

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

Gabriela Fernandes Dalprá

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO SIMTRAFFIC
AOS PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL
DOS MOTORISTAS**

Porto Alegre

julho 2011

GABRIELA FERNANDES DALPRÁ

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO SIMTRAFFIC
AOS PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL
DOS MOTORISTAS**

Trabalho de Diplomação 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

Orientadora: Helena Beatriz Bettella Cybis

Porto Alegre
julho 2011

GABRIELA FERNANDES DALPRÁ

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO SIMTRAFFIC
AOS PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL
DOS MOTORISTAS**

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

Porto Alegre, julho de 2011

Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis
Ph.D. pela Universidade de Leeds
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis (UFRGS)
Ph.D. pela Universidade de Leeds

Eng. Roberta Dal Sasso Meira
Mestre pela Universidade Politecnica de Valencia

Prof. Fernando Dutra Michel (UFRGS)
Mestre pela Pontifícia Universidade Católica/RJ

Dedico este trabalho a meus pais e meus irmãos, que sempre compreenderam minha ausência durante o período de graduação e me apoiaram incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis, por assumir esse desafio comigo, e pela orientação fundamental para este trabalho.

Agradeço ao corpo docente da Escola de Engenharia da UFRGS, pela formação acadêmica de qualidade que me proporcionaram.

Agradeço à Profa. Carin Maria Schmitt, pela dedicação em tempo integral não somente aos trabalhos, mas principalmente aos alunos.

Agradeço aos engenheiros André Bresolin Pinto, Roberta Dal Sasso Meira e Marcelle Dorneles Ribeiro, que me acolheram e me ensinaram a aplicar conhecimentos adquiridos durante o período de graduação.

Agradeço ao meu namorado Ricardo Farias de Castro, pelo apoio incondicional e compreensão nos momentos em que os estudos me mantiveram distante.

Agradeço meus irmãos Enrique Fernandes Dalprá e Luiz Felipe Lizza Dalprá, e à minha “boadrasta” Arlete Piazza Dalprá, pelo carinho, incentivo e compreensão em todos os momentos importantes da minha vida.

Agradeço em especial à minha mãe Fernanda Fernandes Dalprá e meu pai Luiz Domingos Lizza Dalprá, que além de me darem todo amor do mundo, me ensinaram a valorizar todos os momentos em família, com amigos e pessoas que gostamos.

Sem saber que era impossível, ele foi lá e fez.

Jean Cocteau

RESUMO

DALPRÁ, G. F. **Análise de Sensibilidade de um Modelo de Simulação de Tráfego**. 2011. 65 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Os grandes centros urbanos estão com sua expansão territorial comprometida e, mesmo com essa limitação, continuam recebendo pessoas de outras localidades que neles se instalam. Com a constante necessidade de locomoção da população, as vias urbanas das grandes cidades sofrem congestionamentos que se agravam ao longo do tempo. A responsabilidade da ocorrência desse fenômeno nas grandes cidades não é exclusiva do volume veículos que trafega na via, mas também do comportamento de quem os conduz: os motoristas. Nesse trabalho é abordada a importância das diversas características dos condutores e seu comportamento nas vias, utilizando o *software* de microsimulação *Synchro*. O trabalho analisa a sensibilidade do modelo devido à variação de parâmetros que influenciam de forma direta os resultados de simulação. Esse trabalho apresenta os três tipos de simulação de tráfego, macro, meso e microsimulação, e suas principais diferenças. Num segundo momento, o trabalho direciona-se ao pacote de microsimulação *Synchro/SimTraffic*, apresentando os parâmetros de codificação e considerações sobre suas aplicações. Para a obtenção de resultados expressivos, é necessário conhecer os elementos básicos que compõem uma rede de tráfego, como *layout*, nós, vias e volume de tráfego, e conhecer a forma como os veículos trafegam nela, seus movimentos longitudinais e transversais. As características do modelo passíveis de calibração são apresentadas, direcionadas aos principais parâmetros que influenciam diretamente os resultados da simulação, de forma simplificada. Apresenta-se um comparativo entre o *software* de microsimulação utilizado e outros programas disponíveis no mercado, mostrando seu uso em diversos estudos. As etapas seguintes constituíram-se na definição da rede estudada, dos parâmetros de entrada e de saída analisados, bem como na técnica de análise de simulação para avaliação de parâmetros individuais e combinação de motoristas. Após a apresentação dos resultados obtidos através das simulações, são feitas considerações finais que encerram o trabalho.

Palavras-chave: *Synchro*; calibração de modelos de simulação; análise de sensibilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: representação esquemática do delineamento da pesquisa	16
Figura 2: movimentos das aproximações nos nós	24
Figura 3: programa <i>Synchro</i>	28
Figura 4: distâncias adotadas para troca de faixa simples	35
Figura 5: distâncias adotadas para troca de duas ou mais faixas	36
Figura 6: trecho viário selecionado para o estudo	46
Figura 7: tipos de motoristas considerados no estudo.....	52
Figura 8: velocidade média para $v/c=0,40$	57
Figura 9: velocidade média para $v/c=0,70$	57
Figura 10: velocidade média para $v/c=0,90$	58
Figura 11: tempo de viagem para $v/c=0,40$	61
Figura 12: tempo de viagem para $v/c=0,70$	61
Figura 13: tempo de viagem para $v/c=0,90$	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: nível de serviço para interseções semaforizadas segundo HCM 2000	25
Quadro 2: nível de serviço para interseções não semaforizadas segundo HCM 2000.....	25
Quadro 3: nível de serviço segundo ICU 2003	26
Quadro 4: fator hora pico	27
Quadro 5: taxas de desaceleração	30
Quadro 6: distâncias padrão para troca de faixa	36
Quadro 7: comparação qualitativa entre os programas	42
Quadro 8: comparação entre os parâmetros <i>default</i> dos programas	43
Quadro 9: comparação entre compatibilidade dos programas com outros <i>softwares</i> de transporte	43
Quadro 10: facilidade na codificação da rede	44
Quadro 11: tipos de motorista com valores de parâmetros <i>default</i>	48
Quadro 12: parâmetros de entrada escolhidos para análise de sensibilidade	49
Quadro 13: motorista-padrão com valores de parâmetros médios	50
Quadro 14: parâmetros de saída escolhidos para análise de sensibilidade	51
Quadro 15: tipos de motorista com valores de parâmetros definidos para o trabalho	52
Quadro 16: dados de entrada dos parâmetros para as simulações	53
Quadro 17: velocidade média para $v/c=0,40$	55
Quadro 18: velocidade média para $v/c=0,70$	56
Quadro 19: velocidade média para $v/c=0,90$	56
Quadro 20: tempo de viagem para $v/c=0,40$	60
Quadro 21: tempo de viagem para $v/c=0,70$	60
Quadro 22: tempo de viagem para $v/c=0,90$	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MÉTODO DE PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	14
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	14
2.2.1 Objetivo principal	14
2.2.2 Objetivos secundários	14
2.3 PRESSUPOSTO	15
2.4 DELIMITAÇÕES	15
2.5 LIMITAÇÕES	15
2.6 DELINEAMENTO	15
3 MODELOS DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO	18
3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO	18
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE TRÁFEGO	19
3.3 MODELOS MICROSCÓPICOS DE TRÁFEGO	21
4 O MODELO <i>SYNCHRO</i>	22
4.1 CARACTERÍSTICAS DO PACOTE <i>SYNCHRO</i>	22
4.1.1 Programa <i>Synchro</i>	22
4.1.1.1 Codificação do <i>layout</i>	23
4.1.1.2 Codificação dos nós	23
4.1.1.3 Codificação das vias	26
4.1.1.4 Codificação de volumes	26
4.1.1.5 Codificação de semáforos	27
4.1.2 Programa <i>SimTraffic</i>	28
4.1.2.1 Intervalos	28
4.1.2.2 Veículos	29
4.1.2.3 Motorista	29
4.1.2.4 Consumo de Combustível e Emissões	30
4.2 PROGRESSÃO LONGITUDINAL	30
4.3 MOVIMENTO LATERAL	34
4.4 PARÂMETROS DO PROGRAMA <i>SIMTRAFFIC</i>	36
4.4.1 Parâmetros do Veículo	37
4.4.2 Parâmetros do Motorista	37
4.4.3 Parâmetros de Saída da Simulação	39

5 COMPARAÇÃO COM OUTROS MODELOS E APLICAÇÕES	41
6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	45
6.1 SELEÇÃO DA REDE	45
6.2 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DO MOTORISTA	47
6.3 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SAÍDA DO PROGRAMA	50
6.4 SIMULAÇÕES	51
6.4.1 Avaliação Individual dos Parâmetros de Calibração do Motorista	53
6.4.2 Avaliação Conjunta dos Parâmetros de Calibração do Motorista	53
6.5 RESULTADOS	54
6.5.1 Velocidade Média	54
6.5.2 Tempo de Viagem	58
6.5.3 Desvio Padrão dos Resultados	63
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS	66
APÊNDICE A – Cálculo dos Desvios Padrão para os Tempos de Viagem	67

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento do tráfego vem sendo um dos principais desafios dos gestores dos grandes centros urbanos devido ao considerável aumento na frota automotiva nos últimos anos. Dos diversos problemas que o acréscimo no número de veículos pode causar, o congestionamento é o mais perceptível à sociedade e um dos mais difíceis de contornar ou amenizar por envolver entre outras variáveis, as humanas. Para a identificação adequada da influência das variáveis que incidem sobre as condições de tráfego, faz-se necessária a utilização de instrumentos para formatação da solução do problema aqui posto, fornecendo substratos para tomada de decisões.

Com este propósito, o uso de ferramentas computacionais para reproduzir as múltiplas situações observadas nas redes viárias tem tomado grande importância na formulação de estudos feitos por técnicos da área, sendo a confiabilidade dos simuladores dependente da sua habilidade em produzir resultados próximos à realidade. Os modelos oferecem parâmetros com valores *default*, mas cabe ao analista identificar valores apropriados à sua realidade. Os desenvolvedores dos modelos de simulação baseiam-se em características do tráfego local quando definem os valores dos parâmetros de calibração, portanto, é importante conhecer as características do cenário a ser analisado para que a ferramenta simule com fidelidade o comportamento do tráfego observado.

Considerando os motivos citados para este trabalho, será utilizado o *software* de microsimulação de tráfego Synchro, largamente utilizado em Estudos de Impacto de Tráfego (EIT) na cidade de Porto Alegre. O programa demanda poucos dados de entrada, tornando a calibração e análises possíveis de serem feitas em tempo relativamente rápido para entrega de estudos. Esse trabalho propõe-se a verificar qual a influência da variação de parâmetros de simulação nos resultados obtidos, utilizando essa ferramenta computacional.

O capítulo 2 apresenta o método de pesquisa, indicando a questão de pesquisa, objetivos do trabalho, pressuposto, delimitações, limitações e delineamento do trabalho. O capítulo 3 introduz o conceito de definição de microsimulação de tráfego. Já o capítulo 4 aborda o modelo *Synchro* e *SimTraffic*, suas características de programação e parâmetros de entrada e

saída. O capítulo 5 apresenta uma comparação entre o microssimulador utilizado nesse trabalho e outros softwares disponíveis no mercado. O capítulo 6 descreve a análise de sensibilidade, discorre da escolha da rede estudada, apresenta a avaliação dos parâmetros de entrada e saída do programa e resultados das simulações realizadas. O capítulo 7 encerra o trabalho com as considerações finais.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo estão apresentados os itens relativos à questão de pesquisa, objetivos, pressupostos, premissas, delimitações, limitações e delineamento da pesquisa.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão que motivou essa pesquisa é: quão sensíveis são os resultados dos modelos em relação à variabilidade de parâmetros de calibração do motorista?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos dessa pesquisa estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

Esta pesquisa tem por objetivo principal a avaliação da sensibilidade das respostas do modelo à variabilidade de parâmetros de calibração do motorista.

2.2.2 Objetivos secundários

São objetivos secundários do trabalho:

- a) avaliação dos parâmetros do modelo e seus valores *default*;
- b) descrição do processo de análise de sensibilidade de modelos de simulação.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que as rotinas de tráfego contidas no modelo de simulação são capazes de representar adequadamente as diversas situações de trânsito observadas em campo, se calibradas.

2.4 DELIMITAÇÕES

O presente trabalho delimita-se à análise de sensibilidade de parâmetros de um microssimulador de tráfego, simuladas num trecho específico da malha viária de Porto Alegre.

2.5 LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se a analisar a sensibilidade do microssimulador de tráfego *Synchro*, considerando:

- a) parâmetros de entrada,
 - desaceleração em amarelo;
 - fator de velocidade;
 - taxa de desaceleração de cortesia;
 - tempo de reação em amarelo;
 - tempo de reação em verde;
- b) parâmetros de controle,
 - tempo de viagem;
 - velocidade média.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 1 e descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) escolha e modelagem da rede viária de interesse;

- c) avaliação dos parâmetros e seus valores *default*;
- d) análise de sensibilidade do modelo;
- e) análise de resultados;
- f) considerações finais.

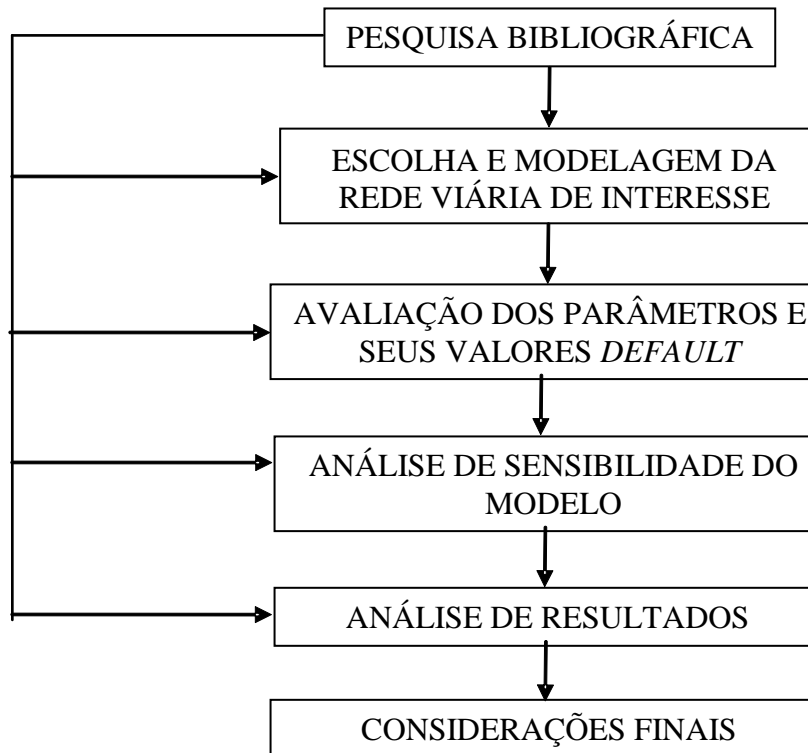


Figura 1: representação esquemática do delineamento da pesquisa

A etapa de pesquisa bibliográfica foi realizada ao longo de todo o trabalho e dedicou-se à pesquisa da metodologia do modelo *Synchro*, assim como métodos utilizados para a análise de sensibilidade de modelos, análise de resultados e considerações finais.

A etapa seguinte consistiu na escolha e modelagem da rede viária estudada, sendo o trecho analisado longo o suficiente para que os veículos pudessem desenvolver velocidades próximas às praticadas na realidade. O trecho também não poderia apresentar perturbações recorrentes no fluxo de veículos, para que as simulações pudessem representar o desenvolvimento dos automóveis na rede de maneira correta.

A etapa de avaliação dos parâmetros e seus valores *default* consistiu na descrição dos parâmetros de calibração do motorista existentes no programa, bem como na sua avaliação

quanto à utilização dos parâmetros em análise de sensibilidade. Nessa etapa, buscaram-se indicativos físicos que fossem de fácil percepção na avaliação dos resultados do modelo.

A análise de sensibilidade do programa *Synchro* foi feita para melhor entendimento deste, identificando os parâmetros mais sensíveis às variações de valores. Os parâmetros de entrada considerados foram avaliados individualmente e em grupos de modo a buscar indicadores de alterações no sistema.

Já na análise de resultados foram avaliados os dados de saída do modelo, fazendo avaliação crítica em busca de possíveis erros cometidos no processo, para então qualificar os resultados obtidos. O trabalho foi finalizado na apresentação das considerações finais, nas quais foram indicados os parâmetros mais sensíveis à variabilidade, presentes no modelo estudado.

