucinta o processo de expansão de dados pode ser explicado da seguinte maneira (BRASIL, 2008, p. 27):

Os fatores de expansão são obtidos através da relação entre os volumes de um período maior e de um menor, como por exemplo, o diário e horário, dos postos de contagem contínua. Após a obtenção desse fator, ele é multiplicado pelo volume horário obtido pela coleta de cobertura no trecho no qual não há contadores permanentes. O valor encontrado refere-se então, ao volume diário daquele trecho.

As expansões podem ser de três tipos: horária, semanal e sazonal. A figura 6 mostra um esquema do processo de expansão e suas etapas.

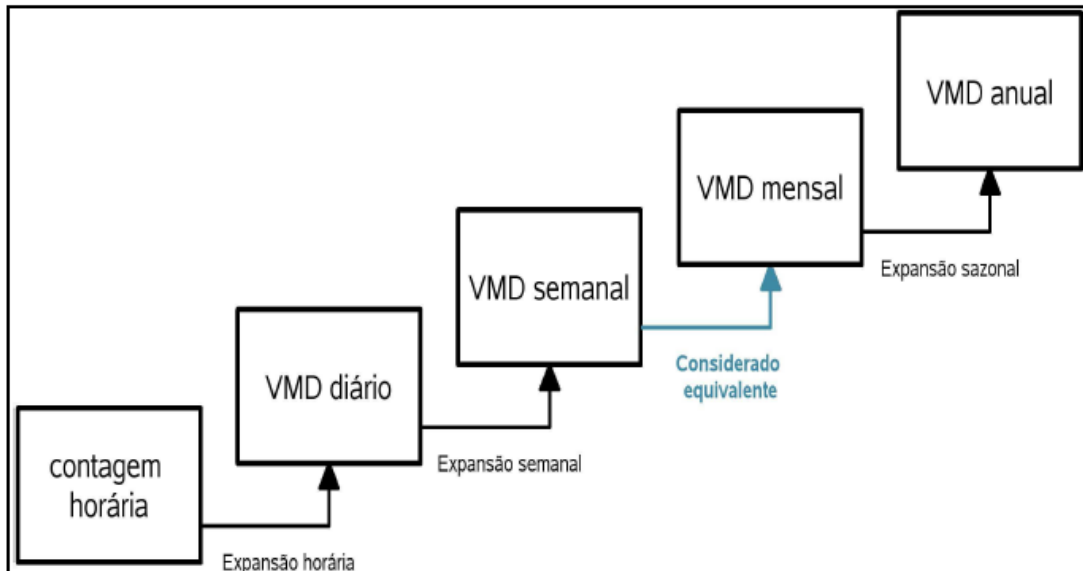


Figura 7: esquema ilustrativo de aplicação de fatores de expansão (BRASIL, 2008, p. 27)

Segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (BRASIL, 2006, p. 200-201), as expansões diária, semanal e sazonal são definidas pelas equações a seguir.

Expansão diária:

$$F_{Pd} = \frac{V_{P24}}{V_{Ph}} \quad (\text{equação 8})$$

Onde:

F_{Pd} = fator de expansão diário;

V_{P24} = volume de carros de passeio durante as 24 horas do dia;

V_{Ph} = volume de carros de passeio durante as **h** horas de pesquisa.

Expansão semanal:

$$F_{Ps} = \frac{V_{Ps}}{V_{Pd}} \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

F_{Ps} = fator de expansão semanal de um dia específico da semana;

V_{Ps} = volume de carros de passeio durante os 7 dias da semana;

V_{Pd} = volume de carros de passeio durante o dia determinado.

Expansão sazonal:

$$F_a = \frac{VMD_a}{VMD_m} \quad (\text{equação 10})$$

Onde:

F_a = fator de expansão sazonal;

VMD_a = volume médio diário anual;

VMD_m = volume médio diário mensal.

4.3 DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO FUTURO

As contagens de tráfego, descritas em item anterior, são a forma de determinação da demanda de veículos atual que, apesar de importante para o projeto, ela por si só não justifica a implantação de uma nova rodovia ou interseção. De acordo com o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (BRASIL, 2006, p. 207), para determinar o dimensionamento de componentes do projeto viário e elaboração do estudo de viabilidade econômica do projeto, deve-se fazer a projeção dos volumes de tráfego para o futuro.

O Manual do DNIT apresenta duas formas básicas para a determinação da demanda de tráfego futuro, a primeira é baseada em modelos que utilizam variáveis como população, renda, características de crescimento das regiões de influência, emprego, frota de veículos, etc. A segunda é baseada em séries históricas de dados de tráfego das vias em questão (BRASIL, 2006, p. 233).

Sobre projeções de tráfego baseadas em séries históricas, o Manual do DNIT (BRASIL, 2006, p. 233) explica que:

[...] quando se dispõe de uma série de dados de tráfego em uma via, pode-se determinar a função que mais se aproxima da variação constatada através dos anos e adotá-la como base para a previsão do tráfego futuro. Procura-se encaixar os valores conhecidos em uma função de ocorrência usual nos estudos de tráfego.

Cabe ressaltar que o método descrito acima toma como projeção a “[...] extrapolação de tendências e apresenta como principal limitação o fato de isolar a evolução do tráfego, não considerando influência de outras variáveis intervenientes.”. Basicamente, são utilizados três formas de projeção, a Projeção Linear, a Geométrica ou Exponencial e a Projeção com o emprego da Logística. Dentre essas três formas, as duas primeiras são utilizadas com maior frequência para a determinação do tráfego futuro (BRASIL, 2006, p. 233-234).

A primeira, a Projeção Linear, “[...] admite que o volume de tráfego cresce segundo uma progressão aritmética [...]”. Por ser um método simplista, “Normalmente este método é usado para períodos inferiores a cinco anos.” (BRASIL, 2006, p. 233).

A segunda forma de projeção, a Projeção Geométrica ou Exponencial, “[...] admite que o volume de tráfego cresce segundo uma progressão geométrica [...]”. A equação que descreve essa projeção é (BRASIL, 2006, p. 233):

$$V_n = V_o \times r^n \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

V_n = volume de tráfego no **ano n**;

V_0 = volume de tráfego no ano base;

r = razão da progressão geométrica (fator de crescimento anual);

n = número de anos decorridos após o ano base.

A equação 9 pode ser melhor representada quando descrita da seguinte forma:

$$V_n = V_0 \times (1 + a)^n \quad (\text{equação 12})$$

Na qual “[...] se substitui a razão ‘ r ’ por uma taxa de crescimento anual ‘ a ’, geralmente expressa em percentagem.” (BRASIL, 2006, p. 234).

De acordo com o Manual do DNIT (BRASIL, 2006, p. 234), “Ultimamente tem sido comum adotar, à falta de informações de variáveis socioeconômicas, uma taxa de crescimento anual de 3%, próxima da taxa de crescimento econômico do país como um todo, o que resulta em uma função exponencial.”

5 DESCRIÇÃO DA INTERSEÇÃO ATUAL E PROPOSTA

Este capítulo tem como objetivo descrever, fisicamente e operacionalmente, os dois tipos de interseções estudadas no trabalho. A interseção em análise é o cruzamento formado pelas avenidas dos Estados e Farrapos, um dos principais acessos à cidade de Porto Alegre. As duas avenidas do cruzamento possuem alto volume de tráfego e são vias importantes para os movimentos de entrada e saída de Porto Alegre.

Localizada ao norte de Porto Alegre, a avenida dos Estados tem como característica ser uma das principais vias de acesso à capital. O volume de veículos atendido pela avenida é proveniente das regiões da Serra, Vale dos Sinos e de outros municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre. As principais vias que contribuem com o fluxo total dessa avenida são: BR-116, BR-290 e a avenida Guilherme Schell (via localizada no município de Canoas).

A avenida dos Estados possui dois sentidos de fluxo (de entrada e saída de Porto Alegre) separados por canteiro e, próximo ao cruzamento, a velocidade máxima permitida na via é de 60 km/h. A avenida Farrapos se desenvolve na direção norte-sul, lado oeste da cidade de Porto Alegre. A avenida é tipicamente urbana e possui um fluxo formado por veículos originários de diferentes bairros da capital. Desde o cruzamento com a avenida dos Estados, a avenida Farrapos se estende até as proximidades do centro de Porto Alegre com uma extensão aproximada a 5 km, caracterizando a sua importância na região. A seguir são detalhadas as características das interseções, existente e proposta no trabalho.

5.1 INTERSEÇÃO EXISTENTE

O cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos tem movimentos do tipo conflitantes (fluxos que se cruzam) e a sua operação é realizada por meio de semáforos. A interseção semaforizada possui duas fases, sendo uma sequência de indicação de cores (verde, amarelo e

Cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos/Porto Alegre/RS: eficácia da implantação de interseção em desnível em comparação ao uso de semáforos na solução dos congestionamentos na região.

vermelho) direcionada à corrente de tráfego da avenida dos Estados e a outra fase direcionada ao fluxo proveniente da avenida Farrapos.

Ao tráfego da avenida dos Estados é permitido três movimentos diferentes: acessar a avenida Farrapos, ingressar na avenida Ceará pela via principal ou ingressar na avenida Ceará pela rua lateral. O primeiro movimento, o acesso à avenida Farrapos em direção ao centro de Porto Alegre, é realizado através de um ramo de saída da avenida dos Estados, anterior ao cruzamento semaforizado. Em uma extensão de 175 m anterior a este ramo, a avenida dos Estados possui quatro faixas de tráfego. Na região em que o ramo inicia a avenida tem sua largura e número de faixas aumentados, passando a operar com cinco faixas de tráfego. O ramo de ingresso na avenida Farrapos possui duas faixas de tráfego e separação física (canteiro) com a avenida dos Estados.

A avenida dos Estados, após o acesso à avenida Farrapos, passa a operar com três faixas de tráfego por, aproximadamente, 65 m. Na sequência, a avenida possui mais 65 m de extensão com quatro faixas de tráfego, se estendendo até a faixa de retenção do cruzamento semaforizado. Na interseção, a avenida possui uma faixa, a da esquerda, na qual os veículos podem efetuar dois movimentos, acessar a avenida Ceará pela via principal, assim como as outras três faixas, ou acessar a rua lateral da avenida Ceará.

A avenida Farrapos, próximo ao cruzamento com a avenida dos Estados, possui quatro faixas de tráfego. O fluxo de veículos provenientes dessa avenida tem a liberdade para realizar dois movimentos. O primeiro movimento, efetuado por grande parte do volume de tráfego da avenida, é seguir reto e ingressar na avenida dos Estados no sentido capital-interior, e o segundo é acessar a avenida Ceará, em direção ao sul da capital. Das quatro faixas de rolamento existentes na avenida, três são exclusivas para o fluxo que ingressa na avenida dos Estados e uma faixa destinada aos dois movimentos descritos anteriormente. A figura 7 ilustra a interseção existente, os fluxos das avenidas em estudo (o fluxo 1 indica os veículos que trafegam pela avenida dos Estados e que entram em conflito com o fluxo 2, representativo dos veículos que trafegam pela avenida Farrapos) e as dimensões das suas faixas de rolamento.