3 MODELOS DE SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

O uso de modelos de simulação para estudo de tráfego tem sido uma forma cada vez mais popular e eficaz na análise de uma ampla variedade de problemas dinâmicos não passíveis de estudo por outros meios. Esse tipo de problema usualmente está associado com processos complexos que não podem ser facilmente descritos em termos analíticos (LIEBERMAN; RATHI, 1997, p. 10-1). Transportation Research Board¹ (2000 apud PECKER, 2003, p. 15) salienta que a simulação tem um papel importante no desenvolvimento de novos processos e metodologias analíticas. Assim, este capítulo apresenta uma visão mais ampla dos modelos de simulação de tráfego, com ênfase nos modelos microscópicos.

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO

Segundo Shannon² (1977 apud PECKER, 2003, p. 16), simulação é um processo no qual se desenvolve um modelo baseado em um sistema real com o objetivo de estudar seu comportamento e avaliar sua operação. Dowling et al. (2004, p. 95) salientam que os modelos de simulação são projetados para simular o comportamento do tráfego numa rede viária ao longo do tempo e prever o desempenho do sistema. Esses modelos incluem abstrações lógicas e matemáticas do sistema real, implementados em *softwares* computacionais.

Uma das grandes vantagens na utilização de modelos computacionais é a possibilidade de repetição das simulações tantas vezes quanto necessárias, podendo-se fazer análises das variáveis de saída de forma independente e assim investigar a influência de cada parâmetro nos diversos cenários analisados (NOWOTTNY; HARDMAN, 1977³ apud PECKER, 2003, p. 16).

Os resultados dos modelos de simulação descrevem a operação do sistema em dois formatos: estatística e graficamente. Os resultados numéricos fornecem ao técnico descrições quantitativas detalhadas do que é provável que aconteça. As representações gráficas fornecem

¹ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual 2000**. Washington, D. C.: National Research Council, 2000.

² SHANNON, R. **System Simulation: the art and science**. Englewood-Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1975.

³ NOWOTTNY, P. M.; HARDMAN, E. J. **Preliminary Report on a Computer Simulation of Car Driven**. Crowthorne, UK: TRRL, 1977.

informações para o observador de forma que este possa compreender os motivos do comportamento do sistema.

3.2 CLASIFICAÇÃO DOS MODELOS DE TRÁFEGO

Modelos de tráfego tradicionais muitas vezes consideram o tráfego como pelotões homogêneos que obedecem a relações simples de fluxo/velocidade. Esses modelos tem dificuldade em avaliar a eficácia dos sistemas inteligentes de transportes que muitas vezes exigem interações individuais entre veículos (LIND et al., 1999, p. 1). Os modelos de tráfego podem ser classificados de acordo com (LIEBERMAN; RATHI, 1997, p. 10-6):

- a) nível de detalhe que são tratados os elementos do sistema;
- b) escala de variáveis independentes;
- c) processos que regem o sistema, e;
- d) escala de aplicação.

De acordo com o nível de detalhamento que são tratados os elementos do sistema, os modelos podem ser classificados em:

- a) macroscópicos: esses modelos simulam os fluxos de tráfego levando em consideração as características agregadas (velocidade, volumes e densidade) e suas relações. Geralmente, modelos macroscópicos empregam equações de conservação do fluxo e consideram a maneira como os distúrbios do tráfego se propagam no sistema. Eles podem ser usados para prever a extensão espacial e temporal de congestionamentos causados pela demanda de tráfego incidente numa rede, sem simular interações entre os veículos (LIEBERMAN; RATHI, 1997, p. 10-6);
- b) mesoscópicos: esses modelos simulam veículos de forma individual, mas descrevem suas atividades e interações de forma agregada (LIEBERMAN; RATHI, 1997, p. 10-6);
- c) microscópicos: esses modelos simulam as características e interações entre veículos de forma individual. As trajetórias são produzidas ao longo do movimento do veículo na rede, onde o processo lógico inclui algoritmos e regras que descrevem como os veículos se movimentam e interagem, incluindo aceleração, desaceleração, troca de faixa e movimentos de ultrapassagem. (DOWLING et al., 2004, p. 96).

Segundo Lieberman e Rathi (1997, p. 10-7), em se tratando de escala de variáveis, os modelos de simulação de tráfego consideram como variável independente o tempo, podendo então este ser classificado em:

- a) contínuos: esses modelos descrevem como os elementos de um sistema mudam continuamente ao longo do tempo em resposta a estímulos contínuos;
- b) discretos: os estados dos sistemas mudam abruptamente em determinados pontos no tempo. Nesses modelos, o estado pode ser modificado em determinados e sucessivos intervalos de tempo (tempos discretos) ou em ocorrência a eventos pré-determinados (eventos discretos).

Já em relação à classificação dos processos representados pelos modelos, estes podem ser divididos em determinísticos ou estocásticos (LIEBERMAN; RATHI, 1997, p. 10-7):

- a) determinísticos: modelos determinísticos não possuem variáveis aleatórias, todas as interações entre as entidades do sistema são definidas por relações matemáticas, estatísticas e lógicas;
- b) estocásticos: possuem funções de probabilidade em seus modelos.

Ainda de acordo com Lieberman e Rathi (1997, p. 10-1), a simulação tem sido largamente utilizada no estudo de tratamentos alternativos, pois permite ao engenheiro controlar o ambiente e as condições a serem exploradas. Como exemplo, pode-se citar o transporte público, sistema que demanda grandes investimentos. Antes de haver um comprometimento financeiro, a simulação pode ser aplicada para quantificar o desempenho do tráfego em resposta a diferentes geometrias.

Esse processo pode ser utilizado na identificação de possíveis falhas nos projetos bem como suas limitações. A simulação fornece dados estatísticos detalhados sobre a modelagem e animação gráfica de seus resultados, tornando-se uma ferramenta de grande utilidade para o engenheiro de forma a orientá-lo no aprimoramento do projeto e assim, continuar o processo.

Os recursos de simulação de tráfego também podem ser utilizados para treinamento de operadores de centros de gestão de tráfego como um laboratório em tempo real. Esse tipo de ferramenta pode recriar cenários de riscos, auxiliando na pesquisa para projetos de veículos e rodovias mais seguras. Segundo Lind et al. (1999, p. 2), modelos capazes de reproduzir o comportamento individual do condutor devem ser parte essencial de qualquer instrumento de avaliação. De posse dessas ferramentas, o engenheiro de tráfego possui maior controle e confiança sobre as condições da rede atual e futura.

3.3 MODELOS MICROSCÓPICOS DE TRÁFEGO

Segundo Araújo (2003, p. 13), modelos microscópicos representam as entidades no tráfego individualmente e assim, avaliam explicitamente as interações veículo a veículo. Esses modelos tem como fundamentação básica as movimentações e interações ao longo de duas direções: longitudinalmente, ao longo do arco, e transversalmente através das faixas da pista.

O modelo *car-following* representa o movimento ao longo do arco, definindo assim a velocidade desenvolvida pelo veículo ao longo da rede. Esses modelos consideram a influência do veículo precedente – veículo líder – na velocidade do veículo sucessor, ou seguidor. A velocidade assumida pelo veículo seguidor é determinada de acordo com a velocidade do veículo à sua frente e a distância entre os mesmos.

Araújo (2003, p. 13) indica que “A movimentação transversal dos veículos através da pista, associada à troca de faixas, é avaliada por modelos de *lane-changing*”. Assim, são feitas considerações correspondentes a estímulo para troca de faixa, identificação da faixa alvo e avaliação das condições da faixa alvo para que o movimento seja executado.

Araújo (2003, p. 13) ainda indica que “Os estímulos para troca de faixa podem se dar por diferentes motivos, obrigatórios ou não: ultrapassagem para aumento de velocidade, busca de faixa para realizar conversão junto à interseção ou contornar um obstáculo como faixa proibitiva ou bloqueada”. O mesmo autor continua “O processo de mudança de faixa se dá quando os veículos na faixa alvo oferecem condições mínimas exigidas pela manobra. Essas condições podem ser expressas através de distância, tempo, ou ambos.”.

A grande maioria dos modelos de microssimulação usa diversos algoritmos e modelos de comportamento do condutor para simular os movimentos individuais dos veículos na rede viária. Para cada unidade que entra na rede, é atribuído um tipo de veículo (automóvel, caminhão, ônibus, etc.) e respectivo desempenho (aceleração, desaceleração, velocidade e raios de giros). Também é atribuído um tipo de condutor (variando de agressivo a cauteloso), dando a cada veículo um desempenho único e característico que irá manter enquanto trafega na rede (JONES JR. et al., 2004, p. 6).

4 O MODELO *SYNCHRO*

Jones Jr et al. (2004, p. 10) salientam que *Synchro/SimTraffic* é um pacote de *softwares* no qual todos os dados de entrada e parâmetros são inseridos de forma simples, tornando o programa de fácil utilização, um formato que fez dele uma escolha cada vez mais popular entre os profissionais de tráfego. O *SimTraffic* é um pacote de simulação microscópica que utiliza os resultados do programa *Synchro* para simular redes viárias. O programa foi originalmente desenvolvido para modelar os tempos semafóricos arteriais desenvolvidos no *Synchro* e fornecer ao usuário uma versão animada de como o sistema funcionaria em campo. Por ter a mesma interface gráfica desde a primeira versão, é relativamente fácil codificar a rede viária. Os recursos do *SimTraffic* foram ampliados em versões posteriores, adicionando funções, tais como estradas, rampas e rotatórias. Com estas adições, *SimTraffic* tornou-se um pacote de simulação completo, entretanto, com alguns recursos limitados (JONES JR. et al., 2004, p. 10).

4.1 CARACTERÍSTICAS DO PACOTE *SYNCHRO*

As principais características do programa *Synchro* estão resumidas nos próximos itens. O microssimulador *SimTraffic* também é descrito neste capítulo.

4.1.1 Programa *Synchro*

O *Synchro* é um pacote de programas que pode ser utilizado em modelagem, otimização, gerenciamento e simulação de sistemas de tráfego. O pacote inclui quatro programas com diferentes usos, listados a seguir:

- a) *Synchro*: programa de análise macroscópica e otimização;
- b) *SimTraffic*: programa de microssimulação de tráfego;
- c) *3D Viewer*: programa de visualização em três dimensões das simulações do *SimTraffic*;
- d) *SimTraffic CI*: aplicativo que simula a operação de um controlador de tráfego utilizando a simulação.

A codificação da rede, bem como volumes e demais componentes do sistema viário no programa se dão de forma simples. A seguir é apresentado um resumo das etapas de codificação de redes viárias, utilizando o programa *Synchro*.

4.1.1.1 Codificação do *layout*

Segundo Husch e Albeck (2006, p. 2-2), o *Synchro* modela ruas e interseções como arcos e nós, respectivamente. Em uma rede existem dois tipos de arcos: internos e externos. Os arcos internos representam uma seção da via entre dois nós e, os externos indicam a aproximação a uma interseção que não é conectada a um nó, ou seja, que está fora da área de estudo proposta.

O programa modela interseções semaforizadas e não semaforizadas, onde os dados de entrada necessários para a codificação incluem contagem de veículos por movimento, geometria da interseção e tipo controle para cada aproximação (pare, preferência ou fluxo livre).

O texto afirma que na codificação de redes o comprimento dos arcos é de grande relevância, uma vez que o tempo de viagem é calculado baseado nessa informação. Além disso, o programa apresenta dificuldades na modelagem de arcos menores que 30 metros, intrínseco ao programa. Para agilizar o processo, é possível inserir uma imagem base nos formatos DXF, GIS, BMP ou JPEG. O programa permite que sejam inseridos nós e arcos sobre a imagem base, podendo-se fazer ajuste de escala.

Os movimentos permitidos nas interseções no *Synchro* são indicados por azimutes, onde o Norte é a 0°, Leste a 90°, Sul a 180° e Oeste a 270°. É possível inserir até 8 aproximações por nó, sendo cada arco definido por um ponto cardinal (N, NO, SE, etc.).

4.1.1.2 Codificação dos nós

Cada nó possui um número de identificação único com seus respectivos arcos, podendo o programa modelar até 6 movimentos por arco. Esses movimentos incluem um movimento em frente, um retorno, dois movimentos à esquerda e dois à direita, conforme indica a figura 2. Os nós 1-2-5 compõem a direção EBT (*eastbound through*, oeste para através), 1-2-4 é

definido por EBL (oeste para esquerda), 1-2-3 por EBL2 (oeste para esquerda), 1-2-1 por retorno, 1-2-6 por EBR (oeste para direita) e 1-2-7 por EBR2 (oeste para direita) (HUSH; ALBECK, 2006, p. 3-6).

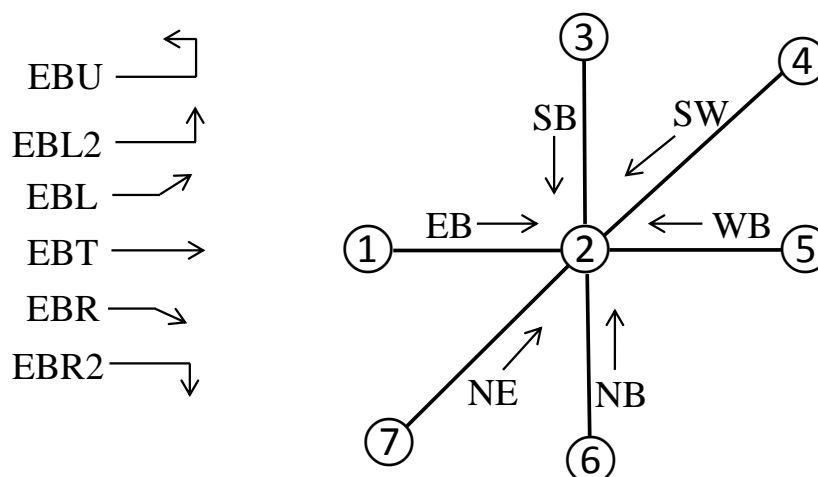


Figura 2: movimentos das aproximações nos nós (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 3-7)

O texto ainda coloca que para cada nó é definido um tipo de controle de tráfego, podendo ser controle de prioridade ou semaforico. Em interseções semaforizadas é possível definir o tempo de ciclo para cada interseção dentre 4 tipos de controles disponíveis, são eles:

- a) atuado: o tempo de ciclo é fixo para cada ciclo;
- b) atuado coordenado: para cada tempo de ciclo não utilizado na via de menor fluxo, o tempo sem uso é adicionado à coordenação de fases para otimização da via com maior fluxo;
- c) atuado não coordenado: é permitido para o tempo de ciclo variar a cada ciclo (baseado em detecção automática), onde cada interseção é considerada individualmente e;
- d) semi-atuado não coordenado: o tempo de ciclo pode ser variável;

Para esse tipo de interseção, o *software Synchro* calcula o nível de serviço segundo HCM 2000, utilizando os dados do quadro 1.

Para interseções não semaforizadas, os movimentos podem ser de fluxo livre ou controlado por placas de pare ou preferência, podendo o nível de serviço ser definido pelo HCM 2000. O *Synchro* também modela rotatórias com 1 faixa de tráfego também utilizando métodos do

HCM 2000 para nível de serviço (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 4-5). Os critérios utilizados no método HCM 2000 estão apresentados no quadro 2.

Nível de Serviço	Atraso por veículo (s)
A	≤ 10
B	$> 10 \text{ e } \leq 20$
C	$> 20 \text{ e } \leq 35$
D	$> 35 \text{ e } \leq 55$
E	$> 55 \text{ e } \leq 80$
F	> 80

Quadro 1: nível de serviço para interseções semaforizadas segundo HCM 2000 (HUSCH; ALBECK, 2006)

Nível de Serviço	Atraso por veículo (s)
A	≤ 10
B	$> 10 \text{ e } \leq 15$
C	$> 15 \text{ e } \leq 25$
D	$> 25 \text{ e } \leq 35$
E	$> 35 \text{ e } \leq 50$
F	> 50

Quadro 2: nível de serviço para interseções não semaforizadas segundo HCM 2000 (HUSCH; ALBECK, 2006)

O nível de serviço ICU 2003⁴ mostra a capacidade da via segundo as características da rede e a capacidade extra disponível para amortecer flutuações no tráfego e incidentes. O nível de serviço é avaliado segundo o quadro 3 (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 4-11).

⁴ HUSCH, D.; ALBECK, J. **Intersection Capacity Utilization 2003**. Albany, CA: Trafficware, 2003.

Nível de Serviço	ICU
A	0 a 55%
B	> 55% a 64%
C	> 64% a 73%
D	> 73% a 82%
E	> 82% a 91%
F	> 91% a 100%
G	> 100% a 109%
H	> 109%

Quadro 3: nível de serviço segundo ICU 2003 (HUSCH; ALBECK, 2006)

4.1.1.3 Codificação das vias

O programa permite identificar os arcos, representação das vias no modelo, através dos nomes das vias, que são exibidos na simulação. As velocidades desenvolvidas pelos veículos podem ser controladas inserindo as velocidades máximas permitidas nos respectivos arcos e, com a velocidade e o comprimento do arco, é possível calcular o tempo de viagem, informação que será utilizada na alocação de viagens ao longo da rede (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 5-4).

A largura padrão das faixas da via é de 3,6 metros e o fluxo de saturação padrão é de 1900 veículos por hora por faixa, conforme recomendado pelo HCM 2000. Para movimentos de conversão, é sabido que o fluxo de saturação diminui devido o tempo necessário para execução da manobra, para isso, o *software* recalcula o fluxo de saturação automaticamente para cada conversão (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 5-4).

4.1.1.4 Codificação de volumes

Os volumes de tráfego inseridos no programa são definidos em volumes horários por movimento, onde o volume levantado em campo é convertido em veículos equivalentes. O fator de equivalência veicular transforma as diversas categorias de veículos (caminhões, ônibus, lotações, etc.) em veículos de passeio (veículos equivalentes), multiplicando os

valores oriundos de contagens por seu fator correspondente. O fator hora pico (FHP) pode ser calculado através das recomendações do HCM 2000, ou pode ser definido como igual a 1 quando os volumes informados forem os da hora pico, provindos de contagem de fluxo. O quadro 4 sugere valores de fator hora pico, segundo distribuição de Poisson (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 6-3).

FHP	Volume total da aproximação (veículo/hora)
0,95	2000
0,93	1000
0,92	500
0,87	200
0,83	100
0,78	50

Quadro 4: fator hora pico (HUSCH; ALBECK, 2006)

4.1.1.5 Codificação de semáforos

Segundo Husch e Albeck (2006, p. 7-5), os tempos semaforicos são inseridos nos nós que possuem esse tipo de controle de tráfego, onde as fases são definidas de forma a evitar movimentos de conflito. Geralmente esses tempos são observados em campo e repassados ao modelo. Também é possível no Synchro permitir movimentos de conflito, informando qual conversão possui prioridade. A figura 5 ilustra a rede modelada no programa *Synchro* e exemplo de informações fornecidas para as interseções.

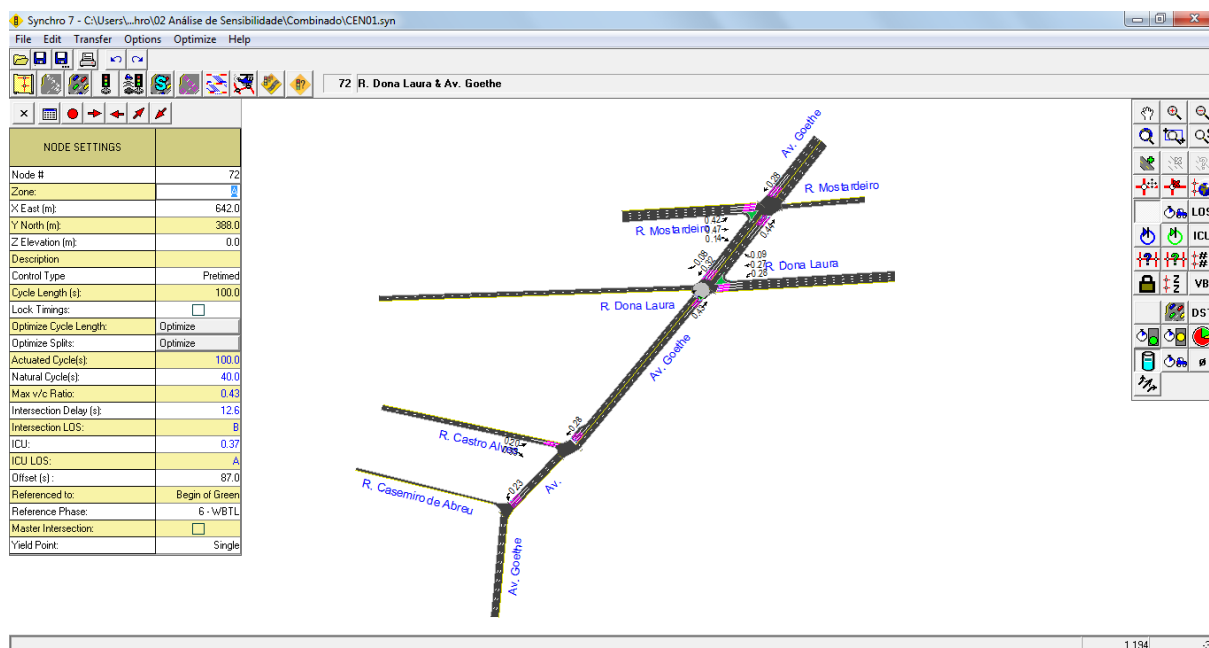


Figura 5: programa Synchro

4.1.2 Programa *SimTraffic*

O programa *SimTraffic* executa microssimulações e animações gráficas do tráfego na rede. Ele simula interseções semaforizadas, não semaforizadas bem como *freeways* com carros, caminhões, ônibus e pedestres (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 1-2).

Todas as informações de codificação de layout, nós, vias, volumes e tipo de controle da interseção são importadas da codificação prévia feita no *Synchro*. Sobre o programa *SimTraffic* é importante salientar os parâmetros avançados que podem ser calibrados ou alterados para simulação mais precisa.

4.1.2.1 Intervalos

Esse conjunto de parâmetros permite configurar o tempo de gravação da simulação, o tempo de abastecimento da rede e também fazer ajustes nos volumes de tráfego. Segundo Husch e Albeck (2006, p. 22-2), o tempo de abastecimento da rede deve ser longo o suficiente para que um veículo atravesse a rede viária entre os pontos mais distantes, incluindo os tempos de parada. Esse tempo deve ser maior do que o máximo tempo de ciclo usado na rede.

Em relação ao volume, é possível ajustar o fator de crescimento da frota e o fator hora pico, ou então fazer com que o programa leia arquivos com volumes de veículos calculados através de outros meios, como por exemplo, planilhas eletrônicas.

4.1.2.2 Veículos

As características dos veículos podem ser alteradas de acordo com a frota local, sendo os parâmetros *default* do programa aceitáveis em termos de simulação. É possível alterar a composição do tráfego (carros, caminhões e ônibus), comprimento dos veículos, a taxa de aceleração e a máxima velocidade desenvolvida por eles. A ocorrência de veículos na rede define a composição da frota, onde suas características são designadas de forma aleatória. O parâmetro aceleração é usado para determinar a aceleração máxima para cada tipo de veículo, e o tipo de frota caracteriza os parâmetros de consumo de combustível e emissões de poluentes (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 22-8).

O texto ainda indica que o comprimento e largura dos veículos que trafegam na rede podem ser ajustados de acordo com a frota característica do local a ser estudado. O comprimento do veículo é utilizado na simulação para cálculo de filas e, para as simulações, o *SimTraffic* assume que a distância entre os veículos é de 1,5 metros.

4.1.2.3 Motorista

SimTraffic possibilita a alteração das características do motorista através dos parâmetros que o definem para que ele se comporte de forma mais ou menos agressiva.

Quando os veículos são criados, é definido para cada veículo um tipo de condutor, que varia do tipo 1 ao tipo 10. Cada tipo corresponde a 10% da população, sendo, o tipo 1, o mais conservador, e o tipo 10, o mais agressivo (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 22-10). Os parâmetros do motorista serão abordados no item 4.4.2 com maiores detalhes.

4.1.2.4 Consumo de Combustível e Emissões

Os parâmetros de consumo de combustível e emissões controlam a taxa na qual o combustível é consumido pelos veículos e suas emissões de poluentes. As taxas são calculadas em função da velocidade e aceleração. Há um quadro que correlaciona essas variáveis, mas não há opção para conversão dos resultados para o sistema métrico. As velocidades variam de 0 a 70 ft/s e as acelerações de -10 a +10 ft/s². Os dados de combustível são determinados em galões por segundo vezes 10⁵ e os dados das emissões são representados em mg/s (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 22-19).

4.2 PROGRESSÃO LONGITUDINAL

Sem nenhuma intervenção na via, o veículo irá desenvolver sua velocidade de cruzeiro, ou velocidade desejada. A velocidade de cruzeiro é igual à velocidade do arco multiplicado pelo fator de velocidade do tipo de motorista, discutido mais à frente. Os fatores de velocidade padrão variam de 0,85 a 1,15.

Cada tipo de veículo possui uma taxa máxima de aceleração que varia com a velocidade. O valor máximo é de 3,6 m/s², geralmente utilizado em situações críticas. Na ocorrência de sinal semafórico amarelo, o motorista decide se freia ou avança de acordo com a taxa de desaceleração. Para manobras de conversão, os veículos utilizarão uma taxa de desaceleração de 1,2 m/s² (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 24-4). As taxas de desaceleração utilizadas no modelo estão expostas no quadro 5.

Nome	Taxa (m/s ²)
decelNormal	1,2
decelPlus	1,8
decelHard	2,4
decelMax	3,6
decelMin	0,6

Quadro 5: taxas de desaceleração (HUSCH; ALBECK, 2006)

Os veículos irão diminuir sua velocidade ou parar em razão de um ou mais eventos, tais como: excesso de velocidade, conversões, veículos à frente, sinal vermelho ou amarelo, veículos na rotatória, etc. O modelo de velocidades *fast following* é usado quando o veículo líder está a uma velocidade superior a 0,6 m/s, já o modelo *slow following* é usado para rastrear um veículo lento ou parado, ou ainda que irá parar em determinado ponto.

A distância entre os veículos ou a distância ao ponto de parada é calculada da seguinte forma, segundo Husch e Albeck (2006, p. 24-5):

$$DBv = Xu - Lu - DB - Xv = \text{distância entre veículos} \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

Xu = posição do veículo líder (ou ponto de parada);

Xv = posição do veículo seguidor;

Lu = comprimento do veículo líder (0 m para ponto de parada);

DB = distância entre veículos (definida pelo programa) = 1,5 m.

Veículos parados não irão acelerar enquanto o veículo líder estiver a uma distância inferior a 1,5 metros. Esse comportamento gera uma reação de 1 segundo por veículo, ou seja, o décimo veículo não começará a se mover até 10 segundos após o veículo líder alterar sua posição.

SimTraffic tenta manter um *headway* fixo de 1 segundo entre os veículos, mas que pode variar com base na velocidade, tipo de condutor e geometria do arco, gerando um modelo mais realista do que outros programas de simulação (JONES JR. et al., 2004, p. 10).

$DSafe$ é a distância entre veículos, ajustado para o diferencial de velocidades e reduzido pelo *headway* desejado do veículo seguidor. Para o cálculo do *fast following*, é utilizada a fórmula 2:

$$DSafe = DBv + \min(\text{spd}U^2 - \text{spd}V^2) / 2 * \text{decelNormal} - \text{spd}V * HW \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

DBv = distância entre veículos;

$spdU$ = velocidade do veículo líder;
 $spdV$ = velocidade do veículo seguidor;
 $decelNormal = 1,2 \text{ m/s}^2$;
 HW = *headway* desejado.

A fórmula 3 calcula o fator de segurança:

$$SF = \text{fator de segurança} = D_{\text{Safe}} / (spdV * HW) \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

D_{Safe} = distância de segurança entre veículos;
 $spdV$ = velocidade do veículo seguidor;
 HW = *headway* desejado.

O fator de segurança é adimensional e possui as seguintes características:

- a) $SF = 0$, veículo está à distância correta;
- b) $SF = -1$, veículo está muito perto, *car following* não é seguro e haverá máxima desaceleração;
- c) $SF = 1$, veículo está muito longe, haverá aceleração.

Por sua vez, dV é a aceleração/desaceleração recomendada e é influenciada pelo fator de segurança quando:

- a) $SF \geq -0,3$, $dV = decelHard * SF / 1,5$;
- b) $-0,3 > SF \geq -1$, $dV = decelHard * [-0,2 + (SF + 0,3) * 8/7]$;
- c) $1 > SF$, $dV = -decelHard$.

A aceleração deve ser maior ou igual a $-decelMax$ e menor ou igual à máxima taxa de aceleração/desaceleração do veículo. O modelo *fast following* utiliza frações de décimos de segundo, pois com frações de 0,5 ou 1 segundo o veículo não seria capaz de reagir rapidamente (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 24-7).

As atualizações da posição dos veículos, velocidades e outras medidas de desempenho são feitas a cada 0,1 segundo, levando a um maior grau de detalhamento, tornando a modelagem

potencialmente mais precisa no tempo de reação e movimento dos veículos (JONES JR. et al., 2004, p. 10).

O modelo de *slow following* utiliza as seguintes fórmulas:

$$DB2 = DBv - 2 * spdU / 10 - 1 \quad (\text{fórmula 4})$$

$$dv2 = (spdV + 2 * accelMin / 10)^2 / (2*DB2) \quad (\text{fórmula 5})$$

$$dv4 = (spdV + 4 * accelMin / 10)^2 / (2*DB2) \quad (\text{fórmula 6})$$

$$dv6 = (spdV + 6 * accelMin / 10)^2 / (2*DB2) \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

DB2 = nova distância após 0,1 segundo e fator de correção;

DBv = distância entre veículos;

spdU = velocidade do veículo líder;

dv2 = desaceleração requerida após acelerar a 2*accelMin;

spdV = velocidade do veículo seguidor;

accelMin = aceleração mínima do veículo;

dv4 = desaceleração requerida após acelerar a 4*accelMin;

dv6 = desaceleração requerida após acelerar a 6*accelMin.

Se dv2, dv4, ou dv6 forem maiores que -decelNormal, então o veículo acelerará a 2*accelMin, 4*accelMin, ou 6*accelMin respectivamente, sujeitos à capacidade de aceleração dos veículos.

Se $dv2 \leq -\text{decelNormal}$, então:

$$dV = -\text{spdV}^2 / (2 * \text{DB2}) \quad (\text{fórmula 8})$$

Se $\text{DB2} < 0$, então:

$$dV = -\text{decelMax} \quad (\text{fórmula 9})$$

Onde:

dV = desaceleração;

spdV = velocidade do veículo seguidor;

DB2 = nova distância após 0,1 segundo e fator de correção;

decelNormal = 1,2 m/s²;

decelMax = 3,6 m/s².

A aceleração deve ser maior ou igual à $-\text{decelMax}$ e menor ou igual à máxima aceleração do veículo.

4.3 MOVIMENTO LATERAL

Husch e Albeck (2006, p. 24-8) definem como distância obrigatória a distância anterior à faixa de contenção onde a troca de faixas deve obrigatoriamente começar. Se o veículo não conseguir iniciar o movimento antes desse ponto, ele irá parar até conseguir executar a manobra. Veículos da faixa ao lado irão permitir que o veículo troque de faixa. A distância obrigatória é ajustada pelo fator de ajuste de distância obrigatória para cada tipo de condutor, que varia de 50% a 200%.

A distância de posicionamento indica a distância anterior à obrigatória, onde há a primeira tentativa de troca de faixa. A distância de posicionamento é adicionada à distância obrigatória e é ajustada pelo fator de ajuste de distância de posicionamento para cada tipo de condutor, que varia de 50% a 200%. A figura 4 indica as distâncias.