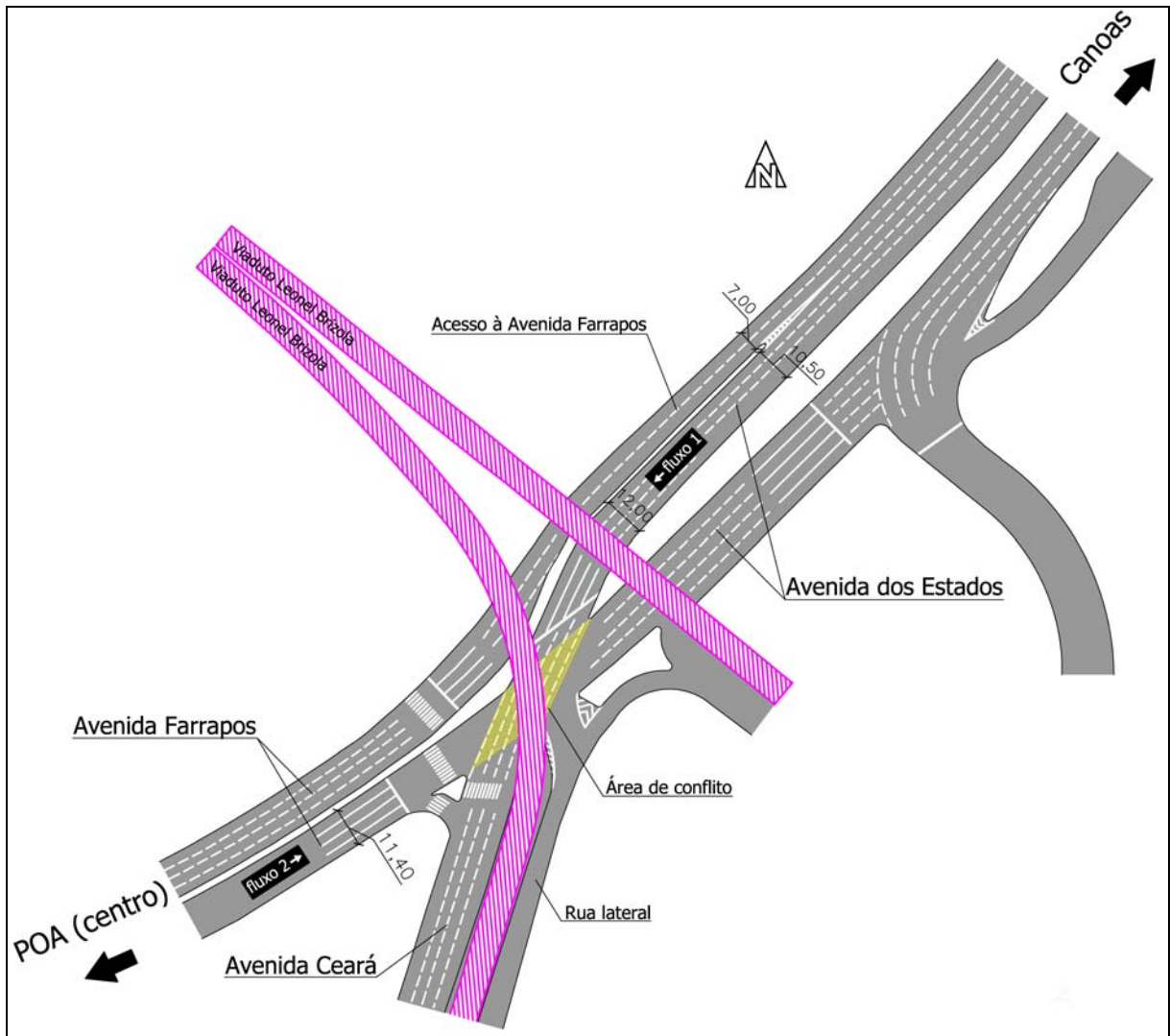


Figura 8: representação da interseção existente entre as avenidas dos Estados e Farrapos

5.2 INTERSEÇÃO PROPOSTA

A interseção proposta para o encontro das avenidas dos Estados e Farrapos é uma interseção em desnível, do tipo trincheira. Nesse tipo de interseção uma rodovia permanece no nível do terreno e a outra tem passagem escavada por baixo da primeira. Cabe observar que, para efeitos de aumento de capacidade de tráfego, poderia ser adotado outro tipo de passagem em desnível, porém, devido à existência de um viaduto no cruzamento, o viaduto Leonel Brizola, a trincheira se mostrou mais apropriada. Para o cruzamento em estudo é proposta a passagem inferior da avenida dos Estados, mantendo a avenida Farrapos no nível atual.

Na interseção proposta as correntes de tráfego das avenidas dos Estados e Farrapos não se cruzam, eliminando-se a necessidade de semáforos e os tempos de espera em filas. Dentre os movimentos de entrada e saída das avenidas é mantido o acesso do fluxo da avenida dos Estados à Farrapos através do ramo existente.

No projeto proposto a avenida Farrapos permanece com a mesma largura que possui atualmente, no entanto tem o número de faixa reduzidas para três (cada faixa com 3,40 m e acostamentos de 0,60 m). A avenida dos Estados é alterada próximo ao cruzamento com a avenida Farrapos, onde, ao invés de ter o número de faixas aumentado para quatro, continua a operar com três faixas de tráfego (cada faixa com largura de 3,60, acostamento de 0,60 m dos dois lados da pista e largura total de 12 m) e tem passagem sob a avenida Farrapos.

A figura 8 ilustra o projeto proposto para a interseção, os fluxos principais (o fluxo 1 indica os veículos que trafegam pela avenida dos Estados e o fluxo 2 representa os que trafegam pela avenida Farrapos) e as dimensões propostas para as faixas de rolamento.

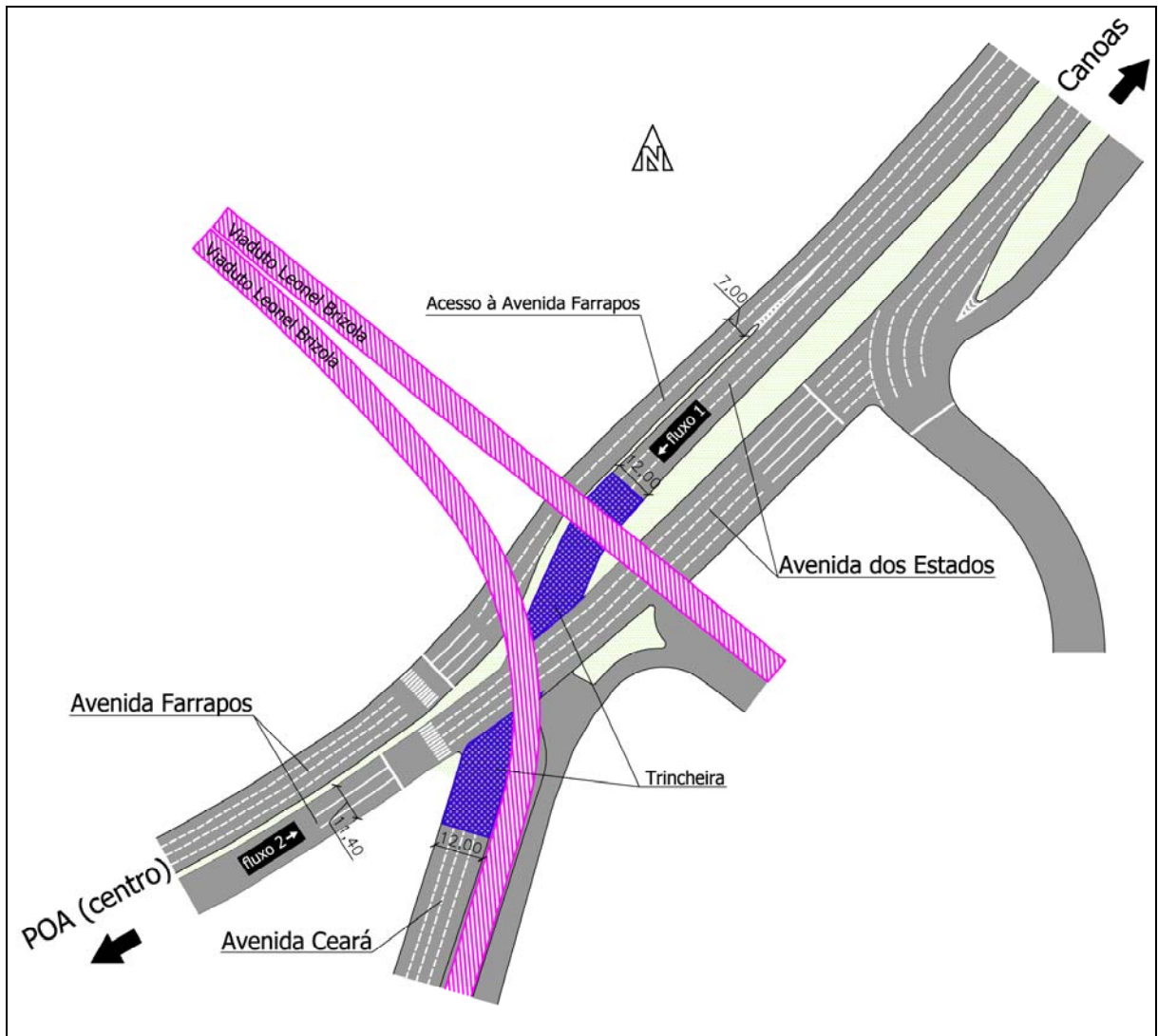


Figura 9: representação da interseção proposta para o cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos

6 ESTIMATIVA DOS VOLUMES DE TRÁFEGO

A interseção entre as avenidas dos Estados e Farrapos se localiza na entrada e saída de Porto Alegre, fazendo a ligação norte entre a capital e as cidades do Vale dos Sinos, Serra e outros municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre. Considerando-se a sua localização e devido ao fato de que a avenida dos Estados é um prolongamento natural da BR-116 dentro de Porto Alegre, é possível aproximar o comportamento de seu fluxo de veículos ao comportamento do fluxo da rodovia federal, principal via de ligação entre a interseção em estudo e as regiões consideradas influente na geração e atração de demanda de tráfego, descritas anteriormente.

Dentre os métodos existentes para a estimativa de volume de tráfego, o utilizado neste trabalho foi o método de estimativa de demanda através de contagens volumétricas e classificatórias de veículos na interseção. Os dados utilizados foram coletados no ano de 2009 pela EPTC. As etapas realizadas para a estimativa do volume de tráfego atual e futuro são descritas a seguir.

6.1 ESTIMATIVA DO VOLUME DE TRÁFEGO ATUAL

Para a estimativa do volume de tráfego atual foram utilizados fatores de expansão de contagens. A determinação desses fatores foi baseada em dados coletados em um posto de contagem de tráfego permanente (posto com contagens contínuas durante um período de tempo suficiente para identificar as variações sazonais do tráfego) do DNIT. Entre os postos existentes, foi escolhido o posto 41, denominado de São Leopoldo III, de código 116BRS3190 no Plano Nacional de Viação (PNV), localizado na Rodovia BR-116, no quilômetro 243.

As contagens utilizadas para a estimativa do VMDa (Volume Médio Diário anual, usualmente utilizado para análises de tráfego) foram efetuadas no período das 7 h 00 min às 20 h 00 min, em uma quinta-feira, dia 24, no mês de setembro de 2009. Sobre as contagens foi, primeiramente, aplicado o fator de expansão diário expandindo as contagens realizadas em 13

horas para 24 horas. Sobre o volume de 24 horas aplicou-se um fator de expansão semanal, obtendo-se o volume de veículos em uma semana e, com o uso de fator de sazonalidade, foi obtido o VMDa de 2009 na interseção. A seguir são apresentadas as contagens veiculares realizadas pela EPTC e o detalhamento da forma de determinação dos fatores usados e suas aplicações sobre os dados das contagens de veículos.

6.1.1 Dados das Contagens de Veículos

Os números de veículos obtidos através das contagens veiculares realizadas pela EPCT estão dispostos no quadro 4. Nesse quadro constam os números coletados de veículos leves (VL), veículos médios (VM), pesados (VP) e motos (MT) de cada uma das principais direções desse cruzamento. Foram considerados VL os carros de passeio, VM as caminhonetes e caminhonetas e VP os caminhões e ônibus. Para fins de estudo de demanda as motos foram desconsideradas. As contagens do quadro 4 foram realizadas no dia 24 de setembro em 2009.