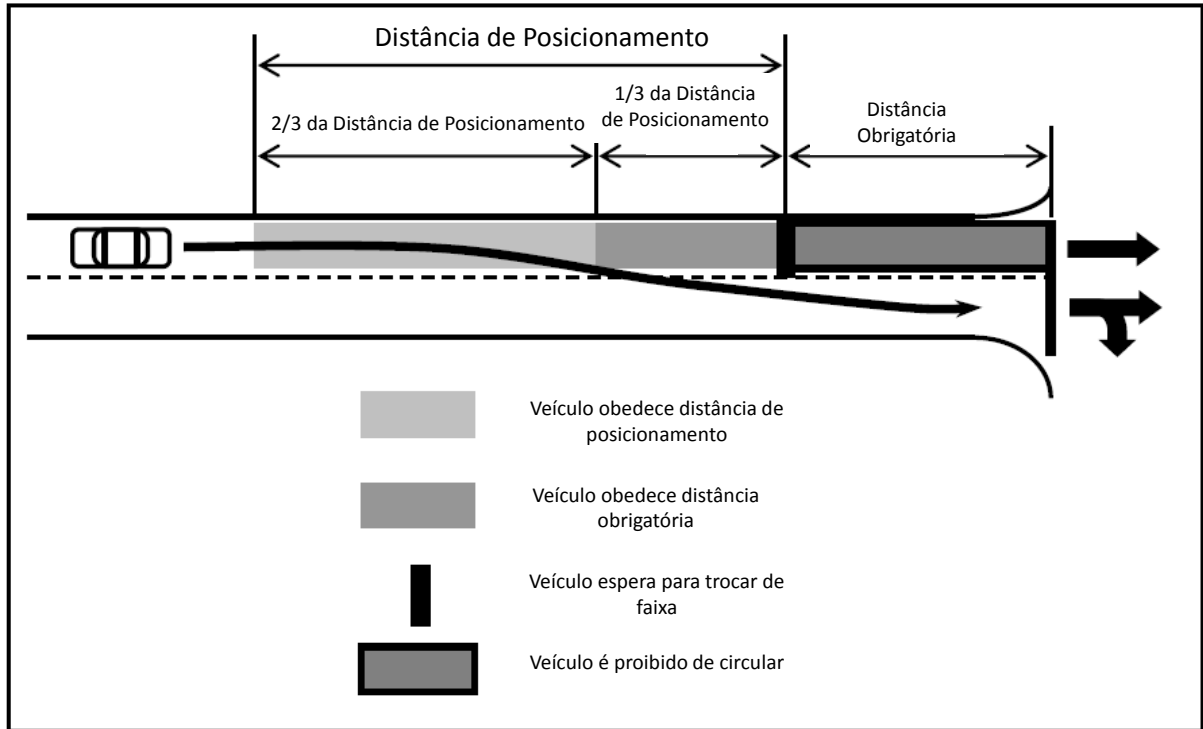


Figura 4: distâncias adotadas para troca de faixa simples (HUSCH; ALBECK, 2006)

Os veículos tentarão se posicionar para troca de faixa nos primeiros 2/3 da distância entre o ponto de posicionamento e o ponto obrigatório. Motoristas agressivos ignoram o posicionamento para troca de faixa e deslocam-se de modo a evitar filas, e alguns motoristas permitem que veículos entrem à sua frente.

Após esses 2/3 os veículos tentarão fazer a troca de faixa obrigatória, onde todos os veículos são forçados a cooperar com o movimento. Na zona obrigatória, os veículos ajustarão suas velocidades para se infiltrar assim que as condições forem favoráveis à manobra (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 24-9). Para troca de duas ou mais faixas o procedimento é semelhante, como mostra a figura 5.

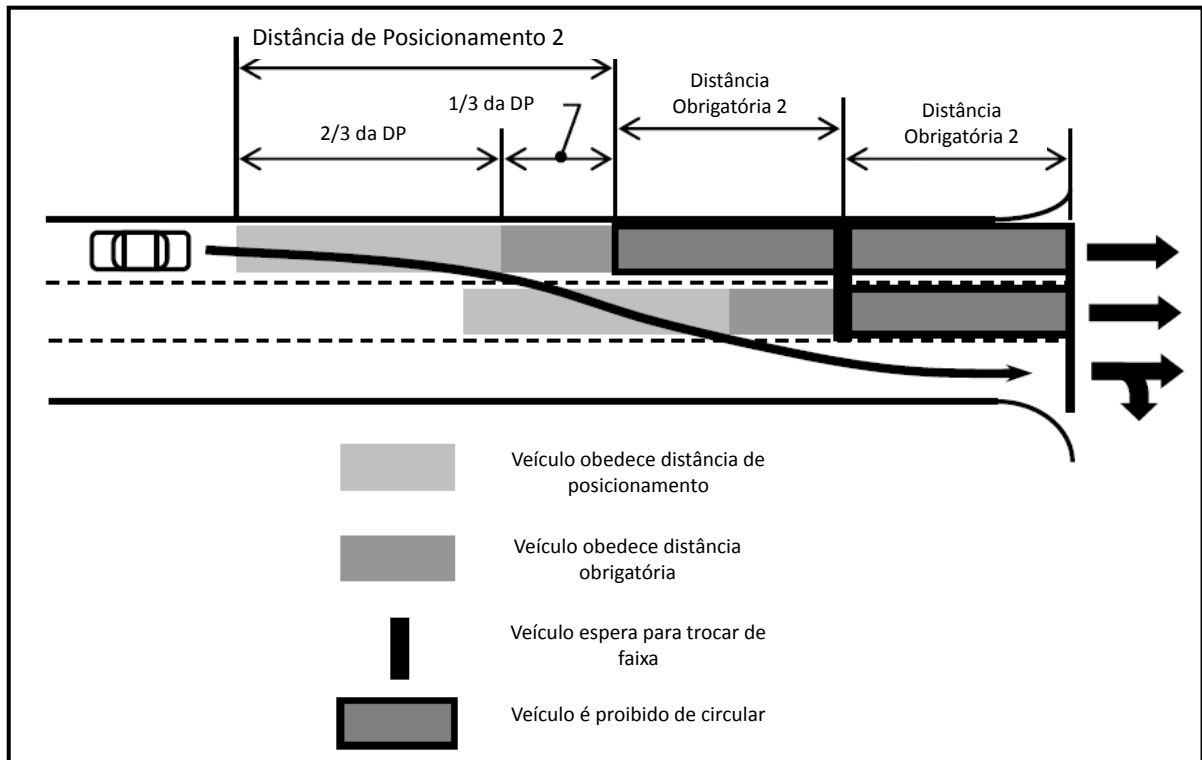


Figura 5: distâncias adotadas para troca de duas ou mais faixas (HUSCH; ALBECK, 2006)

Os valores padrão para troca de faixa são exibidos no quadro 6. Os valores utilizados são baseados em observações. Para maior precisão, recomenda-se alterar esses parâmetros.

Campo	Valor (m)
Distância obrigatória, interseções	máx. (60 m, $C/6 \cdot L$)
Distância obrigatória, curvas	30 m
Distância de posicionamento	máx. (90 m, $v \cdot 30$ s)
Distância obrigatória 2	máx. (60 m, $v \cdot 20$ s)
Distância de posicionamento 2	máx. (90 m, $v \cdot 40$ s)

Onde: C = tempo de ciclo (s); L = comprimento do veículo (m); v = velocidade do arco (m/s)

Quadro 6: distâncias padrão para troca de faixa (HUSCH; ALBECK, 2006)

4.4 PARÂMETROS DO PROGRAMA *SIMTRAFFIC*

Um modelo pode ser definido como uma representação simplificada de um sistema de interesse e procura enfatizar os aspectos importantes capazes de permitir a análise deste

sistema. Um modelo só é realista a partir de uma perspectiva particular. Portanto, a propriedade de um modelo é dependente do contexto no qual ele é utilizado. Para reproduzir o sistema de maneira realista, é necessário entender as deficiências da ferramenta e focar na calibração dos parâmetros mais sensíveis do programa. De acordo com as classificações apresentadas para modelos de simulação, o programa pode ser enquadrado como sendo um microssimulador estocástico que trabalha com tempos discretos. A seguir são descritos os principais parâmetros do microssimulador *SimTraffic*.

4.4.1 Parâmetros do Veículo

O programa permite alterar as características *default* dos veículos de acordo com a frota local. É possível modificar a porcentagem de carros, caminhões e ônibus que irão entrar na rede, bem como comprimento e largura de todos os veículos, a taxa de aceleração e máxima velocidade desenvolvida por eles (HUSH; ALBECK, 2006, p. 22-8). Os veículos são caracterizados através de nove parâmetros:

- a) nome do veículo;
- b) ocorrência do veículo;
- c) aceleração;
- d) comprimento do veículo;
- e) largura do veículo;
- f) frota;
- g) ocupação;
- h) forma gráfica;
- i) índice.

Para cada novo veículo que entra na rede é atribuído um tipo de veículo, baseado na ocorrência dos veículos (composição da frota).

4.4.2 Parâmetros do Motorista

Segundo Husch e Albeck (2006, p. 22-11), o programa *SimTraffic* possibilita caracterizar os condutores dos veículos através de onze parâmetros, apresentados no que segue:

- a) desaceleração em amarelo: é a máxima taxa de desaceleração que o motorista está disposto a exercer quando frente a um sinal amarelo. Se o motorista for incapaz de frear utilizando a taxa de desaceleração em amarelo, eles irão prosseguir, mesmo que isso signifique avançar o sinal vermelho. Por valor padrão, essa taxa varia entre 2,10 e 3,60 m²/s, e para tornar o condutor menos propenso a avançar sinais vermelhos é necessário aumentar o valor do parâmetro;
- b) fator de velocidade: valor que, se multiplicado pela máxima velocidade do arco determinará a máxima velocidade para o condutor. Se a velocidade do arco for de 60 km/h e o fator de velocidade for 1,1, o motorista tentará manter uma velocidade de 66 km/h. Esse parâmetro varia entre 0,85 (condutores cautelosos) e 1,15 (condutores agressivos);
- c) taxa de desaceleração de cortesia: é o montante de desaceleração que um veículo irá exercer a fim de permitir que um veículo à frente, em uma faixa adjacente, faça mudança de faixa obrigatória;
- d) tempo de reação ao sinal amarelo: montante de tempo que leva o condutor a responder frente à mudança de sinal para amarelo. Motoristas mais agressivos irão ter um tempo de reação mais longo a sinais amarelos. Por *default*, esse valor varia de 0,7 a 1,7 segundos. Os autores do manual encorajam os usuários a desenvolverem estudos sobre as condições locais para determinar o comportamento dos condutores da região. Os mesmos autores salientam que o motorista mais interessante é o condutor tipo 10, o mais agressivo, porque é mais provável que esse grupo ultrapasse sinais vermelhos e cause atrasos iniciais dos demais movimentos. No campo, esses motoristas são mais suscetíveis de causar acidentes;
- e) tempo de reação ao sinal verde: é o montante de tempo que o condutor leva para reagir à mudança de sinal para verde. Motoristas mais agressivos terão tempos mais curtos de reação e, por *default*, esse valor varia entre 0,2 e 0,8 segundos.
- f) *headways*: são o montante de tempo que os condutores tentarão manter entre o seu veículo e o automóvel à sua frente. Quando viajando a 10 m/s (aproximadamente 36 km/h), um veículo com *headway* de 1 segundo tentará manter 10 metros do veículo líder. O *SimTraffic* aceita valores diferentes de *headways* para 0, 50, 80 e 150 km/h;
- g) fator de aceitação de brechas: é um ajuste para aproximar os tempos de brecha. Essa será a brecha que veículos irão aceitar em interseções não semaforizadas, para conversões à esquerda e à direita em sinal vermelho (permissões de conversão quando do sinal vermelho são característicos do sistema norte-americano). Os valores padrão variam de 0,85 a 1,15 segundos e, quanto maior o valor, mais conservador é o motorista;
- h) vantagem de posicionamento: posicionamento na faixa é definido pelo posicionamento dos veículos na faixa para futuros movimentos de conversão. Um motorista adiará a mudança de posicionamento na faixa devido à existência de vantagem de posicionamento, ou seja, mesmo que a faixa de destino seja preferível devido ao melhor posicionamento para realizar a conversão, o motorista permanecerá na faixa atual devido ao grande número de veículos na faixa adjacente, por exemplo. Valores altos estão associados a motoristas mais conservativos, fazendo com que os condutores se posicionem na faixa correta.

Valores baixos estão associados a motoristas agressivos, fazendo com que os condutores dos veículos evitem ao máximo a troca de faixas até atingir o ponto de troca obrigatória de faixas. Os valores do parâmetro variam entre 0,5 e 2,3 veículos;

i) vantagem opcional: os condutores irão realizar a troca de faixa desejada para trafegar em uma faixa com menos veículos à sua frente. Valores altos estão associados a motoristas mais conservadores, causando uso desbalanceado da pista. Valores baixos estão associados a condutores agressivos, fazendo com que os motoristas utilizem a pista de maneira uniforme;

j) ajuste de distância obrigatória: é o fator pelo qual será multiplicada a distância de troca de faixas obrigatória. A faixa de valor varia entre 50 e 200%;

k) ajuste da distância de posicionamento: é utilizado na multiplicação das distâncias de posicionamento para cada tipo de condutor. Os valores padrão variam entre 60 e 150%.

4.4.3 Parâmetros de Saída da Simulação

Para o controle dos resultados, o *SimTraffic* produz diversos relatórios que são obtidos através da simulação. Os principais relatórios estão descritos a seguir (HUSCH; ALBECK, 2006, p. 23-7):

a) atraso total: é igual ao tempo total de viagem menos o tempo de viagem dos veículos que estão saindo da rede. Em sua formulação considera velocidade máxima do veículo e a velocidade real do veículo na rede;

b) atraso por veículo: é calculado dividindo o atraso total pelo número de veículos da rede;

c) paradas: é a soma de todas as paradas realizadas pelos veículos na rede. Uma parada ocorre quando a velocidade do veículo fica abaixo de 3 m/s;

d) distância de viagem: soma das distâncias de viagem de todos os veículos que entraram na rede;

e) tempo de viagem: é o total de tempo que cada veículo percorreu em determinada área;

f) velocidade média: é calculada dividindo a distância total percorrida pelos veículos pelo tempo total de viagem dos veículos, ponderada pelo volume de veículos que ingressaram na rede;

g) consumo de combustível: calculado a partir dos parâmetros de consumo de combustível atribuídos para cada veículo.

O número de veículos, parâmetro utilizado para determinação de atrasos, é calculado segundo a fórmula 10:

$$nVeh = nX - 0,5*nS + 0,5*nE \quad (\text{fórmula 10})$$

Onde:

nVeh = número de veículos;

nX = veículos que saíram da rede no intervalo;

nS = veículos na área no início do intervalo;

nE = veículos na área no final do intervalo.

5 COMPARAÇÃO COM OUTROS MODELOS E APLICAÇÕES

Um estudo feito na Universidade de Alabama, em Huntsville, Estados Unidos, comparou o pacote *Synchro* com os programas CORSIM e AIMSUN. Sorenson e Collins⁵ (2000 apud JONES JR. et al., 2004, p. 4) apresentaram uma introdução ao *SimTraffic* e suas aplicações. Sargeant e Christie⁶ (2002 apud JONES JR. et al., 2004, p. 4) apresentaram as habilidades do pacote na análise de rotatórias, onde o *software* foi utilizado para comparar a operação MOE (*Measure of Effectiveness*) de rotatórias com controles de interseções dos tipos pare e semaforizadas, recebendo o mesmo volume de tráfego. Não focando exatamente em tráfego urbano, Gerken e Tracy⁷ (2001 apud JONES JR. et al., 2004, p. 4) utilizaram *SimTraffic* para examinar os impactos de tráfego da travessia de um veículo leve sobre trilhos.

Jones Jr. et al. (2004, p. 29) salientam que a interface amigável do pacote *Synchro* tornou-o uma ferramenta de análise de tráfego muito popular. *SimTraffic* usa um sistema de modelagem da rede arco-nó, sendo seu diferencial a utilização de uma interface para o usuário altamente simplificada que pode reduzir significativamente o tempo de inserção de dados. Entre suas características mais atraentes está o fato de que a codificação é feita em uma das quatro janelas de entrada principal, onde os dados de todas as aproximações de um cruzamento são mostrados de uma só vez. Cada aproximação é marcada pela direção e movimento em vez do sistema de referência do nó, utilizado em outros *softwares*, reduzindo significativamente o tempo de codificação.

Outra vantagem é que o *Synchro* atribui automaticamente números de fase semafórica para cada movimento, e assume localização padrão para semáforos atuados. Em geral, a capacidade do *SimTraffic* para assumir valores padrão para uma série de parâmetros tais como o uso da faixa e tempo do sinal, e equilibrar automaticamente o volume de tráfego entre interseções foi adequada para reduzir o tempo de codificação de rede para quase metade em relação a outros programas, como o CORSIM (JONES JR. et al., 2004, p. 29).

⁵ SORENSON, D.; COLLINS, J. **Practical Applications of Traffic Simulation Using SimTraffic**. San Diego, CA: Institute of Transportation Engineers, 2000.