INTERVALOS	FLUXO :		A		FLUXO :		B		FLUXO :		C		FLUXO :		D	
	VL	VM	VP	MT	VL	VM	VP	MT	VL	VM	VP	MT	VL	VM	VP	MT
07:00 - 07:15	151	9	40	35	188	11	32	9	15	1	0	0	502	51	52	54
07:15 - 07:30	166	11	41	37	199	15	34	12	18	1	0	1	517	54	36	74
07:30 - 07:45	192	13	54	42	256	12	30	10	29	1	1	4	625	51	40	124
07:45 - 08:00	217	12	47	48	303	10	34	17	37	2	1	1	581	55	29	139
08:00 - 08:15	194	20	55	36	296	10	28	9	31	3	3	2	558	58	49	92
08:15 - 08:30	194	12	45	24	283	11	37	10	24	6	2	4	503	63	55	59
08:30 - 08:45	133	18	34	29	319	13	40	20	23	7	2	2	511	61	42	46
08:45 - 09:00	140	12	30	31	291	20	37	19	25	7	5	3	496	62	52	55
09:00 - 09:15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09:15 - 09:30	116	9	26	22	242	14	45	22	23	7	3	1	508	57	50	46
09:30 - 09:45	145	20	42	28	277	20	44	31	31	2	0	4	446	46	43	55
09:45 - 10:00	161	25	27	29	202	24	35	36	34	2	2	7	349	55	41	41
10:00 - 10:15	132	21	33	23	220	13	46	29	25	4	6	4	386	58	38	49
10:15 - 10:30	126	18	28	30	253	16	38	36	40	6	1	2	360	43	33	39
10:30 - 10:45	148	25	35	18	230	17	40	26	29	5	2	2	396	49	42	60
10:45 - 11:00	137	27	31	25	252	11	44	38	22	6	2	7	401	58	40	55
11:00 - 11:15	147	21	31	26	309	19	51	52	34	13	7	6	429	53	49	42
11:15 - 11:30	151	19	30	21	264	25	45	36	26	7	4	2	389	54	39	47
11:30 - 11:45	136	21	33	25	259	16	47	30	19	3	2	1	464	63	45	53

continua

continuação

INTERVALOS	FLUXO :		A		FLUXO :		B		FLUXO :		C		FLUXO :		D	
	VL	VM	VP	MT	VL	VM	VP	MT	VL	VM	VP	MT	VL	VM	VP	MT
11:45 - 12:00	127	18	31	21	286	17	45	32	27	2	0	1	412	66	36	38
12:00 - 12:15	141	13	29	25	176	11	23	18	20	1	0	2	411	44	29	22
12:15 - 12:30	132	15	27	19	154	8	21	26	12	5	3	2	432	28	37	45
12:30 - 12:45	130	15	20	16	194	14	31	17	30	0	3	3	436	35	32	36
12:45 - 13:00	152	12	26	20	197	17	26	9	17	2	2	2	428	39	27	37
13:00 - 13:15	116	7	19	9	182	22	22	11	25	3	0	3	330	32	19	31
13:15 - 13:30	124	17	23	15	233	20	38	14	31	5	1	4	384	33	30	41
13:30 - 13:45	166	26	28	27	260	31	33	27	38	9	1	5	496	55	36	48
13:45 - 14:00	147	14	15	25	235	25	28	23	25	6	4	0	401	40	37	40
14:00 - 14:15	156	18	36	34	245	35	30	37	47	5	2	1	451	70	47	48
14:15 - 14:30	187	16	30	22	279	28	31	24	29	10	2	3	404	59	37	28
14:30 - 14:45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:45 - 15:00	138	17	36	27	205	9	20	19	39	4	2	4	342	42	41	42
15:00 - 15:15	130	20	30	26	207	15	14	30	30	5	3	1	412	57	34	33
15:15 - 15:30	166	25	35	24	275	28	34	35	33	3	3	2	418	65	31	44
15:30 - 15:45	142	17	21	27	225	20	17	35	29	5	2	3	416	66	36	51
15:45 - 16:00	129	18	40	24	277	25	34	41	31	1	2	2	447	64	37	49
16:00 - 16:15	152	21	40	20	305	33	25	30	41	4	1	5	460	58	39	45
16:15 - 16:30	130	27	36	20	227	12	33	32	36	4	3	3	435	50	32	33
16:30 - 16:45	150	20	45	21	206	16	20	34	31	3	2	2	481	45	25	43
16:45 - 17:00	202	25	32	26	272	29	28	35	29	3	2	1	479	51	29	20
17:00 - 17:15	117	15	28	10	276	8	34	49	22	4	2	4	434	16	17	33
17:15 - 17:30	135	20	27	15	243	22	40	44	25	6	2	0	593	15	23	47
17:30 - 17:45	167	12	34	9	246	14	43	30	23	2	1	1	443	12	22	
17:45 - 18:00	165	17	32	13	282	14	43	36	28	3	2	0	429	16	17	30
18:00 - 18:15	159	15	26	15	244	16	24	55	32	1	1	1	350	15	14	31
18:15 - 18:30	137	12	22	9	228	16	24	48	18	0	3	0	302	9	12	36
18:30 - 18:45	178	9	20	14	271	11	32	27	15	0	2	0	368	13	20	23
18:45 - 19:00	173	9	18	12	273	8	40	32	8	0	1	0	373	10	13	24
19:00 - 19:15	192	6	16	8	172	15	29	23	14	1	1	1	421	20	15	24
19:15 - 19:30	129	6	17	14	206	11	28	30	15	0	2	0	532	17	18	24
19:30 - 19:45	161	6	17	11	189	13	29	27	15	1	2	1	477	19	17	24
19:45 - 20:00	161	6	17	11	189	13	29	27	15	1	2	1	477	19	17	24

Quadro 4: contagens de tráfego na interseção entre as avenidas dos Estados e Farrapos (trabalho não publicado)³

A figura 9 ilustra as direções de cada fluxo e sua denominação (usada no quadro 4).

³ Contagens de tráfego fornecidas pela EPTC, pertencente à Secretaria Municipal de Mobilidade Urbana de Porto Alegre.

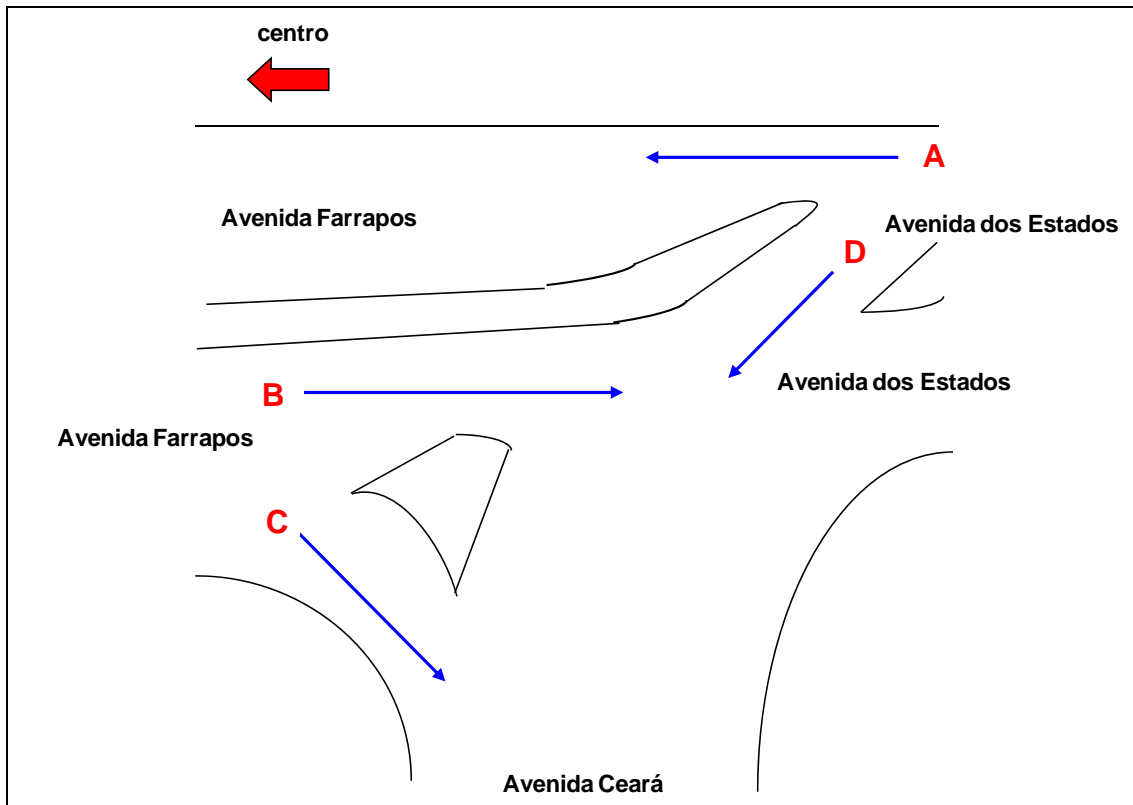


Figura 10: representação dos fluxos entre as avenidas dos Estados e Farrapos

6.1.2 Fator de Expansão Diária

Para se determinar o fator de expansão diário (F_{Pd}) é necessário conhecer os volumes de tráfego em cada hora do dia na via, representativos do mês no qual se tem os volumes das contagens coletadas, e o fator é determinado segundo a equação 8. Para tanto, foram obtidas do *site* do DNIT contagens veiculares realizadas no seu posto 41 ao longo das 24 horas de um dia do mês de setembro, nos anos de 1994, 1995, 1999 e 2000. Os dados utilizados são apresentados no quadro 5.

Hora do dia	Volume de veículos por hora			
	Ano de 1994	Ano de 1995	Ano de 1999	Ano de 2000
00-01	511	561	800	773
01-02	350	378	451	503
02-03	285	291	324	337
03-04	310	285	280	332
04-05	423	393	334	375
05-06	919	785	622	591
06-07	1972	1550	1791	1461
07-08	3002	2539	3680	3120
08-09	3153	3010	3670	3196
09-10	3129	3077	3564	3021
10-11	3066	2968	3618	3037
11-12	2809	2679	3625	3103
12-13	2605	2636	3046	2699
13-14	3053	3009	3736	3132
14-15	3299	3256	3977	3347
15-16	3430	3303	4017	3402
16-17	3693	3596	4244	3532
17-18	3891	3555	4792	3989
18-19	3449	3274	5033	4259
19-20	2549	2412	3954	3394
20-21	1744	1878	2649	2310
21-22	1537	1510	2078	1791
22-23	1277	1143	2222	1908
23-24	816	796	1254	1138

Quadro 5: volumes de veículos por hora do mês de setembro
(BRASIL, 1994a, 1995a, 1999a, 2000a)

A soma dos volumes de veículos ao longo das 24 horas do dia dividida pela soma dos volumes de veículos das 7 h 00 min às 20 h 00 min, de cada ano presente no quadro 5, resulta no valor do F_{Pd} parcial (fator de expansão referente a cada ano), como consta no quadro 6.

Ano	\sum Veículos _{0h-24h} (unidades de veículos)	\sum Veículos _{7h-20h} (unidades de veículos)	$F_{Pd} = \frac{\sum \text{Veículos}_{0h-24h}}{\sum \text{Veículos}_{7h-20h}}$
1994	51.272	41.128	1,25
1995	48.884	39.314	1,24
1999	63.761	50.956	1,25
2000	54.750	43.231	1,27

Quadro 6: valores dos fatores de expansão diário parciais

O F_{Pd} a ser aplicado nas contagens realizadas pela EPTC foi determinado através da média aritmética dos valores dos F_{Pd} parciais do quadro 6, calculado de acordo com a equação:

$$F_{Pd} = \frac{1,25 + 1,24 + 1,25 + 1,27}{4} \quad (\text{equação 13})$$

A equação 13 resulta em $F_{Pd} = 1,25$.

6.1.3 Fator de Expansão Semanal

Igualmente à determinação do F_{Pd} , a determinação do fator de expansão semanal (F_{Ps}) foi feita com dados coletados no posto 41 de contagem de tráfego do DNIT. No quadro 7 constam os Volumes Médios Diários em um dia da semana – VMDd – de veículos contados nesse posto no mês de setembro.

Ano	VMDd						
	domingo	segunda-feira	terça-feira	quarta-feira	quinta-feira	sexta-feira	sábado
1994	40.669	53.177	54.484	48.392	55.886	59.443	43.643
1995	49.240	49.081	48.659	49.063	48.513	48.752	48.899
1999	46.712	62.310	63.608	66.851	70.564	76.293	57.768
2000	42.102	55.786	61.896	58.806	59.591	60.009	46.275

Quadro 7: valores de VMDd do mês de setembro
(BRASIL, 1994b, 1995b, 1999b, 2000b)

O F_{Ps} foi determinado de acordo com a equação 9. Como as contagens de tráfego realizadas pela EPTC foram coletadas em uma quinta-feira, o F_{Ps} foi obtido dividindo-se o volume de veículos contados no posto 41 do DNIT ao longo de uma semana de setembro pelo volume contado em uma quinta-feira do mesmo mês nesse mesmo posto. No quadro 8, elaborado com base nos dados do quadro 7, constam as somas dos volumes de veículos de uma semana no mês de setembro, bem como os F_{Ps} parciais.

Ano	$\Sigma \text{Veículos}_{\text{semana}}$ (unidade de veículos)	$F_{Ps} = \frac{\Sigma \text{Veículos}_{\text{semana}}}{\Sigma \text{Veículos}_{\text{quinta-feira}}}$
1994	355.694	6,36
1995	342.207	7,05
1999	444.106	6,29
2000	384.465	6,45

Quadro 8: valores dos fatores de expansão semanal parciais

O F_{Ps} final foi determinado através da média aritmética dos valores F_{Ps} de cada ano do quadro 8, conforme a equação abaixo:

$$F_{Ps} = \frac{6,36 + 7,05 + 6,29 + 6,45}{4} \quad (\text{equação 14})$$

De acordo com a equação 14, o F_{Ps} tem valor igual a 6,54.

6.1.4 Fator de Expansão Sazonal

O fator de expansão sazonal (F_a) é o quociente da divisão $VMDa$ pelo $VMDm$ de um determinado mês, conforme descrito na equação 10. Para o cálculo do F_a a ser empregado, foram utilizados os valores de $VMDa$ e $VMDm$ do mês de setembro coletados no posto 41 de contagem de tráfego do DNIT. Esses valores e os fatores de expansão sazonal parciais calculados estão descritos no quadro 9.

ANO	VMDa (unidades de veículos)	VMDm-setembro (unidades de veículos)	$F_a = \frac{VMDa}{VMDm}$
1994	48.588	51.272	0,95
1995	49.306	48.884	1,01
1999	64.538	63.761	1,01
2000	59.895	54.750	1,09

Quadro 9: valores dos fatores de expansão sazonal parciais
(BRASIL, 1994a, 1995a, 1999a, 2000a)

De forma igual ao cálculo dos outros fatores de expansão, o F_a final foi determinado através da média aritmética dos valores F_a parciais (indicados no quadro 9), conforme a equação 15:

$$F_a = \frac{0,95 + 1,01 + 1,01 + 1,09}{4} \quad (\text{equação 15})$$

A equação 15 fornece um valor de F_a igual a 1,02.

6.1.5 Estimativa do VMDa de 2009

A estimativa do VMDa de 2009 foi feita através da aplicação dos fatores de expansão, determinados anteriormente, sobre as contagens realizadas pela EPTC. Primeiramente foram somados, por sentido do fluxo, todos os veículos contados ao longo das 13 horas, excluindo-se as motos. Nessa etapa foram mantidas as divisões em veículos leves, médios e pesados (VL, VM e VP, respectivamente). Sobre os valores somados aplicou-se o F_{pd} , para tanto a equação 8 foi reescrita conforme mostra a equação 16:

$$V_{p24} = V_{ph} \times F_{pd} \quad (\text{equação 16})$$

Onde:

V_{p24} = volume de veículos durante as 24 horas do dia;

V_{ph} = volume de veículos durante as **h** horas de pesquisa;

F_{pd} = fator de expansão diário.

Com a aplicação da equação 16 obteve-se o volume de tráfego das 24 horas da quinta-feira. Posteriormente, expandiu-se o volume diário para o volume semanal, conforme mostra a equação 17 (baseada na equação 9):

$$V_{Ps} = V_{Pd} \times F_{Ps} \quad (\text{equação 17})$$

Onde:

V_{Ps} = volume de veículos durante os 7 dias da semana;

V_{Pd} = volume de veículos durante as 24 horas do dia;

F_{Ps} = fator de expansão semanal.

De acordo com a figura 6, a expansão semanal é considerada equivalente a expansão mensal, portanto, para a obtenção do VMDm dividiu-se o volume semanal pelo número de dias da semana, e, finalmente, o VMDa foi calculado multiplicando o VMDm pelo F_a . A equação 18, determinada com base na equação 10, mostra esta etapa:

$$VMDa = \frac{V_s}{7} \times F_a \quad (\text{equação 18})$$

Onde:

VMDa = volume médio diário anual;

V_s = volume de veículos da semana;

F_a = fator de expansão sazonal.

O quadro 10 apresenta os valores obtidos de VMDa de 2009 para os fluxos B e D (ilustrados na figura 9), que são os fluxos das avenidas Farrapos e dos Estados, respectivamente.

Fluxo	Tipo de veículo	Quant. de veíc. contados (veíc.)	Expansão diária (veíc.)	Expansão semanal (veíc.)	VMDa de 2009 (veíc./dia)
Fluxo B (av. Farrapos)	Veíc. Leve	12.102	15.152	99.107	14.379
	Veíc. Médio	853	1.068	6.986	1.013
	Veíc. Pesado	1.654	2.071	13.545	1.965
	VMDa fluxo B:				17.358
Fluxo D (av. dos Estados)	Veíc. Leve	22.094	27.662	180.935	26.251
	Veíc. Médio	2.170	2.717	17.771	2.578
	Veíc. Pesado	1.650	2.066	13.512	1.960
	VMDa fluxo D:				30.790

Quadro 10: valores de VMDa de 2009 nas avenidas dos Estados e Farrapos

6.2 ESTIMATIVA DO VOLUME DE TRÁFEGO FUTURO

O tráfego futuro foi estimado com base em séries históricas de dados de tráfego. Para tanto foram utilizados dados referentes ao tamanho da frota de veículos no Rio Grande do Sul em diversos anos. Esses dados foram obtidos no *site* do Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Sul (DETRAN-RS) e são mostrados no quadro 11.

Ano	Quantidade de veículos		
	Veículo Leve (VL)	Veículo Médio (VM)	Veículo Pesado (VP)
2004	2.116.978	297.902	211.496
2005	2.209.529	312.184	218.581
2006	2.294.348	324.845	225.152
2007	2.409.653	342.786	233.314
2008	2.559.453	365.728	241.952
2009	2.726.795	393.891	251.804

Quadro 11: frota de veículos do Rio Grande do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009)

Os dados constantes no quadro 11 foram plotados em gráfico e as curvas de crescimento de cada tipo de veículo foram ajustadas para uma equação do tipo exponencial, conforme a equação 12. A figura 10 mostra o gráfico obtido.

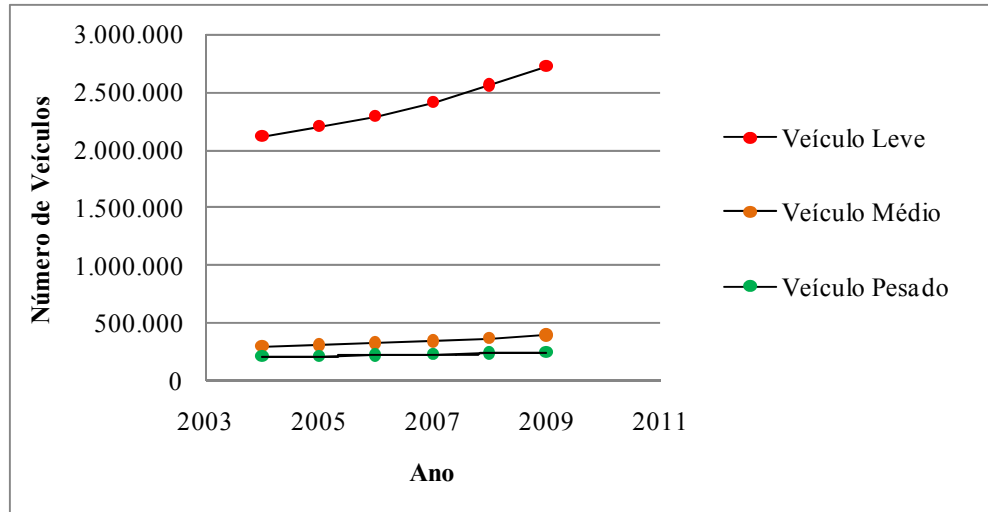


Figura 11: curvas de crescimento de veículos no Rio Grande do Sul

As equações obtidas ajustando-se cada uma das três curvas do gráfico acima à uma equação exponencial são descritas a seguir.

Equação de crescimento da frota de veículos leves:

$$VL_n = VL_o \times (1 + 0,0514)^n \quad (\text{equação 19})$$

Onde:

VL_n = volume de tráfego de veículos leves no ano n ;

VL_o = volume de tráfego de veículos leves no ano base;

n = número de anos decorridos após o ano base.

Equação de crescimento da frota de veículos médios:

$$VM_n = VM_o \times (1 + 0,0565)^n \quad (\text{equação 20})$$

Onde:

VM_n = volume de tráfego de veículos médios no ano n ;

VM_o = volume de tráfego de veículos médios no ano base;

n = número de anos decorridos após o ano base.

Equação de crescimento da frota de veículos pesados:

$$VP_n = VP_o \times (1 + 0,0353)^n \quad (\text{equação 21})$$

Onde:

VP_n = volume de tráfego de veículos pesados no ano n ;

VP_o = volume de tráfego de veículos pesados no ano base;

n = número de anos decorridos após o ano base.

O valor do VMDa de 2019, ano de projeto, foi determinado substituindo-se nas equações 19, 20 e 21 o valor de VMDa do ano de 2009 como o volume de veículos do ano base e o número de anos decorridos após o ano base por $n=10$. Os valores obtidos de VMDa para o ano de projeto para os diferentes tipos de veículos são mostrados no quadro 12.

Direção do fluxo	Tipo de veículo	VMDa de 2019 (veíc./dia)
Fluxo B (av. Farrapos)	Veíc. Leve	23.746
	Veíc. Médio	1.757
	Veíc. Pesado	2.779
	VDMa fluxo B:	28.282
Fluxo D (av. dos Estados)	Veíc. Leve	43.352
	Veíc. Médio	4.469
	Veíc. Pesado	2.772
	VDMa fluxo D:	50.594

Quadro 12: valores de VDMa de 2019 nas avenidas dos Estados e Farrapos

6.3 ESTIMATIVA DO VOLUME HORÁRIO DE PROJETO

O volume de tráfego utilizado como máximo valor a ser atendido pela capacidade da interseção foi o Volume Horário de Projeto (VHP). O VHP é determinado multiplicando-se o valor do VMDa por um coeficiente K. O coeficiente K varia de acordo com cada região, e seus valores podem ser obtidos através do quadro 1. Para o presente estudo, o valor utilizado foi $K = 9,1\%$, conforme é indicado no quadro 1 para rodovias rurais da região Sul do Brasil. Cabe observar que esse valor de K é o mesmo utilizado para as rodovias urbanas norte-americanas (conforme consta no quadro 2). Os valores de VHP do ano de 2009 e do ano de 2019 obtidos para os dois fluxos de interesse estão apresentados no quadro 13.

Direção do fluxo	VHP de 2009 (veíc/h)	VHP de 2009 (ucp/h)	VHP de 2019 (veíc/h)	VHP de 2019 (ucp/h)
Fluxo B (av. Farrapos)	1.580	1.679	2.574	2.717
Fluxo D (av. dos Estados)	2.802	2.915	4.605	4.771

Quadro 13: valores do VHP dos anos de 2009 e 2019

No quadro 13 constam os valores de VHP em dois tipos de unidades: veíc./h e ucp/h. A primeira indica o volume total de veículos, independente de seu tipo, que passam em uma seção da via por hora, já a segunda transforma todos os veículos em equivalentes de carro de passeio. Para a transformação de veículos para ucp foram adotados os seguintes fatores de equivalência: VL = 1,0; VM = 1,1 e VP = 1,5. Esses valores são os indicados pelo DNIT e constam no quadro 3.

7 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRÁFEGO DAS INTERSEÇÕES

Neste capítulo são descritos os procedimentos e métodos utilizados para a determinação das capacidades da interseção semaforizada e da em desnível proposta, bem como os valores obtidos.

7.1 CAPACIDADE DA INTERSEÇÃO SEMAFORIZADA

O método utilizado para a análise da interseção semaforizada foi o Método de Webster. Apesar de ser um método antigo, é um método consagrado e, devido à sua facilidade de aplicação, esse é corriqueiramente usado para cálculos semafóricos da maioria das cidades brasileiras, inclusive o utilizado pela EPTC na cidade de Porto Alegre. Acrescenta-se também, que o método de Webster é o indicado no Manual de Semáforos do DENATRAN. Os itens a seguir descrevem os cálculos desenvolvidos para o estudo e determinação da capacidade da interseção semaforizada.

7.1.1 Determinação da Capacidade da Interseção Atual

Para o cálculo da capacidade da interseção semaforizada atual primeiro foi determinado o fluxo de saturação de cada uma das avenidas em estudo da interseção. Os fluxos de saturação foram determinados através de histogramas de tráfego elaborados a partir de filmagens do cruzamento. As filmagens foram realizadas no dia cinco de outubro de 2010, uma terça-feira, entre as 15 h 00 min e 18 h 30 min. A filmagem do fluxo de veículos da avenida dos Estados foi realizada posicionando-se a câmera sobre a avenida, no viaduto Leonel Brizola. O fluxo de veículos da avenida Farrapos foi filmado no nível da avenida, tomando-se como ponto de referência a faixa de retenção da aproximação. Para fins de validação e verificação dos valores obtidos, os fluxos foram estimados também por meio da equação 4.

Cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos/Porto Alegre/RS: eficácia da implantação de interseção em desnível em comparação ao uso de semáforos na solução dos congestionamentos na região.

Conforme o item 3.3.3, para a elaboração dos histogramas de tráfego foram anotados, a cada cinco segundos, os números de veículos cruzando a faixa de retenção nos tempos de verde do semáforo (taxas de escoamento). As faixas de tráfego de cada avenida foram analisadas em separado. As figuras 11 mostra os histogramas obtidos para cada faixa de tráfego da avenida dos Estados e a figura 12 mostra os obtidos para as faixas da avenida Farrapos. Os números de identificação das faixas constantes nos histogramas abaixo estão indicados na figura 13. No apêndice A são apresentados os quadros com os números coletados nas filmagens.