⁶ SARGEANT, S.; CHRISTIE, J. **Performance Evaluation of Modern Roundabout on South Golden Road**. St. John: Canadian Transportation Research Forum, 2002.

⁷ GERKEN, J.; TRACY, S. **Analysis of Traffic Impacts at Isolated Light Rail Transit Crossing Using SimTraffic**. Monterey, CA: Institute of Transportation Engineers, 2001.

Em redes não calibradas, verifica-se que o *SimTraffic* produz resultados mais condizentes com as condições de tráfego observadas, principalmente em redes congestionadas (JONES JR. et al., 2004, p. 52). Os quadros 7 a 10 apresentam as comparações realizadas nesse estudo de forma resumida.

Recurso/Capacidade	CORSIM	SimTraffic	GETRAM
Rede			
Superfície das ruas	Sim	Sim	Sim
Freeways	Sim	Sim	Sim
Faixas de alta ocupação veicular	Sim	Não	Sim
Faixas de mão dupla com conversão à esquerda	Não	Não	Não
Controle			
Interseções não sinalizadas	Sim	Sim	Sim
Sinalização atuada	Sim	Sim	Sim
Pare	Sim	Sim	Sim
Coordenação semafórica	Sim	Sim	Sim
Rotatórias	Parcial	Sim	Sim
Rampa de medição	Sim	Não	Sim
Sinalização de prioridade	Não	Não	Sim
Operações			
Seções onduladas	Sim	Sim	Sim
Retornos	Não	Sim	Não
Operações de trânsito	Parcial	Não	Sim
Pedestres	Parcial	Sim	Sim
Estacionamento	Sim	Não	Sim
Outros			
Incidentes	Sim	Não	Sim
Bloqueios	Sim	Sim	Sim
Demanda variada no tempo	Sim	Não	Sim
Alocação Origem/Destino	Parcial	Não	Sim
Alocação de Tráfego Dinâmica	Não	Não	Sim
Painéis de Mensagens Variáveis	Sim	Não	Sim
Fiscalização	Sim	Não	Sim
Animação 2-D	Sim	Sim	Sim
Animação 3-D	Não	Não	Sim
Otimização Semafórica	Não	Sim	Sim

Quadro 7: comparação qualitativa entre os programas (JONES JR. et al., 2004)

	CORSIM	SimTraffic	AIMSUN
Comprimento do veículo	Carro = 19,5 ft (com espaçamento)	Carro = 19,5 ft (com espaçamento)	Carro = 16,5 ft (com espaçamento)
Taxa máxima de aceleração	Carro = 10 fps ² (a 0 mph)	Carro = 10 fps ² (a 0 mph)	Carro = 9,91 fps ² (a 0 mph)
Headway	1 segundo, com variação para cada tipo de motorista	0,5s a 0 mph 1,3s a 30 mph 1,5s a 50 mph com variação para cada tipo de motorista	NA
Taxas de desaceleração (carros)	15 fps ² (emergência) 8 fps ² (típico) 4 fps ² (conversão)	12 fps ² (emergência) 7-14 fps ² (típico) 4 fps ² (conversão)	26,25 fps ² (emergência) 13,12 fps ² (típico) NA (conversão)
Brechas	Direita = 3,6 – 10s Esquerda = 2,7 – 7,8s Cruzar esquerda = 2,0 – 5,6s Cruzar em frente = 3,1 – 6,8s Cruzar direita = 2,0 – 5,6s	Direita = 3s Esquerda = 3,6s Cruzar esquerda = 3,9s Cruzar em frente = 3,4s Cruzar direita = 2,9s	Direita = 3s Esquerda = 3,6s Cruzar esquerda = 3,9s Cruzar em frente = 3,4s Cruzar direita = 2,9s
Tipos de motoristas	10 tipos discretos	10 tipos discretos	Probabilístico
Dissipação de filas	Headway principal = 1,8s Tempo perdido = 2s	Tempo de reação = 0,2-0,5s	Tempo de reação = 1s
Velocidade de fluxo livre	0,75 – 1,27 x velocidade do link	0,75 – 1,27 x velocidade do link	1 x velocidade do link
Velocidades de conversões	Esquerda = 22 fps (15 mph) Direita = 13 fps (9 mph)	Esquerda = 22 fps (15 mph) Direita = 13 fps (9 mph)	Calculado baseado na geometria

Quadro 8: comparação entre os parâmetros *default* dos programas (JONES JR. et al., 2004)

	CORSIM	SimTraffic	AIMSUN
TranPlan	Não se relaciona	Não se relaciona	Não se relaciona
Emme/2	Não se relaciona	Não se relaciona	Não se relaciona
HCS	Não se relaciona	Interoperáveis	Não se relaciona
Passer	Não se relaciona	Não se relaciona	Não se relaciona
Transyt	Não se relaciona	Interoperáveis	Interoperáveis
Synchro	Não se relaciona	Interoperáveis	Não se relaciona
CORSIM	Interoperáveis	Interoperáveis	Não se relaciona
SimTraffic	Compatível	Interoperáveis	Não se relaciona
AIMSUN	Não se relaciona	Não se relaciona	Interoperáveis

Quadro 9: comparação entre compatibilidade dos programas com outros *softwares* de transporte (JONES JR. et al., 2004)

Recurso	SimTraffic	CORSIM	AIMSUN
Layout de rede	Boa	Boa	Razoável
Geometria do arco	Boa	Boa	Razoável
Dados de interseção	Boa	Razoável	Boa
Volumes de conversão	Boa	Razoável	Ruim
Sinais de tráfego	Boa	Razoável	Ruim

Quadro 10: facilidade na codificação da rede (JONES JR. et al., 2004)

6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Análise de sensibilidade é o estudo de como a incerteza no resultado de um modelo (numérica ou não) pode ser repartida por diferentes fontes de incerteza na entrada do modelo. A análise de sensibilidade é, portanto, considerado como pré-requisito para a construção de um modelo em qualquer ambiente, seja ele de diagnóstico ou prognóstico, e em qualquer campo nos quais os modelos são usados.

Essa ferramenta pode ser definida como uma técnica que permite conduzir experimentos e investigações de forma controlada, com o uso de um modelo de simulação. Ela permite avaliar impactos associados às alterações dos valores das variáveis de entrada e dos parâmetros do sistema, sendo os impactos determinados por meio de análises das variáveis de saída.

6.1 SELEÇÃO DA REDE

A seleção da rede viária é uma etapa importante nos estudos de análise de sensibilidade de modelos de simulação de tráfego. Dados de saída dos programas como tempo de viagem e velocidade dos veículos decorrem, principalmente, das características geométricas da via, do volume de veículos que trafegam nela diariamente e sua extensão. O comportamento da população de motoristas também contribui para variações nesses indicadores, bem como características dos automóveis e presença de fatores externos que interfiram no fluxo de veículos.

Um dos fatores considerados na escolha da rede viária foi o grau de saturação das vias, pois em vias com relação volume/capacidade baixos, as velocidades exercidas pelos veículos são maiores se comparados a vias que possuem relação volume/capacidade altos, ou seja, com certo grau de congestionamento. Nos estudos que avaliam a sensibilidade dos programas geralmente são analisados dois níveis de volumes de veículos, alto e baixo, uma vez que as condições de trafegabilidade da via e a interação entre os automóveis são diferentes para esses dois níveis de saturação.

O trecho selecionado compreende a avenida Goethe, entre as ruas Dona Laura e Castro Alves no município de Porto Alegre, com comprimento aproximado de 250 metros. A figura 6 apresenta o trecho escolhido bem como os movimentos das interseções. Na interseção com a rua Dona Laura, a avenida Goethe apresenta 3 faixas de tráfego por sentido na aproximação norte-sul, passando para 2 faixas de tráfego após a interseção. A rua Dona Laura apresenta sentido único leste-oeste com 3 faixas de tráfego na aproximação, passando a 2 faixas após o cruzamento. A rua Castro Alves apresenta sentido único oeste-leste, com 3 faixas de tráfego na aproximação e, nessa interseção, a avenida Goethe apresenta 3 faixas de tráfego por sentido, separados por canteiro central.

Os fluxos utilizados nesse estudo foram levantados em outubro de 2010, em dia típico (quarta-feira), das 06h30min às 09h30min e das 17h às 20h. Como as análises de sensibilidade trabalham com diferentes níveis de saturação, foi utilizado um fator de ajuste nos volumes levantados que adequou esse volume à relação volume/capacidade desejada, mantendo a proporção de veículos originários das contagens.



Figura 6: trecho viário selecionado para o estudo

6.2 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DO MOTORISTA

Para fazer uma análise de sensibilidade, é necessário conhecer os parâmetros de calibração que influenciam de forma direta os resultados das simulações. Visando conhecer cada um dos onze parâmetros que compõem o condutor, buscou-se no manual do *software* a descrição de cada um desses elementos, apresentados no item 4.4.2.

Como exposto, em uma rede de tráfego são distribuídos veículos e motoristas de forma aleatória. Os motoristas são classificados em 10 tipos, sendo que cada um corresponde a aproximadamente 10% dos usuários. Cada tipo de condutor possui características únicas que o definem de maneira mais ou menos agressiva. O quadro 11 apresenta as propriedades de cada condutor, sendo o tipo 1 o mais conservador e o tipo 10 o mais agressivo.

Conhecendo as características de cada um dos parâmetros que definem o motorista, foi possível identificar os elementos de maior potencial significativo, dentre os onze apresentados. O quadro 12 relaciona os parâmetros escolhidos bem como os descartados, e as razões pelas quais foram utilizados neste trabalho.

Os estudos de análise de sensibilidade necessitam de um maior controle sobre os agentes que influenciam o comportamento do sistema, pois nesse tipo de estudo o objetivo é a identificação dos parâmetros cuja variação reflita em perceptível alteração nos dados de saída. Para isso, buscou-se padronizar os parâmetros de calibração do programa através do elemento de maior atuação no sistema viário, o condutor. Optou-se por caracterizar um motorista-padrão através dos valores médios de todos os parâmetros que o compõe. O quadro 13 apresenta os valores característicos dos parâmetros do motorista-padrão.

Tipos de Motoristas	Unidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Desaceleração em amarelo	m/s ²	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,30	3,00	2,70	2,40	2,10
Fator de velocidade	%	0,85	0,88	0,92	0,95	0,98	1,02	1,05	1,08	1,12	1,15
Taxa de desaceleração de cortesia	m/s ²	3,00	2,70	2,40	2,10	1,80	1,50	1,20	1,20	0,90	0,90
Tempo de reação em amarelo	s	0,70	0,90	1,00	1,00	1,20	1,30	1,30	1,40	1,40	1,70
Tempo de reação em verde	s	0,80	0,70	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,40	0,30	0,20
<i>Headway</i> a 0 km/h	s	0,65	0,63	0,60	0,58	0,55	0,45	0,42	0,40	0,37	0,35
<i>Headway</i> a 30 km/h	s	1,80	1,70	1,60	1,50	1,40	1,20	1,10	1,00	0,90	0,80
<i>Headway</i> a 80 km/h	s	2,20	2,00	1,90	1,80	1,70	1,50	1,40	1,30	1,20	1,00
<i>Headway</i> a 130 km/h	s	2,20	2,00	1,90	1,80	1,70	1,50	1,40	1,30	1,20	1,00
Fator de aceitação de brechas		1,15	1,12	1,10	1,05	1,00	1,00	0,95	0,90	0,88	0,85
Vantagem de posicionamento	vei	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	2,00	2,00	2,00	1,20	1,20
Vantagem opcional	vei	2,30	2,30	2,30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50
Ajuste de distância obrigatória	%	200	170	150	135	110	90	80	70	60	50
Ajuste de distância de posicionamento	%	150	140	130	120	110	95	90	80	70	60

Quadro 11: tipos de motorista com valores de parâmetros *default*
(HUSH; ALBECK, 2006)

Parâmetro	Escolhido	Motivo
Desaceleração em amarelo	Sim	Interfere na velocidade exercida e tempo de viagem dos condutores
Fator de velocidade	Sim	Interfere diretamente na velocidade exercida pelos condutores ao longo da via
Taxa de desaceleração de cortesia	Sim	Interfere na velocidade exercida e tempo de viagem dos condutores
Tempo de reação em amarelo	Sim	Interfere na velocidade exercida e tempo de viagem dos condutores
Tempo de reação em verde	Sim	Interfere na velocidade exercida e tempo de viagem dos condutores
<i>Headway</i>	Não	Para cada velocidade (0, 30, 80 e 130 km/h) deveria ser analisado o <i>headway</i> de forma segregada, evitando incoerências na combinação de cada um desses valores
Fator de aceitação de brechas	Não	O trecho selecionado possui apenas interseções semaforizadas
Vantagem de posicionamento	Não	Não faz parte do escopo do trabalho
Vantagem opcional	Não	Não faz parte do escopo do trabalho
Ajuste de distância obrigatória	Não	Não faz parte do escopo do trabalho
Ajuste de distância de posicionamento	Não	Não faz parte do escopo do trabalho

Quadro 12: parâmetros de entrada escolhidos para análise de sensibilidade

Parâmetros	Unidade	Padrão
Desaceleração em amarelo	m/s ²	2,85
Fator de velocidade	%	1,00
Taxa de desaceleração de cortesia	m/s ²	1,95
Tempo de reação em amarelo	s	1,20
Tempo de reação em verde	s	0,50
<i>Headway</i> a 0 km/h	s	0,50
<i>Headway</i> a 30 km/h	s	1,30
<i>Headway</i> a 80 km/h	s	1,60
<i>Headway</i> a 130 km/h	s	1,60
Fator de aceitação de brechas		1,00
Vantagem de posicionamento	vei	8,10
Vantagem opcional	vei	1,40
Ajuste de distância obrigatória	%	125
Ajuste de distância de posicionamento	%	105

Quadro 13: motorista-padrão com valores de parâmetros médios

6.3 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SAÍDA DO PROGRAMA

Os valores dos parâmetros de saída de uma simulação indicam o comportamento do sistema em condições previamente determinadas. Através da análise desses elementos, é possível identificar a influência dos parâmetros de calibração nas microssimulações de tráfego.

Como apresentado no item 4.4.3, o simulador permite avaliar o sistema através de sete parâmetros. Dos sete, foram escolhidos dois parâmetros de saída para controle dos resultados, sendo as justificativas de escolha apresentadas no quadro 14.

Parâmetro	Escolhido	Motivo
Atraso total	Não	Não é facilmente mensurável, existência de diversos conceitos de atraso
Atraso por veículo	Não	Não é facilmente mensurável, existência de diversos conceitos de atraso
Parada	Não	O número de paradas de veículos ao longo do trecho não fornece informação significativa a este trabalho
Distância de viagem	Não	Uma vez que o trecho foi determinado e modelado, esse valor é conhecido
Tempo de viagem	Sim	Informação derivada da velocidade média, com incorporação de atrasos ao longo do trecho
Velocidade média	Sim	Apresenta a velocidade média dos veículos no trecho
Consumo de combustível	Não	Informação que depende das características dos veículos, item não abordado no estudo

Quadro 14: parâmetros de saída escolhidos para análise de sensibilidade

6.4 SIMULAÇÕES

Por se tratar de microssimulação de tráfego, é importante analisar o comportamento do sistema em diferentes níveis de congestionamento. Nesse estudo foram determinados três deles, de acordo com a relação volume/capacidade (v/c) da via. O primeiro nível considerou a relação v/c aproximadamente igual a 0,40 (40% de ocupação da capacidade viária, os veículos estão em fluxo livre), o segundo nível considerou uma relação v/c cerca de 0,70 (70% de ocupação da capacidade da via, situação de congestionamento) e o terceiro nível corresponde à relação v/c igual a 0,90 (90% de ocupação da capacidade da via, quase no limite de saturação).

Na etapa de análise de sensibilidade foram estudados cinco parâmetros de calibração do motorista, sendo que, para cada parâmetro, foram definidos cinco tipos de condutores. O primeiro e o quinto tipos correspondem aos valores extremos (motoristas cautelosos e agressivos, respectivamente), o terceiro corresponde à média (motorista-padrão), sendo o

segundo e quarto tipos valores intermediários entre a média e os extremos. A figura 7 ilustra os tipos de motoristas considerados e o quadro 15 apresenta os valores dos parâmetros para cada um deles. Como apenas os cinco primeiros parâmetros foram analisados, os demais mantiveram o valor médio em todas as simulações. Para tornar válidos os resultados obtidos, foram feitas 20 rodadas por simulação, sendo a média dos tempos de viagem e velocidade média, valores referência do trabalho.

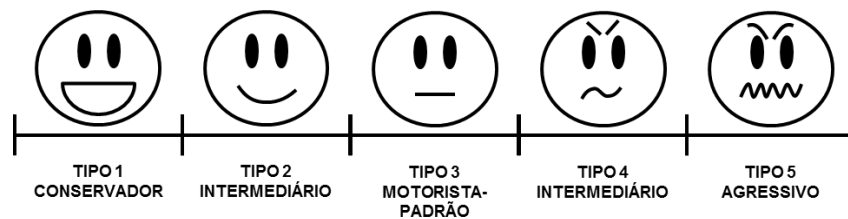


Figura 7: tipos de motoristas considerados no estudo

Tipos de Motoristas	Unidade	1	2	3	4	5
Desaceleração em amarelo	m/s ²	3,60	3,23	2,85	2,48	2,10
Fator de velocidade	%	0,85	0,93	1,00	1,08	1,15
Taxa de desaceleração de cortesia	m/s ²	3,00	2,48	1,95	1,43	0,90
Tempo de reação em amarelo	s	0,70	0,95	1,20	1,45	1,70
Tempo de reação em verde	s	0,80	0,65	0,50	0,35	0,20
<i>Headway</i> a 0 km/h	s	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
<i>Headway</i> a 30 km/h	s	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
<i>Headway</i> a 80 km/h	s	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
<i>Headway</i> a 130 km/h	s	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
Fator de aceitação de brechas		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vantagem de posicionamento	vei	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10
Vantagem opcional	vei	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
Ajuste de distância obrigatória	%	125	125	125	125	125
Ajuste de distância de posicionamento	%	105	105	105	105	105

Quadro 15: tipos de motorista com valores de parâmetros definidos para o trabalho

6.4.1 Avaliação Individual dos Parâmetros de Calibração do Motorista

Num primeiro momento foram simulados cada um dos parâmetros de entrada escolhidos, para cada um dos cinco tipos de motoristas, mantendo-se o valor médio nos demais parâmetros. Dessa forma, foi possível identificar a variação nos valores dos parâmetros de saída para cada parâmetro de entrada.

O quadro 16 apresenta os dados de entrada das simulações para os parâmetros analisados. Cada tipo de condutor foi simulado individualmente, visando avaliar a variação nos valores dos parâmetros de saída em relação à variação do valor do parâmetro de calibração em questão. Todos os parâmetros foram simulados de forma semelhante, segundo os valores apresentados abaixo e analisados de acordo com os três níveis de congestionamento previamente determinados.

Parâmetro	Unidade	Dados de entrada					Δ Valor	Δ Percentual em relação à média
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5		
Desaceleração em amarelo	m/s ²	3,60	3,23	2,85	2,48	2,10	1,50	±26%
Fator de velocidade	%	0,85	0,93	1,00	1,08	1,15	0,30	±15%
Desaceleração de cortesia	m/s ²	3,00	2,48	1,95	1,43	0,90	2,10	±53%
Tempo de reação em amarelo	s	0,70	0,95	1,20	1,45	1,70	1,00	±42%
Tempo de reação em verde	s	0,80	0,65	0,50	0,35	0,20	0,60	±60%

Quadro 16: dados de entrada dos parâmetros para as simulações

6.4.2 Avaliação Conjunta dos Parâmetros de Calibração do Motorista

Os programas de microssimulação tem os seus resultados influenciados por uma gama diversificada de parâmetros, associados à veículos, vias e condutores. Cada parâmetro de entrada interfere de forma direta em um ou vários parâmetros de saída. A análise conjunta desses indicadores permite avaliar o efeito da interação entre os parâmetros nos resultados das simulações.

Nessa etapa buscou-se avaliar a influência da combinação dos valores dos parâmetros de calibração nos resultados das simulações, através dos diferentes tipos de motoristas

previamente definidos. O desempenho da rede viária foi avaliado combinando os 5 tipos de condutores para cada um dos três níveis de saturação da via, sendo cada tipo de condutor correspondente a 20% da população de motoristas.

6.5 RESULTADOS

Nesse item são apresentados os resultados obtidos através das simulações para os parâmetros de saída velocidade média e tempo de viagem.

6.5.1 Velocidade Média

Retomando a definição do manual, a velocidade média é calculada dividindo a distância total pelo tempo total de percurso, ponderado pelo volume, incluindo o tempo parado do veículo na rede. O tempo utilizado no cálculo da velocidade média, por outro lado, não inclui o tempo de espera dos veículos que desejam entrar na rede. Assim sendo, a velocidade média calculada pelo *SimTraffic* é diferente da relação linear entre distância e tempo de percurso.

Para a relação volume/capacidade igual a 0,4, o parâmetro de entrada que apresentou maior variação na velocidade média dos veículos foi o fator de velocidade. O indicador apresentou variação de 2 km/h entre motoristas cautelosos (tipo 1) e motoristas com comportamento agressivo (tipo 5), correspondendo à uma variação de 7%. Quando analisados separadamente, os demais parâmetros apresentaram velocidade média de 30 km/h para todos os tipos de motoristas, indicando pouca sensibilidade do *software* em relação à esses parâmetros, de acordo com as condições estabelecidas. Nas simulações com os motoristas combinados, o programa também apresentou velocidade média de 30 km/h. Os resultados para $v/c=0,40$ estão apresentados no quadro 17 e ilustrados na figura 8.

Na análise feita para a relação volume/capacidade de 0,70, o parâmetro de maior influência na velocidade média foi o fator de velocidade, com variação de 1 km/h entre os motoristas cautelosos e agressivos, o que corresponde à uma variação de 5% na velocidade. Para os demais parâmetros de entrada, a velocidade média calculada foi de 20 km/h. A velocidade também foi de 20 km/h para a combinação dos 5 tipos de motoristas. Esse comportamento

indica sensibilidade quase nula do programa à variação dos parâmetros de entrada. Os resultados estão apresentados no quadro 18 e ilustrados na figura 9.

Para a relação volume/capacidade igual a 0,9, o fator de velocidade é o parâmetro cuja variação de valor reflete diretamente nos resultados da simulação. Esse parâmetro também apresenta variação de 2 km/h na velocidade média entre os motoristas cautelosos e agressivos, valor que corresponde à variação de 12%. Para todos os outros indicadores, a velocidade média proveniente das simulações foi de 17 km/h. A combinação de motoristas resultou em uma velocidade média de 16 km/h, apresentado no quadro 19 e ilustrado na figura 10.

De acordo com os resultados, dentre os 5 parâmetros estudados, o único que influenciou de forma significativa a velocidade média dos veículos foi o fator de velocidade. Esse indicador, apesar de alterar diretamente a velocidade exercida pelos condutores, tem influência relativamente baixa nos resultados da simulação visto que a diferença entre velocidades mais significativa foi de 2 km/h, apesar desse valor corresponder a variação de 12% para $v/c=0,90$.

Considerando a definição de velocidade média do programa e os resultados obtidos com as simulações, o parâmetro de saída foi considerado inválido para análise de sensibilidade do microssimulador *SimTraffic*. A constância dos valores nos resultados impossibilita qualquer tipo de análise aprofundada, tornando inviável a consideração desses resultados na análise do programa.

Volume/Capacidade = 0,4		Dados de saída							
		Velocidade média (km/h)							
Parâmetro	Unidade	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Δ Valor	Δ %	Motoristas combinados
Desaceleração em amarelo	m/s ²	30	30	30	30	30	0,00	0%	30
Fator de velocidade	%	29	30	30	31	31	2,00	7%	
Desaceleração de cortesia	m/s ²	30	30	30	30	30	0,00	0%	
Tempo de reação em amarelo	s	30	30	30	30	30	0,00	0%	
Tempo de reação em verde	s	30	30	30	30	30	0,00	0%	

Quadro 17: velocidade média para $v/c=0,40$

Volume/Capacidade = 0,7		Dados de saída							
		Velocidade média (km/h)							
Parâmetro	Unidade	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Δ Valor	$\Delta\%$	Motoristas combinados
Desaceleração em amarelo	m/s ²	20	20	20	20	20	0,00	0%	20
Fator de velocidade	%	20	20	20	21	21	1,00	5%	
Desaceleração de cortesia	m/s ²	20	20	20	20	20	0,00	0%	
Tempo de reação em amarelo	s	20	20	20	20	20	0,00	0%	
Tempo de reação em verde	s	20	20	20	20	20	0,00	0%	

Quadro 18: velocidade média para v/c=0,70

Volume/Capacidade = 0,9		Dados de saída							
		Velocidade média (km/h)							
Parâmetro	Unidade	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Δ Valor	$\Delta\%$	Motoristas combinados
Desaceleração em amarelo	m/s ²	17	17	17	17	17	0,00	0%	16
Fator de velocidade	%	15	16	17	17	17	2,00	12%	
Desaceleração de cortesia	m/s ²	17	17	17	17	17	0,00	0%	
Tempo de reação em amarelo	s	17	17	17	17	17	0,00	0%	
Tempo de reação em verde	s	17	17	17	17	17	0,00	0%	

Quadro 19: velocidade média para v/c=0,90

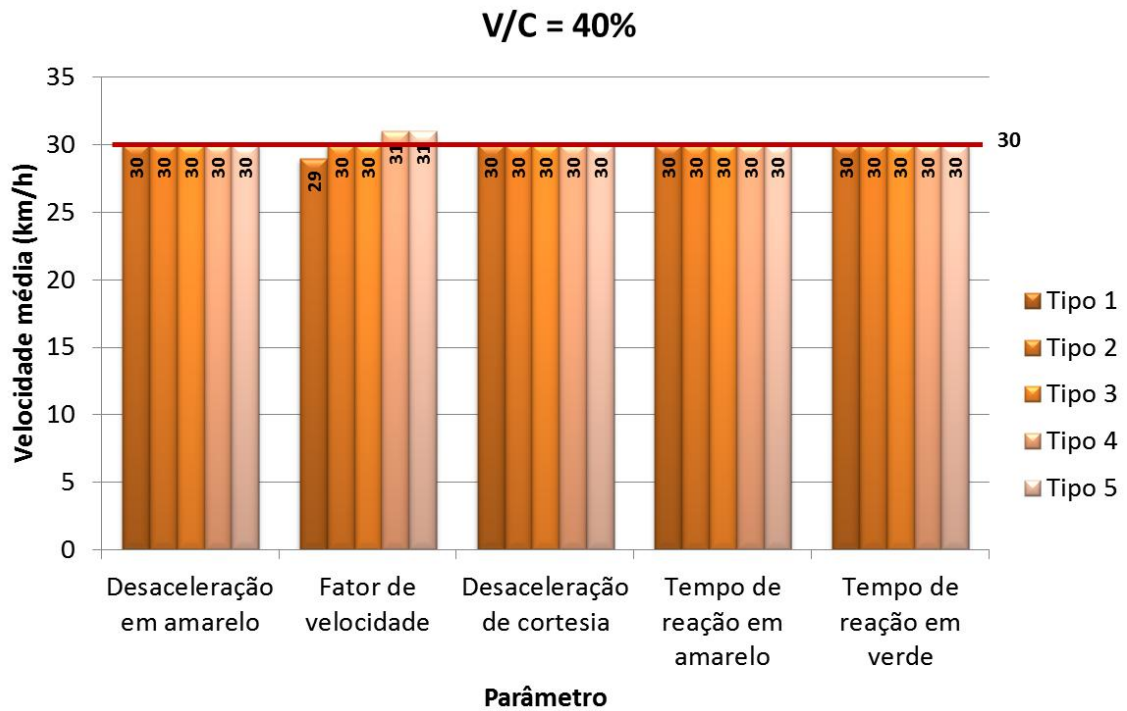


Figura 8: velocidade média para $v/c=0,40$

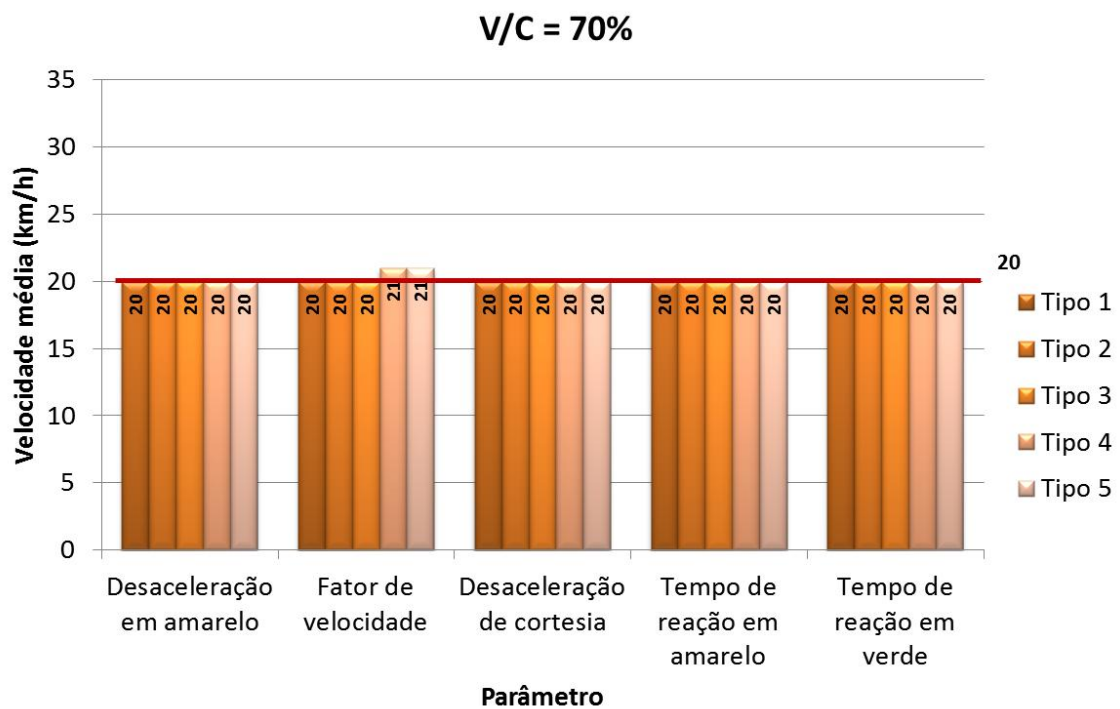


Figura 9: velocidade média para $v/c=0,70$

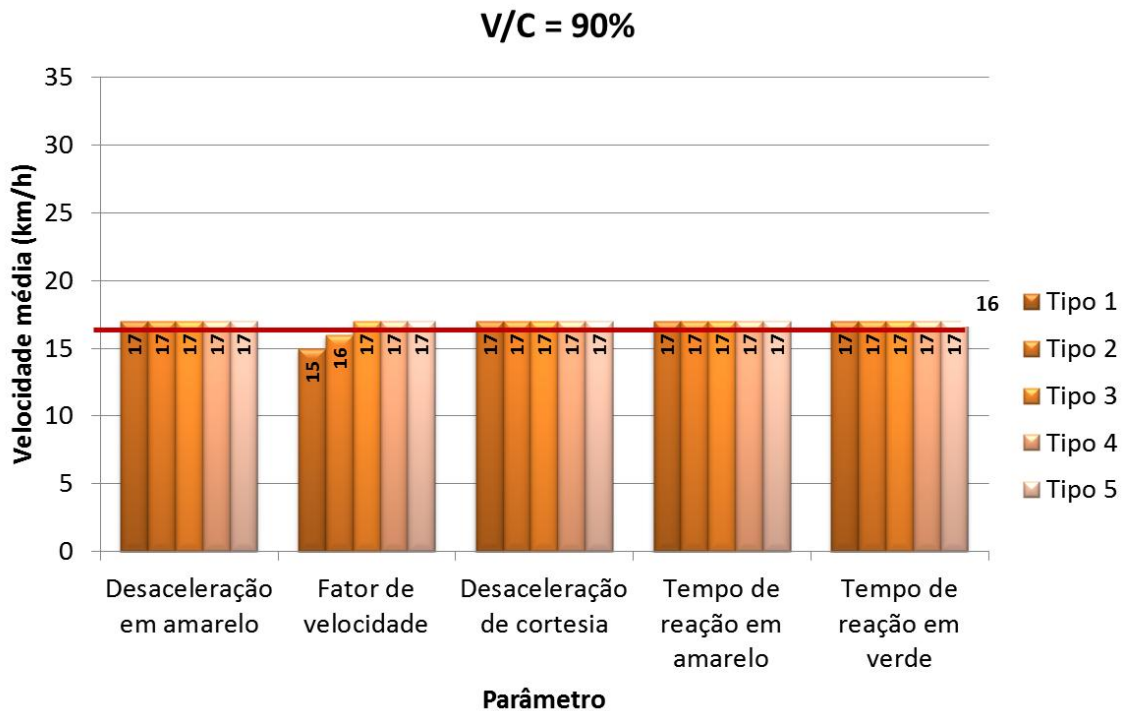


Figura 10: velocidade média para $v/c=0,90$

6.5.2 Tempo de viagem

O tempo de viagem calculado através do *software* é a soma do tempo despendido por cada veículo para percorrer um determinado trecho na rede viária. O tempo médio de viagem por veículo é a divisão do tempo total de viagem no trecho pelo número de veículos que percorreram esse trecho.