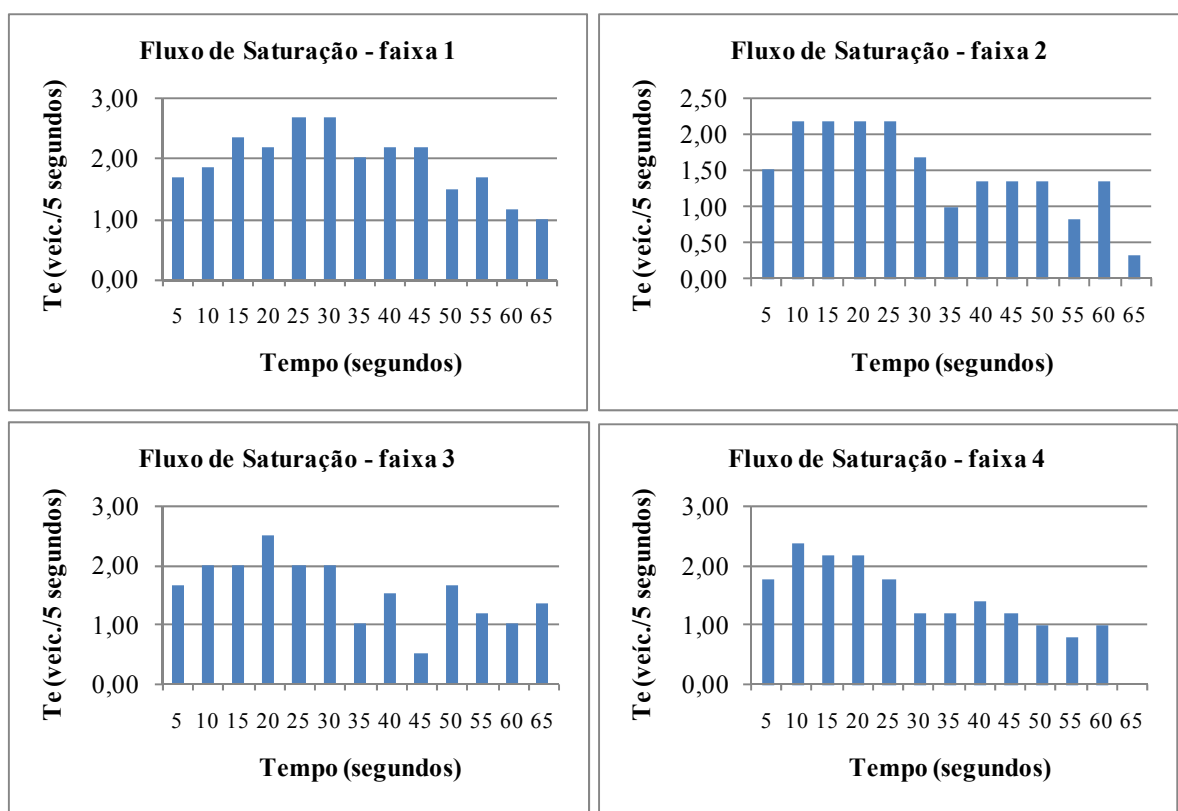


Figura 12: histogramas de tráfego das faixas da avenida dos Estados

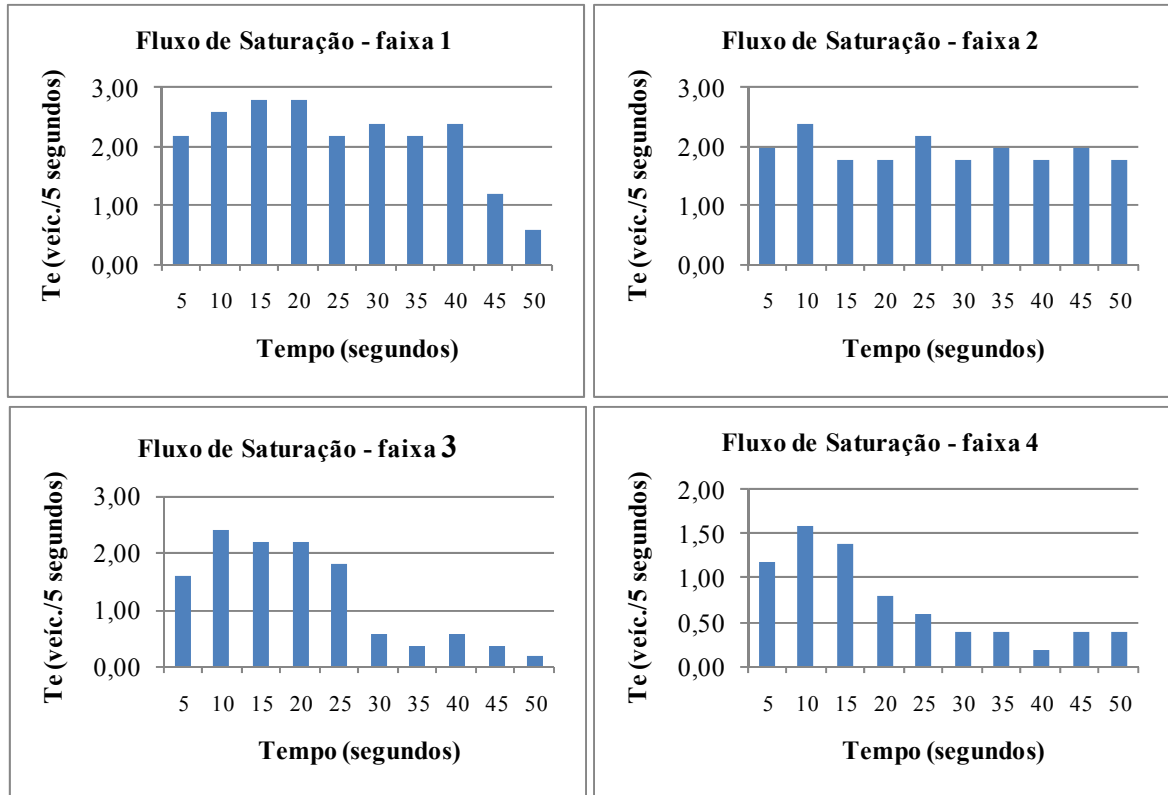


Figura 13: histogramas de tráfego das faixas da avenida Farrapos

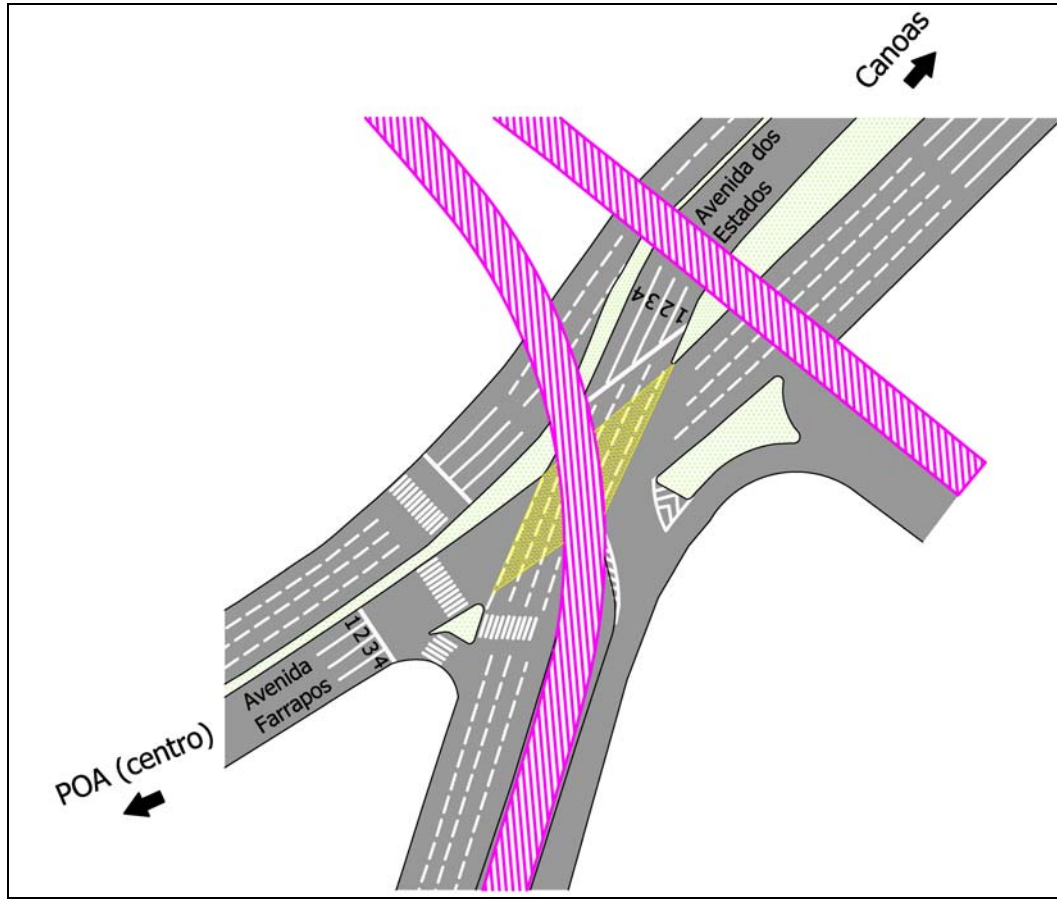


Figura 14: indicação das faixas utilizadas nos histogramas de tráfego

Como pode ser observado nas figuras 11 e 12, em algumas faixas de tráfego as taxas de escoamento no final do período de verde tiveram valores abaixo daquelas observadas no início do período. Esse fato ocorreu devido à falta de carros em filas em determinadas faixas de tráfego e foi mais presente na avenida Farrapos. Nesses casos, para o cálculo do fluxo de saturação, esses valores não foram considerados, sendo utilizados apenas os intervalos saturados de veículos na faixa de retenção. De acordo com o explicado no item 3.3.3, o fluxo de saturação foi calculado através da aplicação da equação 22:

$$S = \frac{\sum Te_i}{i \times 5} \times 3.600 \quad (\text{equação 22})$$

Onde:

S = fluxo de saturação (veíc./htv);

Te_i = taxa de escoamento do intervalo i (veíc./5 segundos);

i = número total de taxas de escoamento consideradas.

No quadro 14 são mostrados os valores utilizados na aplicação da equação 22 para cada uma das faixas de tráfego, são apresentados também os fluxos de saturação obtidos para as avenidas (obtidos através das somas dos fluxos de cada uma das faixas). Nesse quadro, na coluna de título **Taxas de escoamento consideradas**, constam todos os intervalos de cinco segundos de contagens de veículos que foram utilizados para a determinação dos fluxos de saturação de cada uma das faixas das avenidas.

Avenida	Faixa	Taxas de escoamento consideradas	Fluxo de sat. (veíc./segundo)	Fluxo de sat. (veíc./htv)	Fluxo de sat. (veíc./htv)
dos Estados	1	$Te_{15} + Te_{20} + Te_{25} + Te_{30} + Te_{35} + Te_{40} + Te_{45}$	0,46	1663	6.283
	2	$Te_{10} + Te_{15} + Te_{20} + Te_{25}$	0,43	1560	
	3	$Te_{10} + Te_{15} + Te_{20} + Te_{25} + Te_{30}$	0,42	1512	
	4	$Te_{10} + Te_{15} + Te_{20} + Te_{25}$	0,43	1548	
Farrapos	1	$Te_{10} + Te_{15} + Te_{20} + Te_{25} + Te_{30} + Te_{35} + Te_{40}$	0,50	1790	5.672
	2	$Te_{10} + Te_{15} + Te_{20} + Te_{25} + Te_{30} + Te_{35} + Te_{40} + Te_{45}$	0,40	1422	
	3	$Te_{10} + Te_{15} + Te_{20} + Te_{25}$	0,43	1548	
	4	$Te_{10} + Te_{15} + Te_{20}$	0,25	912	

Quadro 14: valores do fluxo de saturação obtidos para as avenidas dos Estados e Farrapos

Como pode ser observado no quadro 14, os valores de fluxo de saturação obtidos estão na unidade veíc./h. No entanto, para comparações posteriores, é interessante passar para a unidade ucp/h. Para tanto contou-se nas filmagens a quantidade de cada tipo de veículos que passa em cada uma das aproximações. Na avenida dos Estados o tráfego é formado na seguinte proporção:

- a) 91,7% do tráfego formado por veículos leves;
- b) 1,4% formado por veículos médios;
- c) 6,9% do tráfego formado por veículos pesados.

Na avenida Farrapos o volume de veículos tem a seguinte composição:

- a) 84,3% do tráfego formado por veículos leves;
- b) 3,5% formado por veículos médios;
- c) 12,2% do tráfego formado por veículos pesados.