Para a relação $v/c=0,40$, o parâmetro desaceleração em amarelo apresentou variação de 0,71 segundos no tempo de viagem. O fator de velocidade apresentou variação de 3,73 segundos (variação de aproximadamente 8%), os parâmetros tempo de reação em amarelo e tempo de reação em verde apresentaram variações abaixo de 0,50 segundos e o parâmetro desaceleração de cortesia não apresentou alteração no tempo de viagem dos veículos. O tempo de viagem para a relação $v/c=0,40$ foi cerca de 49 segundos para todos os parâmetros, exceto para o fator de velocidade, que apresentou a maior variação em seu valor absoluto. A combinação dos motoristas nas simulações apresentou um tempo de viagem de 50,08 segundos para um trecho de aproximadamente 250 metros de extensão. Os resultados estão apresentados no quadro 20 e ilustrados na figura 11.

Para as simulações com relação $v/c=0,70$, as variações foram consideravelmente maiores. Para o parâmetro desaceleração de cortesia, não houve diferença no tempo de viagem, o que indica pouca ou nenhuma sensibilidade por parte do *software* a esse indicador. Para a desaceleração em amarelo, a variação no tempo de viagem foi de aproximadamente 1 segundo. Os tempos de reação em verde e em amarelo apresentaram variações de cerca de 6 segundos entre os tempos de viagem dos motoristas 1 e 5, e cerca de 43 segundos para o fator de velocidade (variação de aproximadamente 19% no tempo de viagem). Nesse contexto vale ressaltar o acréscimo de 40 segundos no tempo de viagem entre os dois níveis de saturação das vias. Para os motoristas combinados, o tempo de viagem foi de 242,42 segundos (cerca de 4 minutos) para um trecho de 250 metros. Os resultados estão apresentados no quadro 21 e ilustrados na figura 12.

Já para o $v/c=0,90$, a variação do tempo de viagem entre os motoristas cautelosos e agressivos é quase nula para desaceleração de cortesia, aproximadamente 4 segundos para tempo de reação em verde, cerca de 8 segundos para tempo de reação em amarelo e aproximadamente 9 segundos para desaceleração em amarelo. Para o fator de velocidade, a variação no tempo de viagem é de aproximadamente 73 segundos (variação de cerca de 19%), mais de 1 minuto considerando um trecho de 250 metros. A combinação de motoristas resultou em um tempo de viagem de 411,13 segundos, aproximadamente 7 minutos. Os resultados para $v/c=0,90$ estão apresentados no quadro 22 e ilustrados na figura 13.

Diferente da velocidade média, o parâmetro de saída tempo de viagem sofreu mudanças significativas em seu valor. Quando combinados os 5 tipos de motoristas, o resultado foi próximo aos tempos de viagem de condutores mais cautelosos, com grande influência do parâmetro fator de velocidade. É possível verificar que o resultado da combinação é sempre próximo do valor encontrado para o condutor tipo 2.

Volume/Capacidade = 0,4		Dados de saída							
		Tempo de viagem (s)							
Parâmetro	Unidade	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Δ Valor	$\Delta\%$	Motoristas combinados
Desaceleração em amarelo	m/s ²	49,88	49,65	49,65	49,41	49,18	0,71	1%	50,08
Fator de velocidade	%	51,97	50,56	49,65	48,94	48,24	3,73	8%	
Desaceleração de cortesia	m/s ²	49,65	49,65	49,65	49,65	49,65	0,00	0%	
Tempo de reação em amarelo	s	49,88	49,65	49,65	49,41	49,41	0,47	1%	
Tempo de reação em verde	s	49,65	49,65	49,65	49,41	49,41	0,24	0%	

Quadro 20: tempo de viagem para v/c=0,40

Volume/Capacidade = 0,7		Dados de saída							
		Tempo de viagem (s)							
Parâmetro	Unidade	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Δ Valor	$\Delta\%$	Motoristas combinados
Desaceleração em amarelo	m/s ²	234,90	234,03	231,74	230,73	235,81	0,91	0%	242,42
Fator de velocidade	%	259,74	242,76	232,87	222,97	216,56	43,18	19%	
Desaceleração de cortesia	m/s ²	232,87	232,87	232,87	232,87	232,87	0,00	0%	
Tempo de reação em amarelo	s	235,77	232,42	232,87	232,50	229,26	6,52	3%	
Tempo de reação em verde	s	235,81	232,83	231,74	229,75	228,47	6,06	3%	

Quadro 21: tempo de viagem para v/c=0,70

Volume/Capacidade = 0,9		Dados de saída							
		Tempo de viagem (s)							
Parâmetro	Unidade	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Δ Valor	$\Delta\%$	Motoristas combinados
Desaceleração em amarelo	m/s ²	400,11	391,86	390,64	389,19	387,78	9,47	2%	411,13
Fator de velocidade	%	445,95	411,81	388,95	377,94	372,42	73,53	19%	
Desaceleração de cortesia	m/s ²	388,95	388,95	389,19	389,19	389,19	0,24	0%	
Tempo de reação em amarelo	s	395,83	391,98	388,95	388,96	387,25	8,58	2%	
Tempo de reação em verde	s	391,96	391,57	388,95	387,56	383,98	4,40	1%	

Quadro 22: tempo de viagem para v/c=0,90

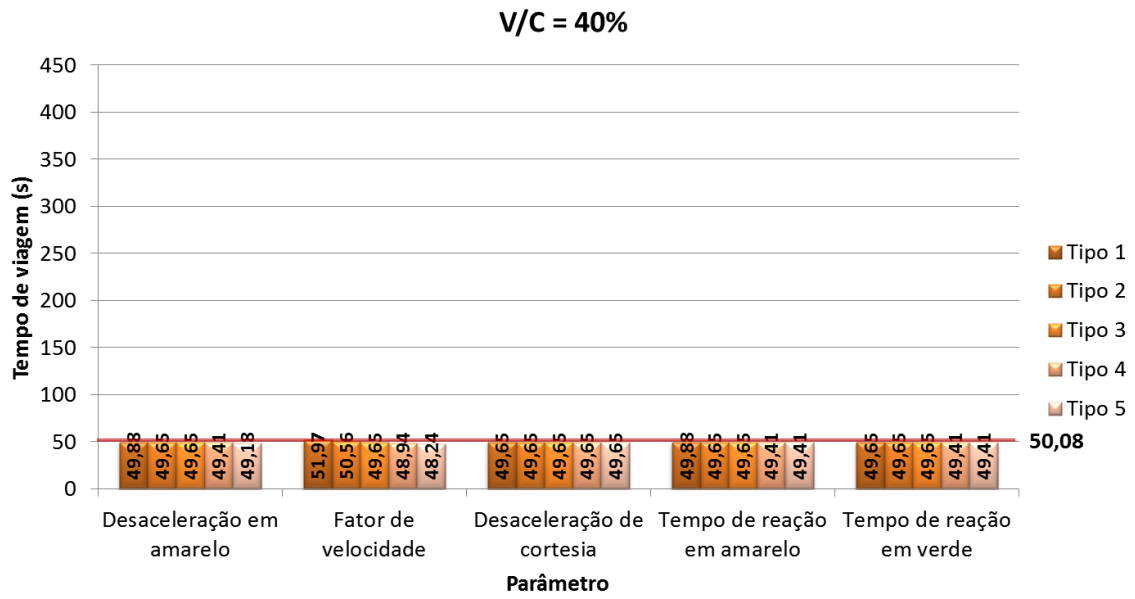


Figura 11: tempo de viagem para $v/c=0,40$

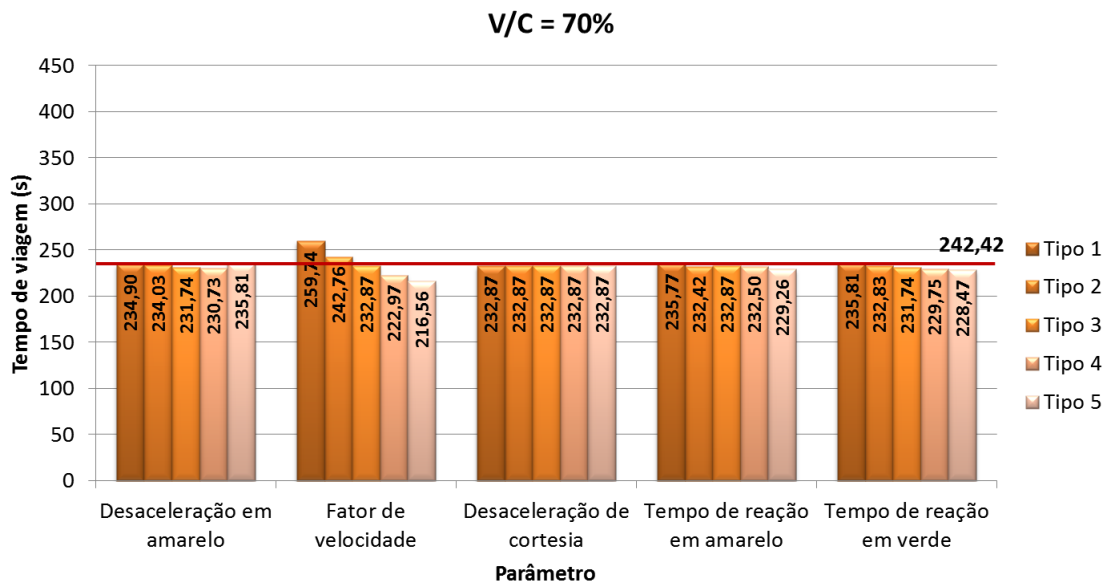


Figura 12: tempo de viagem para $v/c=0,70$

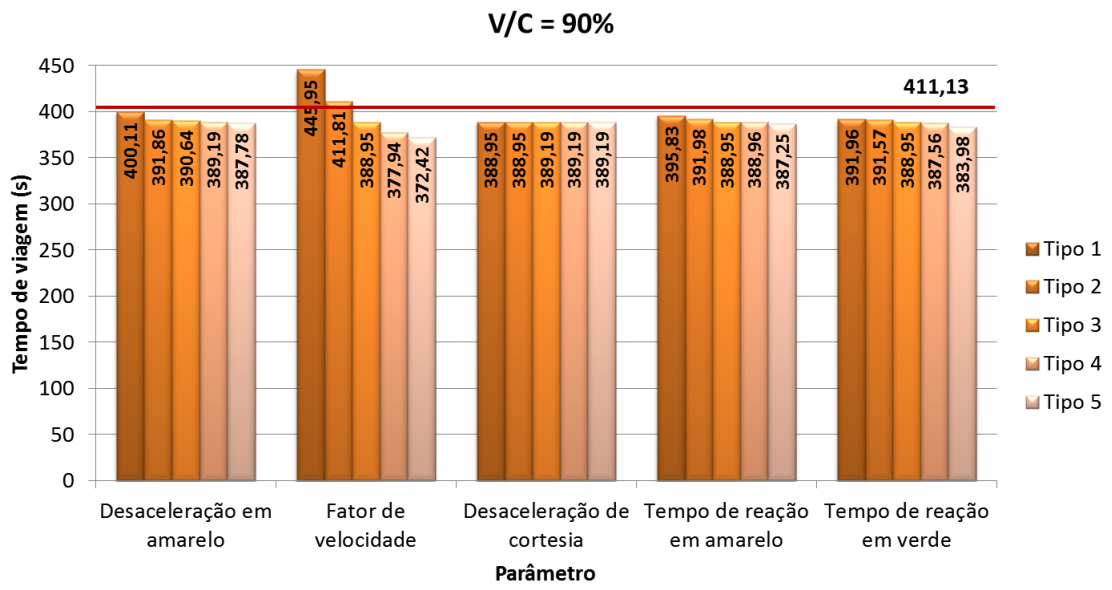


Figura 13: tempo de viagem para $v/c=0,90$

6.5.3 Desvio Padrão dos Resultados

Para avaliar a sensibilidade do microsimulador foram considerados os valores médios dos resultados fornecidos pelo programa. Entretanto, a média aritmética muitas vezes esconde a variabilidade existente dos modelos de simulação estocásticos. Para validar as considerações feitas sobre os resultados baseados na média das 20 simulações foram calculados os desvios padrão para os tempos de viagem, segundo a fórmula 11:

(fórmula 11)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - X)^2}{n - 1}}$$

Onde:

σ = desvio padrão;

X_i = valor de cada evento individual;

X = média aritmética dos valores X_i ;

n = número de eventos.

O programa fornece os tempos de viagem para cada uma das 20 simulações apenas para o tempo despendido pelos veículos para percorrer toda a rede viária. Para o trecho analisado é fornecida a média dos tempos de viagem de forma resumida. Portanto, os cálculos expostos no Apêndice A – Cálculo dos desvios padrão dos tempos de viagem apresenta a variabilidade dos tempos de viagem para toda a rede.

Para baixos níveis de saturação das vias ($v/c=0,40$), o programa apresentou desvio padrão da ordem de 0,60 segundos, valor baixo que não compromete os resultados do trabalho. Já para níveis de saturação maiores ($v/c=0,70$ e $v/c=0,90$), os resultados obtidos através das simulações apresentaram desvios padrão da ordem de 25 segundos, valor considerável para trechos curtos. Porém, os desvios padrão foram calculados baseados nos tempos de viagem de todos os veículos em toda a rede viária, o que significa que a diferença de 25 segundos entre

as simulações está dissipada em toda a rede, não comprometendo os resultados obtidos nesse estudo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o crescimento natural das cidades, o trânsito urbano tornou-se um problema amplamente discutido pela sociedade, que vem cobrando atitudes por parte do poder público referente à mobilidade urbana. Para planejar o crescimento das grandes cidades, os tomadores de decisão dispõem de estudos de tráfego que utilizam programas computacionais na avaliação das condições atuais e futuras de trafegabilidade em pontos da cidade. Os microssimuladores vem sendo cada vez mais utilizados no planejamento urbano, podendo ser classificados de acordo com a agregação de informações, tempo e variabilidade.

Esse trabalho teve por objetivo avaliar a sensibilidade das respostas do modelo à variabilidade de parâmetros de calibração do motorista, através da técnica de análise de sensibilidade do *software* de microssimulação *SimTraffic*. Por definição, análise de sensibilidade é uma técnica que possibilita a condução de experimentos de forma controlada, utilizando um modelo de simulação. Esse tipo de investigação permite avaliar os impactos gerados pela alteração dos valores dos parâmetros de entrada nos resultados das simulações.

As simulações contemplaram 5 parâmetros de entrada referentes à caracterização do perfil dos motoristas e 2 parâmetros de saída (tempo de viagem e velocidade média), para 3 diferentes níveis de saturação das vias. O indicador velocidade média, utilizado para controle dos resultados, foi desconsiderado, pois, além de a sua formulação matemática ser diferente da relação direta entre distância e tempo de percurso, os resultados obtidos apresentaram variações não significativas para análise de sensibilidade. Devido a isso, o único indicador de controle utilizado para determinação do parâmetro de maior influência sobre o sistema foi o tempo médio de viagem dos veículos.

Conforme os resultados obtidos, o parâmetro mais influente nos resultados das simulações é o fator de velocidade, seguido de desaceleração em amarelo e tempo de reação em amarelo. O

fator de velocidade gerou uma variação de 3,73 segundos no tempo de viagem para relação $v/c=0,40$, 43,18 segundos para $v/c=0,70$ e 73,53 segundos para $v/c=0,90$. Esses tempos são significativos quando associados à extensão do trecho analisado, de 250 metros. É importante salientar que esse indicador sofreu a menor variação absoluta dentre todos os parâmetros de entrada avaliados, resultando em maior variação absoluta nos tempos de viagem. Para redes com altos níveis de congestionamento, a variação do parâmetro de calibração fator de velocidade pode causar razoáveis variabilidades nos tempos de viagem, tendo apresentado neste estudo um valor de aproximadamente 19%. Esse valor é significativo visto que as simulações são utilizadas como ferramentas que geram substratos para tomada de decisão, que afeta toda a sociedade.