A aplicação dos fatores de equivalência, descritos em item anterior, na proporção indicada acima, resultam nos seguintes valores: avenida dos Estados com fluxo de saturação de 6.509 ucp/htv e avenida Farrapos com fluxo de saturação igual a 6.038 ucp/htv.

Uma vez determinados os fluxos de saturação das avenidas dos Estados e Farrapos através de histogramas de tráfego que empregam coletas de dados de tráfego em campo, foram determinados os fluxos dessas mesmas avenidas através da aplicação da equação 4, que estima os valores de fluxos baseando-se nas características físicas das vias.

Considerando-se que a aproximação da avenida dos Estados é do tipo padrão (não há veículos estacionados, número de conversões à direita nulo e a esquerda inferior a 10% e terreno plano) a aplicação da equação 4 resulta em um fluxo de saturação dessa avenida de 6.300 ucp/htv. Na utilização da equação 4 para a estimativa do fluxo de saturação da avenida Farrapos, estimou-se que 12% dos veículos provenientes dessa avenida dobram à direita (valor baseado nas filmagens da interseção). De acordo com o Manual do DENATRAN (BRASIL, 1979, p. 144) “[...] para cada excedente de 1% a mais do que os 10% de conversões à direita, deve-se admitir cada veículo que vira como equivalente a 1,25 de um veículo que vai em frente.”. A aplicação da equação 4 às características da avenida Farrapos resultou em um valor de $S = 5.955$ ucp/htv.

Comparando-se os valores de fluxos de saturação obtidos através da equação 4 e os obtidos por meio de histogramas de tráfego observa-se que, para as duas avenidas, os valores são bem próximos. Assim concluiu-se a validade dos resultados determinados com a elaboração dos histogramas de tráfego. Portanto, os valores dos fluxos de saturação utilizados para os cálculos da determinação da capacidade da interseção atual descritos a seguir, são os obtidos através dos histogramas de tráfego.

Os tempos de duração dos ciclos utilizados para o cálculo da capacidade da interseção semaforizada foram fornecidos pela EPTC e são os tempos com os quais a interseção opera

atualmente. No anexo B são indicados os tempos de ciclo da interseção semaforizada, bem como a sua variação conforme o dia da semana e seu horário.

Para o cálculo da capacidade da interseção, primeiramente determinou-se a hora do dia na qual a interseção recebe o maior volume de veículos. A determinação dessa hora foi realizada através da análise dos valores constantes no quadro 4, da qual concluiu-se que a interseção recebe a maior demanda de veículos no período das 7 h 15 min às 8 h 15 min. De acordo com o quadro AX-B2 (anexo B) nesse intervalo de tempo o cruzamento opera com o plano semaforico 2. Nesse plano estão programados 65 segundos de tempo de verde e três segundos de amarelo para a avenida dos Estados, e 41 segundos de luz verde e três segundos de amarelo para a avenida Farrapos. Entre cada fase há um período de vermelho total com duração de quatro segundos. O tempo total do ciclo possui 120 segundos. O tempo de verde efetivo para cada avenida foi determinado através da equação 3, na qual considerou-se um tempo perdido por fase igual a dois segundos. O cálculo da capacidade da avenida dos Estados é apresentado na equação 23:

$$\text{Cap} = 6.283 \times \frac{(65 + 3 - 2)}{120} = 3.456 \text{ veíc./htv} \quad (\text{equação 23})$$

A equação 24 descreve a determinação da capacidade da avenida Farrapos:

$$\text{Cap} = 5.672 \times \frac{(41 + 3 - 2)}{120} = 1.985 \text{ veíc./htv} \quad (\text{equação 24})$$

As capacidades obtidas com as equações 23 e 24 estão na unidade veíc./htv. Aplicando-se a proporcionalidade de tipos de veículos, indicadas anteriormente, obteve-se a capacidade na unidade ucp/htv para cada uma das avenidas, a saber: avenida dos Estados com capacidade igual a 3.580 ucp/htv e avenida Farrapos com capacidade de 2.113 ucp/htv.

7.1.2 Determinação da Capacidade da Interseção em 2019

Como descrito anteriormente, a capacidade do cruzamento semaforizado é dependente dos tempos de ciclo e de verde efetivo da aproximação. Para a estimativa da capacidade de um cruzamento semaforizado entre as avenidas dos Estados e Farrapos operando em 2019, primeiro foi preciso determinar esses tempos semafóricos.

De acordo com a equação 5, o tempo de um ciclo ótimo (ideal para o cruzamento) varia em função dos tempos perdidos totais e, principalmente, das taxas de ocupação críticas. Para os cálculos das taxas de ocupação foi utilizada a equação 6. Para tanto, dividiu-se a demanda de veículos de 2019 pelos fluxos de saturação. Os valores dos fluxos de saturação utilizados foram os calculados anteriormente, pois, por ser característica da aproximação, são iguais aos definidos para os cálculos de determinação da capacidade do cruzamento existente em 2009. Os cálculos das taxas de ocupação para as duas avenidas em estudo são mostradas nas equações 25 e 26 (os valores utilizados de fluxos de saturação estão na unidade ucp/htv).

Taxa de ocupação da avenida dos Estados:

$$y = \frac{4.771}{6.509} = 0,73 \quad (\text{equação 25})$$

Taxa de ocupação da avenida Farrapos:

$$y = \frac{2.717}{6.038} = 0,45 \quad (\text{equação 26})$$

Com pode ser visto na equação 25, a taxa de ocupação da avenida dos Estados resultou em um valor alto, em consequência disso, quando somadas as taxas de ocupação das duas avenidas obteve-se um valor igual a 1,18, maior que 1, inviabilizando o uso da equação 5 e o uso do método de Webster para o cálculo do ciclo semafórico da interseção. Como citado em

capítulo anterior, “valores de Y superiores a 0,85 têm grande possibilidade de produzir tempos de ciclo inviáveis.” (BRASIL, 1979, p. 82).

7.2 CAPACIDADE DA INTERSEÇÃO EM DESNÍVEL

Como apresentado em capítulo anterior, as duas avenidas da interseção proposta apresentam características semelhantes: ambas possuem múltiplas faixas de tráfego para cada sentido, separação física entre os diferentes fluxos de tráfego e velocidade máxima igual a 60 km/h. A determinação de sua capacidade foi feita de forma semelhante à determinação da capacidade de uma rodovia. Aproximando-se as características das avenidas às de pista dupla convencionais, as capacidades dessas vias puderam ser obtidas através do gráfico da figura 4.

Para a determinação da capacidade da interseção proposta, primeiramente foi determinado a velocidade de fluxo livre da via – VFL –. A VFL é em função das características da rodovia, e pode ser estimada através da equação 1. Para o cálculo da VFL da avenida dos Estados foram utilizados:

- a) BVFL = 71 km/h;
- b) $f_f = 0$ (faixas com largura igual a 3,6 m);
- c) $f_{el} = 2,7$ km/h (espaço livre lateral igual a 1,2 m);
- d) $f_{cc} = 0$ (fluxos divididos por canteiro central);
- e) $f_A = 0,67$ km/h (via com 1 acesso/km).

O valor básico da velocidade de fluxo livre (BVFL) foi definido, da mesma forma que para vias com velocidade máxima permitida entre 65 km/h a 70 km/h, acrescentando-se 11 km/h à velocidade máxima permitida na avenida (60 km/h) e os fatores de ajustamento foram adotados conforme os quadros apresentados no anexo A. Substituindo-se os valores acima na equação 1, foi obtido uma VFL igual a 67,6 km/h. De forma semelhante, o valor da VFL da avenida Farrapos foi definida utilizando-se os seguintes valores:

- a) BVFL = 71 km/h;

- b) $f_f = 2,1$ (faixas com largura igual a 3,4 m);
- c) $f_{el} = 2,7$ km/h (espaço livre lateral igual a 1,2 m);
- d) $f_{cc} = 0$ (fluxos divididos por canteiro central);
- e) $f_A = 2,67$ km/h (via com 4 acesso/km).

A aplicação da equação 1 resultou em uma VFL para a avenida Farrapos igual a 63,5 km/h.

O fim de cada uma das curvas de VFL apresentadas na figura 4 indica a capacidade da via. A fim de se definir uma equação que fornecesse a capacidade da rodovia em função da VFL, os valores obtidos na figura 4 foram plotados em um gráfico. Aos pontos do gráfico foi ajustada uma curva e definiu-se para essa uma equação do tipo linear. A figura 14 mostra o gráfico obtido.

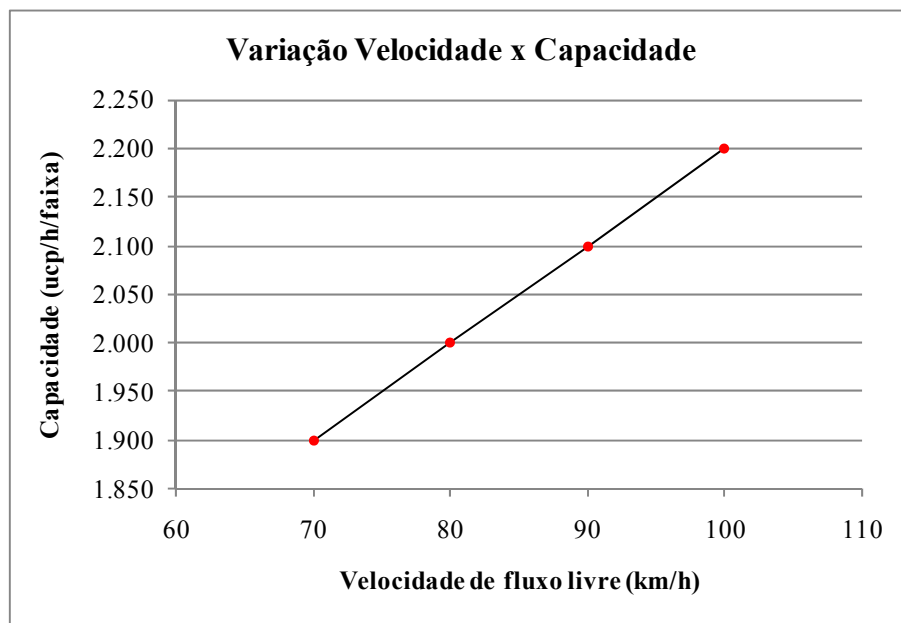


Figura 15: curva de variação da capacidade com a VFL

A equação linear ajustada à curva do gráfico da figura 14 foi:

$$\text{Cap}_{\text{ROD}} = 10 \times \text{VFL} + 1.200 \quad (\text{equação 27})$$

Onde:

Cap_{ROD} = capacidade de segmentos de rodovias de múltiplas faixas (ucp/h/faixa);

VFL = velocidade de fluxo livre (km/h).

Substituindo-se os valores da VFL de cada uma das avenidas na equação 27 e multiplicando-se os resultados por três (são três faixas de tráfego por sentido em cada uma das avenidas) foram obtidos os seguintes valores: para a avenida dos Estados uma capacidade igual a 5.628 ucp/h e para a avenida Farrapos uma capacidade de 5.506 ucp/h.

8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são reapresentados os valores de demanda de tráfego e capacidade das interseções obtidos no desenvolvimento do trabalho e os seus resultados são comparados. Com essa comparação entre capacidades das interseções (existente e proposta) e as demandas do cruzamento entre as avenidas estudadas, teve-se como objetivo a análise da eficácia de cada tipo de interseção. São apresentadas também, as aplicações de duas normas, as Normas Suecas e as Inglesas, utilizadas para a determinação do tipo de interseção a ser empregada em um cruzamento, em função dos volumes de tráfego de suas vias.

8.1 INTERSEÇÃO SEMAFORIZADA

A capacidade da interseção semaforizada existente no ano de 2009 foi calculada para a situação na qual o volume de veículos nas avenidas é maior. O quadro 15 apresenta os dados da capacidade das avenidas da interseção atual e a relação capacidade/VHP (demanda) para o ano de 2009 para cada uma delas.

Avenida	Capacidade (ucp/h)	Ano de 2009	
		VHP (ucp/h)	$\frac{\text{Capacidade}}{\text{VHP}}$
Av. dos Estados	3.580	2.915	1,23
Av. Farrapos	2.113	1.679	1,26

Quadro 15: relação capacidade/demanda da interseção existente do 2009

Como pode ser visto no quadro 15, a capacidade de tráfego da interseção semaforizada atende tanto a demanda de 2009 de veículos da avenida dos Estados quanto a demanda desse ano da avenida Farrapos, indicando que não há necessidade de aumento da capacidade do cruzamento para o volume de tráfego atual. Entretanto, como mostrado em capítulo anterior, não foi possível determinar a capacidade da interseção semaforizada, através do método de Webster, operando no ano de 2019, pois, essa depende dos tempos de ciclo semaforicos que,

por sua vez, dependem das taxas de ocupação das avenidas, que quando somadas resultaram em um valor maior que um, seu valor máximo.

Em função das taxas de ocupação das aproximações, é possível determinar qual o ano em que a interseção atual passa a necessitar de ampliação de capacidade de tráfego. Foram calculados, a partir de 2009, os volumes horários de projeto ao longo dos anos até o ano de 2019 (demanda) e as suas respectivas taxas de ocupação. Os valores obtidos estão detalhados no quadro 16.

Ano	Avenida Farrapos			Avenida dos Estados			Σy
	VHP (ucp/h)	S (ucp/h)	$y_{\text{fluxo B}}$	VHP (ucp/h)	S (ucp/h)	$y_{\text{fluxo D}}$	
2009	1.679	6.038	0,28	2.915	6.509	0,45	0,73
2010	1.761	6.038	0,29	3.062	6.509	0,47	0,76
2011	1.848	6.038	0,31	3.216	6.509	0,49	0,80
2012	1.939	6.038	0,32	3.379	6.509	0,52	0,84
2013	2.034	6.038	0,34	3.549	6.509	0,55	0,88
2014	2.135	6.038	0,35	3.728	6.509	0,57	0,93
2015	2.240	6.038	0,37	3.917	6.509	0,60	0,97
2016	2.350	6.038	0,39	4.115	6.509	0,63	1,02
2017	2.467	6.038	0,41	4.323	6.509	0,66	1,07
2018	2.589	6.038	0,43	4.541	6.509	0,70	1,13
2019	2.717	6.038	0,45	4.771	6.509	0,73	1,18

Quadro 16: taxas de ocupação das avenidas do cruzamento em diferentes anos

Como descrito anteriormente, recomenda-se que a soma das taxas de ocupação críticas seja inferior a 0,85 para que os tempos de ciclos sejam viáveis. Analisando-se os valores do quadro 16 conclui-se que a partir do ano de 2013 as taxas de ocupação passam a ser maiores que o valor limite recomendado e, no ano de 2016 o uso do método de Webster para o cálculo de tempos semafóricos não é mais possível.

Na impossibilidade de implantação de uma interseção em desnível para aumento de capacidade do cruzamento, metodologias mais atuais podem ser empregadas para o estudo e análise de cruzamentos semafóricos e otimização de tempos de ciclo, tais com a descrita no HCM e a ICU. A primeira relaciona a qualidade de operação do cruzamento à atrasos dos

veículos e a segunda, estima o nível de atendimento do tráfego por meio de um índice calculado em função dos tempos de ciclo.

8.2 INTERSEÇÃO EM DESNÍVEL

As capacidades das avenidas da interseção em desnível proposta foram determinadas baseadas nas suas velocidades de fluxo livre. A seguir são apresentados, no quadro 17, os valores obtidos para as capacidades, os valores da demanda nos anos de 2009 e 2019 e as relações capacidade/demanda.

Avenida	Capacidade (ucp/h)	Ano de 2009		Ano de 2019	
		VHP (ucp/h)	$\frac{\text{Capacidade}}{\text{VHP}}$	VHP (ucp/h)	$\frac{\text{Capacidade}}{\text{VHP}}$
Av. dos Estados	5.628	2.915	1,93	4.771	1,18
Av. Farrapos	5.506	1.679	3,28	2.717	2,03

Quadro 17: relação capacidade/demanda da interseção proposta

Como pode ser visto no quadro 17, para o ano de 2009 a capacidade oferecida por uma interseção em desnível para o cruzamento é significativamente superior à sua demanda. O valor de capacidade obtida, por exemplo, para a avenida Farrapos, chega a ser 3,3 vezes maior que o volume de tráfego da avenida. No caso da avenida dos Estados, a sua capacidade fica próximo ao dobro da sua demanda. Esses valores indicam que uma interseção em desnível não é indicada para a realidade atual. Entretanto, no ano de 2019, a relação capacidade/demanda diminui consideravelmente para as duas avenidas e, apesar da capacidade da avenida Farrapos ser duas vezes maior que o seu volume de tráfego, essa relação aplicada à avenida dos Estados chega a um valor próximo a um, indicando a viabilidade da interseção em desnível, pois, o atendimento da demanda de 2019 fica próximo a sua capacidade.

8.3 ESCOLHA DO TIPO DE INTERSEÇÃO UTILIZANDO AS NORMAS SUECAS E INGLESAS

A fim de se obter por meio de outros métodos a informação de qual a interseção é a apropriada para o cruzamento em estudo, foram utilizadas duas normas de escolha de tipo de interseção, as Normas Inglesas e as Suecas. Essas normas indicam, por meio de gráficos, a interseção adequada em função do VMD dos fluxos principais e secundários da interseção.

Caracterizou-se como fluxo principal o da avenida dos Estados, por ter um volume de tráfego maior, e como fluxo secundário o da Farrapos. Os valores dos VMD de 2009 e 2019 são os indicados nos quadros 10 e 12 respectivamente, e estão resumidos no quadro 18.

Avenida	VMDa de 2009	VMDa de 2019
Av. dos Estados	30.790	50.594
Av. Farrapos	17.358	28.282

Quadro 18: valores de VMDa de 2009 e de 2019 nas avenidas dos Estados e Farrapos

Para a aplicação das Normas Suecas considerou-se que as duas avenidas operam com uma velocidade de 70 km/h. Utilizando a figura 2, para interseções com quatro ramos, os valores de VMDa indicam um ponto situado além dos limites do gráfico. Entretanto, extrapolando-se os eixos, a tendência é que os valores de VMDa dos anos de 2009 e 2019 se situem na região do gráfico que indica a necessidade de uma interseção do tipo D ou F, que, de acordo com o Manual DNIT, são, respectivamente, rótula e interconexão (cruzamento em desnível) (BRASIL, 2005, 105-106).

O uso da Norma Inglesa foi através da figura 3. De acordo com o gráfico dessa figura, para os valores de VMDa que constam no quadro 18 o cruzamento, tanto em 2009 como em 2019, necessita de uma interseção com separação de níveis.

As duas normas utilizadas indicaram, em pelo menos uma de suas opções, o emprego da interseção em desnível, sendo que, a Norma Inglesa, indicada para áreas urbanas, apontou apenas essa solução. Analisando esses resultados, conclui-se que os valores de VMD que

solicitam a interseção são muito altos, não só o da via principal, como também, o da via secundária, justificando a adoção de separação de níveis entre os fluxos.

9 CONCLUSÕES

Atualmente, grandes investimentos têm sido aplicados no sistema de transportes a fim de se reduzir os tempos em congestionamentos e facilitar os deslocamentos das pessoas. Nesse contexto, o estudo realizado no trabalho analisa a eficácia da adoção de uma interseção em níveis diferentes para o cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos em Porto Alegre, em substituição da solução semaforizada que opera atualmente no cruzamento.

Através dos estudos de tráfego do cruzamento, constatou-se que as avenidas analisadas possuem uma alta demanda de veículos, que tende a crescer sensivelmente nos próximos anos. Verificou-se também que, tanto no ano de 2009 quanto no ano de projeto, 2019, o volume de veículos trafegando pela avenida dos Estados é muito superior ao volume trafegando na avenida Farrapos.

Apesar do alto volume de veículos no cruzamento, as análises de capacidades das avenidas nos dois tipos de interseções, mostraram que, para a demanda de tráfego atual, a interseção semaforizada opera dentro dos limites da sua capacidade e a implantação de uma solução em desnível é exagerada para o cruzamento. Analisando os valores obtidos de demanda e capacidade da interseção atual, pode-se concluir que as atuais filas em horas de pico de tráfego na região são devidas a outros elementos do sistema de transportes posteriores ao cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos, que por consequência, geram problemas de filas na interseção em estudo.

No entanto, as taxas de crescimento da frota de veículos do Rio grande do Sul deixaram claro que com o passar dos anos, o uso de semáforos para o cruzamento torna-se inviável. Aproximadamente no ano 2013, a taxa de ocupação da avenida dos Estados assume valores altos e, em decorrência disso, essa avenida passa a necessitar de altos tempos de passagem (tempos de verde). Nesse caso a utilização de semáforos deixa de ser indicado e, com a evolução dos anos e crescimento da frota de veículos, no ano de 2016 o seu emprego torna-se inviável. Na medida em que a interseção em nível torna-se pouco indicada para o cruzamento, a relação capacidade/demanda da interseção em níveis diferentes começa a tomar valores menores e mais atraentes, concluindo que em 2019, essa é a solução indicada para o

cruzamento. Cabe observar que as normas indicadas por manuais brasileiros, empregadas para definir o melhor tipo de interseção para um cruzamento (Normas Suecas e Inglesas), indicaram a solução em desnível para os dois principais anos analisados (2009 e 2019).

Apesar da constatação de que uma interseção em desnível é uma solução exagerada para o cruzamento quando observada a demanda atual, deve-se atentar que os estudos realizados mostraram que haverá necessidade de um cruzamento com maior capacidade de tráfego dentro de poucos anos e, como o tempo de implantação de uma obra desse porte é longo, seu planejamento com antecedência é essencial.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Justiça. Conselho Nacional de Trânsito. Departamento Nacional de Trânsito. **Manual de Semáforos**. Brasília, 1979. Serviços de Engenharia.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Relatório do Volume Médio Diário Horário. Brasília, 1994a. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/>>⁴. Acesso em: 18 out. 2010.

_____. Relatório do Volume Médio Diário Semanal. Brasília, 1994b. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/>>⁵. Acesso em: 18 out. 2010.

_____. Relatório do Volume Médio Diário Horário. Brasília, 1995a. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/>>⁶. Acesso em: 18 out. 2010.

_____. Relatório do Volume Médio Diário Semanal. Brasília, 1995b. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/>>⁷. Acesso em: 18 out. 2010.

_____. Relatório do Volume Médio Diário Horário. Brasília, 1999a. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/>>⁸. Acesso em: 18 out. 2010.

_____. Relatório do Volume Médio Diário Semanal. Brasília, 1999b. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/>>⁹. Acesso em: 18 out. 2010.

_____. Relatório do Volume Médio Diário Horário. Brasília, 2000a. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/>>¹⁰. Acesso em: 18 out. 2010.

_____. Relatório do Volume Médio Diário Semanal. Brasília, 2000b. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/>>¹¹. Acesso em: 18 out. 2010.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Projeto de Interseções**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Manual de Estudos de Tráfego**. Rio de Janeiro, 2006.

⁴ Quando no *site* <<http://www.dnit.gov.br/>>, usar o link rodoviário, selecionar Operações Rodoviárias e escolher o item Posto de Contagem.

⁵ Idem.

⁶ Idem.

⁷ Idem.

⁸ Idem.

⁹ Idem.

¹⁰ Idem.

¹¹ Idem.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Núcleo de Estudos de Tráfego. **Projeto II – Projeto Trienal de Coleta de Tráfego**. [Brasília], 2008.

GOOGLE EARTH. A 3D interface to the planet. Disponível em <<http://www.google.com/earth/index.html>>. Acesso em 12 set. 2010.

DEMARCHI, S. H.; SETTI, J. R. **Análise de Capacidade e Nível de Serviço de Segmentos Básicos de Rodovias utilizando o HCM 2000**: análise de capacidade e nível de serviço de rodovias. Disponível em <<http://www.producao.ufrgs.br/>>¹². Acesso em: 4 nov. 2009.

HUSCH, D.; ALBECK, J. **Intersection Capacity Utilization**: Evaluation Procedures for intersections and interchanges. Disponível em <<http://www.trafficware.com/>>¹³. Acesso em: 9 dez. 2010.

RIO GRANDE DO SUL. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **Projeto Geométrico de Interseções**. Porto Alegre, 1991. Normas de Projetos Rodoviários.

RIO GRANDE DO SUL. Departamento Estadual de Trânsito. Série Histórica da Frota em Circulação por Tipo de Veículo no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004. Disponível em <<http://www.detran.rs.gov.br/>>¹⁴. Acesso em: 18 out. 2010.

_____. Série Histórica da Frota em Circulação por Tipo de Veículo. Porto Alegre, 2005. Disponível em <<http://www.detran.rs.gov.br/>>¹⁵. Acesso em: 18 out. 2010.

_____. Série Histórica da Frota em Circulação por Tipo de Veículo. Porto Alegre, 2006. Disponível em <<http://www.detran.rs.gov.br/>>¹⁶. Acesso em: 18 out. 2010.

_____. Série Histórica da Frota em Circulação por Tipo de Veículo. Porto Alegre, 2007. Disponível em <<http://www.detran.rs.gov.br/>>¹⁷. Acesso em: 18 out. 2010.

_____. Série Histórica da Frota em Circulação por Tipo de Veículo. Porto Alegre, 2008. Disponível em <<http://www.detran.rs.gov.br/>>¹⁸. Acesso em: 18 out. 2010.

_____. Série Histórica da Frota em Circulação por Tipo de Veículo. Porto Alegre, 2009. Disponível em <<http://www.detran.rs.gov.br/>>¹⁹. Acesso em: 18 out. 2010.

¹² Quando no *site* <<http://www.producao.ufrgs.br/>>, usar o link disciplinas e selecionar Operações de Transportes.

¹³ Quando no *site* <<http://www.trafficware.com/>>, usar o link Products e selecionar o item ICU 2003. Fazer *download* do arquivo chamado ICU 2003 pdf.

¹⁴ Quando no *site* <<http://www.detran.rs.gov.br/>>, usar o link estatística, e selecionar Frota e escolher o item Série Histórica Anual da Frota.

¹⁵ Idem.

¹⁶ Idem.

¹⁷ Idem.

¹⁸ Idem.

¹⁹ Idem.

RODRIGUES, F. Avaliação de interseção semaforizada utilizando *software* de microssimulação: comparação entre metodologias utilizadas. **Rede ibero-americana de estudos em pólos geradores de viagens**. Disponível em < <http://redpgv.coppe.ufrj.br/>>²⁰. Acesso em: 9 dez. 2010.

SOARES, L. R. **Engenharia de Tráfego**. Rio de Janeiro: Almeida Neves, 1975.

UNITED STATES OF AMERICA. Transportation Research Board. National Research Council. **Highway Capacity Manual**. Washington, DC, 2000.

²⁰ Quando no *site* <<http://redpgv.coppe.ufrj.br/>>, usar o link Produção da Rede, acessar Artigos Científicos e escolher o ano de 2007. Selecionar o artigo pelo nome.

APÊNDICE A – Quantidades veiculares identificadas nas filmagens

A elaboração dos histogramas de tráfego utilizados para o cálculo dos fluxos de saturação das avenidas dos Estados e Farrapos foi realizada através de contagens veiculares feitas observando-se filmagens do cruzamento. As filmagens ocorreram no dia 15 de setembro de 2010. As quantidades de veículos observadas na avenida dos Estados constam no quadro AP-A1 de forma acumulada, organizadas de acordo com o número da faixa conforme a figura 13. Nesse quadro também são apresentadas as taxas de escoamento de cada faixa por intervalo de cinco segundos da avenida. Os mesmos são apresentados para a avenida Farrapos no quadro AP-A2.

Faixa	Tempo (segundos)	Contagem 1	Contagem 2	Contagem 3	Contagem 4	Contagem 5	Contagem 6	Taxa de escoamento (Te) (veic./ 5 seg)
Faixa 1	5	1	2	3	2	0	2	1,67
	10	4	5	5	3	1	3	1,83
	15	7	7	7	5	3	6	2,33
	20	8	10	9	8	5	8	2,17
	25	11	12	13	11	7	10	2,67
	30	14	15	15	14	10	12	2,67
	35	16	17	17	15	13	14	2,00
	40	18	20	18	17	16	16	2,17
	45	20	23	20	20	18	17	2,17
	50	22	24	22	22	19	18	1,50
	55	24	26	24	24	19	20	1,67
60	25	27	25	26	20	21	1,17	
65	25	27	27	28	21	22	1,00	
Faixa 2	5	1	2	2	2	1	1	1,50
	10	4	4	3	5	2	4	2,17
	15	6	6	5	8	3	7	2,17
	20	8	7	8	10	6	9	2,17
	25	9	10	9	13	8	12	2,17
	30	9	11	11	15	10	15	1,67
	35	9	11	13	16	12	16	1,00
	40	10	12	14	18	15	16	1,33
	45	13	12	16	19	17	16	1,33
	50	14	12	17	21	20	17	1,33
	55	14	13	17	22	21	19	0,83
60	14	15	19	24	21	21	1,33	
65	14	16	19	24	21	22	0,33	
Faixa 3	5	1	1	3	2	1	2	1,67
	10	4	3	4	4	3	4	2,00
	15	6	6	5	5	5	7	2,00
	20	8	9	7	8	7	10	2,50
	25	10	10	10	10	10	11	2,00
	30	13	13	11	12	11	13	2,00
	35	14	14	12	14	11	14	1,00
	40	15	15	15	16	13	14	1,50
	45	15	15	18	16	13	14	0,50
	50	15	16	20	19	15	16	1,67
	55	16	17	22	19	16	18	1,17
60	19	18	22	20	16	19	1,00	
65	19	19	24	22	16	22	1,33	
Faixa 4	5	1	2	3	2	1		1,80
	10	4	5	5	3	4		2,40
	15	7	8	7	5	5		2,20
	20	9	10	9	7	8		2,20
	25	10	12	10	8	12		1,80
	30	10	15	11	9	13		1,20
	35	10	18	11	11	14		1,20
	40	10	19	14	12	16		1,40
	45	10	22	15	14	16		1,20
	50	11	24	16	15	16		1,00
	55	11	25	16	17	17		0,80
60	11	26	18	18	18		1,00	
65	11	26	18	18	18		0,00	

Quadro AP-A1: contagens acumuladas realizadas a partir de filmagens na avenida dos Estados

Faixa	Tempo (segundos)	Contagem 1	Contagem 2	Contagem 3	Contagem 4	Contagem 5	Taxa de escoamento (Te) (veic./ 5 seg)
Faixa 1	5	2	2	2	3	2	2,20
	10	4	5	7	4	4	2,60
	15	6	8	10	9	5	2,80
	20	9	10	13	12	8	2,80
	25	13	12	13	14	11	2,20
	30	17	15	15	16	12	2,40
	35	19	19	17	18	13	2,20
	40	21	21	20	22	14	2,40
	45	23	24	20	22	15	1,20
	50	23	26	20	22	16	0,60
Faixa 2	5	2	2	2	2	2	2,00
	10	3	6	5	3	5	2,40
	15	6	8	6	4	7	1,80
	20	8	8	8	6	10	1,80
	25	11	11	10	8	11	2,20
	30	14	15	11	8	12	1,80
	35	17	17	12	11	13	2,00
	40	19	17	14	14	15	1,80
	45	20	20	16	15	18	2,00
	50	20	22	20	16	20	1,80
Faixa 3	5	2	1	2	2	1	1,60
	10	5	3	5	5	2	2,40
	15	7	5	8	7	4	2,20
	20	9	9	9	9	6	2,20
	25	11	11	10	10	9	1,80
	30	11	12	11	11	9	0,60
	35	12	13	11	11	9	0,40
	40	12	13	12	12	10	0,60
	45	13	14	12	12	10	0,40
	50	13	14	12	13	10	0,20
Faixa 4	5	2	1	1	1	1	1,20
	10	3	3	3	2	3	1,60
	15	5	4	4	3	5	1,40
	20	6	5	5	4	5	0,80
	25	6	6	6	4	6	0,60
	30	6	6	7	5	6	0,40
	35	6	7	7	6	6	0,40
	40	6	7	6	7	7	0,20
	45	6	7	7	7	8	0,40
	50	7	7	8	7	8	0,40

Quadro AP-A2: contagens acumuladas realizadas a partir de filmagens na avenida Farrapos

**ANEXO A – Fatores de ajustamento de velocidades de fluxo livre de
rodovias de múltiplas faixas**

A equação 1, utilizada para o cálculo da VFL de uma via de múltiplas faixas, emprega fatores de ajustamento para a redução da BVFL adotada. Esses fatores alteram a BVFL em função de algumas características consideradas relevantes da via. O quadro AX-A1 indica o valor do fator a ser adotado em função da largura da faixa da via.

Largura de Faixa (m)	Redução f_f (km/h)
3,6	0
3,5	1,0
3,4	2,1
3,3	3,1
3,2	5,6
3,1	8,1
3,0	10,6

Quadro AX-A1: ajustamento para largura de faixa (BRASIL, 2006, p. 299)

Para a determinação do fator de ajustamento para espaço livre lateral é preciso, primeiramente, determinar o espaço lateral, que é a soma do espaço livre entre o bordo direito da pista até a faixa de rolamento ou alguma obstrução na via, e do espaço livre entre o bordo esquerdo até a faixa de rolamento ou obstrução na via. Cada espaço livre não pode assumir valor superior a 1,8 m, caso o espaço ultrapasse esse valor, deve-se adotar 1,8 m como limite (BRASIL, 2006, p. 299). Uma vez determinado o valor do espaço lateral, o fator de ajustamento para espaço livre lateral é definido de acordo com o indicado no quadro AX-A2.

Rodovias de 4 faixas		Rodovias de 6 faixas	
Espaço lateral (m)	Redução f_{el} (km/h)	Espaço lateral (m)	Redução f_{el} (km/h)
3,6	0	3,6	0
3	0,6	3	0,6
2,4	1,5	2,4	1,5
1,8	2,1	1,8	2,1
1,2	3	1,2	2,7
0,6	5,8	0,6	4,5
0	8,7	0	6,3

Quadro AX-A2: ajustamento para espaço livre lateral (BRASIL, 2006, p. 300)

O fator de ajustamento para tipo de canteiro central é indicado no quadro AX-A3. Esse fator é definido segundo a existência ou não do canteiro central a via.

Tipo de canteiro central	Redução f_{cc} (km/h)
Rodovias sem canteiro central	2,6
Rodovias com canteiro central	0

Quadro AX-A3: ajustamento para o tipo de canteiro central (BRASIL, 2006, p. 300)

Para a determinação do fator de ajustamento para o número de acessos, é necessário conhecer quantos acessos existem na via por quilômetro, e o fator é obtido através do quadro AX-A4.

Acesso por km	Redução f_A (km/h)
0	0
6	4
12	8
18	12
≥ 24	16

Quadro AX-A4: ajustamento devido a densidade de acessos (BRASIL, 2006, p. 300)

**ANEXO B – Tempos semafóricos aplicados pela EPTC no cruzamento
entre as avenidas dos Estados e Farrapos**

Os tempos dos ciclos semaforicos utilizados para a determinação da capacidade da interseção existente foram fornecidos pela EPTC e estão indicados no quadro AX-B1. Nesse quadro constam os 11 planos semaforicos programados para o cruzamento. O tempo de vermelho total é o período em que nenhuma aproximação tem o direito de passagem.

Plano	Avenida do Estados		Avenida Farrapos		Tempo de vermelho total (segundos)
	Tempo de verde (segundos)	Tempo de amarelo (segundos)	Tempo de verde (segundos)	Tempo de amarelo (segundos)	
1	31	3	25	3	8
2	65	3	41	3	8
3	43	3	33	3	8
4	39	3	27	3	8
5	43	3	33	3	8
6	65	3	51	3	8
7	44	3	32	3	8
8	14	3	12	3	8
9	61	3	55	3	8
10	55	3	51	3	8
11	58	3	18	3	8

Quadro AX-B1: planos de ciclos semaforicos aplicados pela EPTC no cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos (trabalho não publicado)²¹

No quadro AX-B2 estão indicados os dias e horários nos quais os planos semaforicos do quadro AX-B1 são aplicados ao cruzamento.

²¹ Tempos de ciclos semaforicos fornecidos pela EPTC, pertencente à Secretaria Municipal de Mobilidade Urbana de Porto Alegre.

Dias da semana	Plano	Horário de início
todos	1	4 h 58 min 55 seg
segunda-feira à sexta-feira	2	6 h 59 min 47 seg
segunda-feira à sexta-feira	3	8 h 28 min 54 seg
segunda-feira à sexta-feira	4	9 h 43 min 53 seg
segunda-feira à sexta-feira	5	11 h 13 min 47 seg
segunda-feira à sexta-feira	6	11 h 43 min 34 seg
segunda-feira à sexta-feira	7	12 h 58 min 48 seg
segunda-feira à sexta-feira	6	15 h 43 min 45 seg
segunda-feira à sexta-feira	9	17 h 29 min 40 seg
segunda-feira à sexta-feira	5	19 h 28 min 47 seg
segunda-feira à sexta-feira	1	20 h 28 min 55 seg
segunda-feira à sexta-feira	8	0 h 59 min 5 seg
sábado e domingo	8	2 h 59 min 5 seg
segunda-feira à sexta-feira	10	7 h 41 min 47 seg
domingo	11	17 h 29 min 40 seg
domingo	1	20 h 28 min 55 seg

Quadro AX-B2: dias e horários de aplicação dos planos semaforicos da EPTC
(trabalho não publicado)²²

²² Dias e horários de aplicação dos planos semaforicos fornecidos pela EPTC, pertencente à Secretaria Municipal de Mobilidade Urbana de Porto Alegre.