Também é possível verificar que a combinação dos 5 tipos de motoristas para os parâmetros de entrada avaliados conduz a resultados próximos aos dos motoristas cautelosos, minimizando a influência de motoristas agressivos no desempenho do sistema. Essa afirmação é válida, uma vez que os condutores cautelosos muitas vezes não permitem aos motoristas com maior habilidade aproveitar brechas, realizar ultrapassagens, exercer velocidades superiores, todas características próprias desse grupo de condutores.

A partir dessas considerações, é possível afirmar que quanto maior o nível de saturação das vias, mais importante é a calibração dos parâmetros que caracterizam o condutor. Como exposto, a simulação é uma ferramenta utilizada para o embasamento na tomada de decisões e deve ser utilizada de maneira a reproduzir com fidelidade as situações observadas. Por serem ferramentas computacionais, os *softwares* são passíveis de incertezas, fato que pode causar distorções nos resultados das simulações. Para evitar resultados adversos, é importante realizar análises de sensibilidade para identificar os parâmetros de maior influência no desempenho do sistema. Conhecendo as características e deficiências dos modelos, o esforço para calibração é reduzido, e, uma vez que o modelo esteja adaptado às condições identificadas em campo, a maior confiabilidade nos valores dos parâmetros de saída permite que o modelo seja uma base sólida para a tomada de decisão por parte dos gestores dos grandes centros urbanos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, D. R. C. **Comparação das Simulações de Tráfego dos Modelos SATURN e DRACULA**. 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- DOWLING, R.; SKABARDONIS, A.; ALEXIADIS, V. **Traffic Analysis Toolbox Volume III: guidelines for applying traffic microsimulation software**. United States of America: U. S. Department of Transportation, 2004. Disponível em: <http://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysisstools/tat_vol3/Vol3_Guidelines.pdf>. Acesso em: 28 out. 2010.
- HUSCH, D.; ALBECK, J. **Synchro Studio 7 User Guide**. Albany, CA: Trafficware, 2006.
- JONES JR., S. L.; SULLIVAN, A.; ANDERSON, M.; MALAVE, D.; CHEEKOTI, N. **Traffic Simulation Software Comparison Study**. Alabama: University Transportation Center of Alabama, 2004. Disponível em: <http://utca.eng.ua.edu/projects/final_reports/02217fnl.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2010.
- LIBERMAN, E.; RATHI, A. K. Traffic simulation. In: GARTNER, N.; MESSER, C. M.; RATHI, A. K. (Ed.). **The revised monograph on traffic flow theory**. New York, Federal Highway Administration, 1997. 10-1 a 10-9. Disponível em: <<http://www.tfhrc.gov/its/tft/chap10.pdf>>. Acesso em: 6 nov. 2010.
- LIND, G.; SCHMIDT, K.; ANDERSSON, H.; CANEPARI, S. S. G.; TARANTO, C. D.; BERNAUER, E.; BRÉHERET, L.; GABARD, J.; FOX, K. **Best Practice Manual**. Leeds: University of Leeds, Institute for Transport Studies, 1999. Disponível em: <<http://www.its.leeds.ac.uk/projects/smartest/deliv8.PDF>>. Acesso em: 1 nov. 2010.
- PECKER, C. C. **Simulação de Segmentos Rodoviários de Pista Simples com Faixas Adicionais**. 2003. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/Caroline_C_Pecker.pdf>. Acesso em: 29 out. 2010.

APÊNDICE A – Cálculo dos Desvios Padrão para os Tempos de Viagem

Os quadros 1 a 5 apresentam os desvios padrão para os tempos de viagem para todos os parâmetros, para a relação $v/c=0,40$. Os quadros 6 a 10 apresentam os desvios padrão para os tempos de viagem para todos os parâmetros, para a relação $v/c=0,70$. E os quadros 11 a 15 apresentam os desvios padrão para os tempos de viagem para todos os parâmetros, para a relação $v/c=0,90$.

Parâmetro	Desaceleração de cortesia														
V/C	0,4														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	55,80	3150	63,77	55,80	3150	63,77	55,80	3150	63,77	55,80	3150	63,77	55,80	3150	63,77
10	56,70	3232	63,16	56,70	3232	63,16	56,70	3232	63,16	56,70	3232	63,16	56,70	3232	63,16
11	55,80	3185	63,07	55,80	3185	63,07	55,80	3185	63,07	55,80	3185	63,07	55,80	3185	63,07
12	55,90	3193	63,03	55,90	3193	63,03	55,90	3193	63,03	55,90	3193	63,03	55,90	3193	63,03
13	56,30	3253	62,31	56,30	3253	62,31	56,30	3253	62,31	56,30	3253	62,31	56,30	3253	62,31
14	55,30	3167	62,86	55,30	3167	62,86	55,30	3167	62,86	55,30	3167	62,86	55,30	3167	62,86
15	57,00	3252	63,10	57,00	3252	63,10	57,00	3252	63,10	57,00	3252	63,10	57,00	3252	63,10
16	56,80	3188	64,14	56,80	3188	64,14	56,80	3188	64,14	56,80	3188	64,14	56,80	3188	64,14
17	56,50	3229	62,99	56,50	3229	62,99	56,50	3229	62,99	56,50	3229	62,99	56,50	3229	62,99
18	55,40	3188	62,56	55,40	3188	62,56	55,40	3188	62,56	55,40	3188	62,56	55,40	3188	62,56
19	56,60	3217	63,34	56,60	3217	63,34	56,60	3217	63,34	56,60	3217	63,34	56,60	3217	63,34
2	57,10	3241	63,42	57,10	3241	63,42	57,10	3241	63,42	57,10	3241	63,42	57,10	3241	63,42
20	55,30	3167	62,86	55,30	3167	62,86	55,30	3167	62,86	55,30	3167	62,86	55,30	3167	62,86
3	57,30	3264	63,20	57,30	3264	63,20	57,30	3264	63,20	57,30	3264	63,20	57,30	3264	63,20
4	53,80	3112	62,24	53,80	3112	62,24	53,80	3112	62,24	53,80	3112	62,24	53,80	3112	62,24
5	53,30	3134	61,23	53,30	3134	61,23	53,30	3134	61,23	53,30	3134	61,23	53,30	3134	61,23
6	56,20	3216	62,91	56,20	3216	62,91	56,20	3216	62,91	56,20	3216	62,91	56,20	3216	62,91
7	57,70	3279	63,35	57,70	3279	63,35	57,70	3279	63,35	57,70	3279	63,35	57,70	3279	63,35
8	55,10	3175	62,48	55,10	3175	62,48	55,10	3175	62,48	55,10	3175	62,48	55,10	3175	62,48
9	56,20	3219	62,85	56,20	3219	62,85	56,20	3219	62,85	56,20	3219	62,85	56,20	3219	62,85
Média	62,94			62,94			62,94			62,94			62,94		
Desvio padrão	0,6104			0,6104			0,6104			0,6104			0,6104		

Quadro 1: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,40$ para o parâmetro desaceleração de cortesia

Parâmetro	Desaceleração em amarelo														
V/C	0,4														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	56,00	3150	64,00	55,90	3150	63,89	55,80	3150	63,77	55,60	3150	63,54	55,50	3150	63,43
10	57,00	3232	63,49	56,80	3232	63,27	56,70	3232	63,16	56,50	3232	62,93	56,40	3232	62,82
11	56,10	3185	63,41	56,00	3185	63,30	55,80	3185	63,07	55,60	3185	62,84	55,30	3185	62,51
12	56,20	3193	63,36	56,00	3193	63,14	55,90	3193	63,03	55,70	3193	62,80	55,50	3193	62,57
13	56,60	3253	62,64	56,60	3253	62,64	56,30	3253	62,31	56,20	3253	62,19	56,00	3253	61,97
14	55,50	3167	63,09	55,40	3167	62,97	55,30	3167	62,86	55,20	3167	62,75	54,90	3167	62,41
15	57,20	3252	63,32	57,10	3252	63,21	57,00	3252	63,10	56,80	3252	62,88	56,70	3252	62,77
16	56,90	3189	64,23	56,80	3188	64,14	56,70	3188	64,03	56,50	3188	63,80	56,40	3188	63,69
17	56,80	3229	63,33	56,70	3229	63,21	56,50	3229	62,99	56,30	3229	62,77	56,20	3229	62,66
18	55,60	3188	62,79	55,60	3188	62,79	55,40	3188	62,56	55,30	3188	62,45	55,00	3188	62,11
19	57,00	3217	63,79	56,90	3217	63,67	56,60	3217	63,34	56,40	3217	63,11	56,30	3217	63,00
2	57,30	3241	63,65	57,10	3241	63,42	57,10	3241	63,42	57,00	3241	63,31	56,80	3241	63,09
20	55,50	3167	63,09	55,40	3167	62,97	55,30	3167	62,86	55,00	3167	62,52	54,90	3167	62,41
3	57,60	3264	63,53	57,40	3264	63,31	57,30	3264	63,20	57,20	3264	63,09	57,10	3264	62,98
4	54,00	3112	62,47	53,90	3112	62,35	53,80	3112	62,24	53,60	3112	62,01	53,50	3112	61,89
5	53,60	3134	61,57	53,50	3134	61,46	53,30	3134	61,23	53,20	3134	61,11	53,00	3134	60,88
6	56,30	3216	63,02	56,20	3216	62,91	56,20	3216	62,91	56,10	3216	62,80	55,90	3216	62,57
7	58,00	3279	63,68	57,80	3279	63,46	57,70	3279	63,35	57,50	3279	63,13	57,40	3279	63,02
8	55,30	3175	62,70	55,20	3175	62,59	55,10	3175	62,48	54,90	3175	62,25	54,70	3175	62,02
9	56,30	3219	62,96	56,30	3219	62,96	56,20	3219	62,85	56,10	3219	62,74	56,00	3219	62,63
Média	63,21			63,08			62,94			62,75			62,57		
Desvio padrão	0,5989			0,5768			0,5991			0,5829			0,6145		

Quadro 2: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,40$ para o parâmetro desaceleração em amarelo

Parâmetro	Fator de velocidade														
V/C	0,4														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	59,10	3150	67,54	57,10	3150	65,26	55,80	3150	63,77	54,60	3150	62,40	53,80	3150	61,49
10	60,30	3232	67,17	58,10	3232	64,72	56,70	3232	63,16	55,50	3232	61,82	54,60	3232	60,82
11	59,10	3187	66,76	57,10	3186	64,52	55,80	3185	63,07	54,40	3185	61,49	53,40	3185	60,36
12	59,40	3193	66,97	57,30	3193	64,60	55,90	3193	63,03	54,70	3193	61,67	53,80	3193	60,66
13	60,00	3253	66,40	57,80	3253	63,97	56,30	3253	62,31	55,20	3253	61,09	54,20	3253	59,98
14	58,70	3168	66,70	56,70	3167	64,45	55,30	3167	62,86	54,20	3166	61,63	53,20	3167	60,47
15	60,70	3252	67,20	58,50	3252	64,76	57,00	3252	63,10	55,70	3252	61,66	54,80	3252	60,66
16	60,20	3188	67,98	58,00	3188	65,50	56,70	3188	64,03	55,60	3188	62,79	54,70	3188	61,77
17	59,90	3229	66,78	58,00	3229	64,66	56,50	3229	62,99	55,30	3229	61,65	54,40	3229	60,65
18	58,50	3188	66,06	56,60	3188	63,91	55,40	3188	62,56	54,20	3188	61,20	53,30	3188	60,19
19	60,30	3217	67,48	58,00	3217	64,91	56,60	3217	63,34	55,40	3217	62,00	54,50	3217	60,99
2	60,60	3241	67,31	58,50	3241	64,98	57,10	3241	63,42	55,80	3241	61,98	55,00	3241	61,09
20	58,80	3167	66,84	56,60	3167	64,34	55,30	3167	62,86	54,00	3167	61,38	53,20	3167	60,47
3	60,90	3264	67,17	58,60	3264	64,63	57,30	3264	63,20	56,20	3264	61,99	55,30	3264	60,99
4	57,10	3112	66,05	55,00	3112	63,62	53,80	3112	62,24	52,60	3112	60,85	51,70	3112	59,81
5	56,70	3134	65,13	54,70	3134	62,83	53,30	3134	61,23	52,30	3134	60,08	51,40	3134	59,04
6	59,70	3216	66,83	57,50	3216	64,37	56,20	3216	62,91	55,00	3216	61,57	54,10	3216	60,56
7	61,50	3279	67,52	59,20	3279	65,00	57,70	3279	63,35	56,20	3279	61,70	55,40	3279	60,82
8	58,50	3175	66,33	56,40	3175	63,95	55,10	3175	62,48	53,90	3175	61,11	53,00	3175	60,09
9	59,60	3220	66,63	57,50	3220	64,29	56,20	3219	62,85	55,10	3219	61,62	54,20	3219	60,62
Média	66,84			64,46			62,94			61,58			60,58		
Desvio padrão	0,6455			0,6032			0,5991			0,5695			0,5960		

Quadro 3: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,40$ para o parâmetro fator de velocidade

Parâmetro	Tempo de Reação em Amarelo														
V/C	0,4														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	56,00	3150	64,00	55,90	3150	63,89	55,80	3150	63,77	55,60	3150	63,54	55,50	3150	63,43
10	57,00	3232	63,49	56,80	3232	63,27	56,70	3232	63,16	56,60	3232	63,04	56,40	3232	62,82
11	56,20	3185	63,52	56,00	3185	63,30	55,80	3185	63,07	55,70	3185	62,96	55,50	3185	62,73
12	56,20	3193	63,36	56,10	3193	63,25	55,90	3193	63,03	55,80	3193	62,91	55,60	3193	62,69
13	56,70	3253	62,75	56,50	3253	62,53	56,30	3253	62,31	56,20	3253	62,19	56,00	3253	61,97
14	55,60	3167	63,20	55,40	3167	62,97	55,30	3167	62,86	55,20	3167	62,75	55,00	3167	62,52
15	57,30	3252	63,43	57,10	3252	63,21	57,00	3252	63,10	56,90	3252	62,99	56,70	3252	62,77
16	56,90	3189	64,23	56,80	3188	64,14	56,70	3188	64,03	56,60	3188	63,91	56,40	3188	63,69
17	56,80	3229	63,33	56,70	3229	63,21	56,50	3229	62,99	56,40	3229	62,88	56,30	3229	62,77
18	55,60	3188	62,79	55,60	3188	62,79	55,40	3188	62,56	55,40	3188	62,56	55,20	3188	62,33
19	57,00	3217	63,79	56,90	3217	63,67	56,60	3217	63,34	56,50	3217	63,23	56,30	3217	63,00
2	57,40	3241	63,76	57,30	3241	63,65	57,10	3241	63,42	57,00	3241	63,31	56,80	3241	63,09
20	55,50	3167	63,09	55,40	3167	62,97	55,30	3167	62,86	55,10	3167	62,63	55,00	3167	62,52
3	57,60	3264	63,53	57,40	3264	63,31	57,30	3264	63,20	57,20	3264	63,09	57,00	3264	62,87
4	54,00	3112	62,47	53,90	3112	62,35	53,80	3112	62,24	53,70	3112	62,12	53,60	3112	62,01
5	53,60	3134	61,57	53,50	3134	61,46	53,30	3134	61,23	53,30	3134	61,23	53,20	3134	61,11
6	56,50	3216	63,25	56,20	3216	62,91	56,20	3216	62,91	56,10	3216	62,80	56,00	3216	62,69
7	58,00	3279	63,68	57,90	3279	63,57	57,70	3279	63,35	57,50	3279	63,13	57,40	3279	63,02
8	55,40	3175	62,82	55,20	3175	62,59	55,10	3175	62,48	54,90	3175	62,25	54,80	3175	62,14
9	56,40	3219	63,08	56,30	3219	62,96	56,20	3219	62,85	56,10	3219	62,74	55,90	3219	62,52
Média	63,26			63,10			62,94			62,81			62,63		
Desvio padrão	0,5925			0,5959			0,5991			0,5745			0,5577		

Quadro 4: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,40$ para o parâmetro tempo de reação em amarelo

Parâmetro	Tempo de Reação em Verde														
V/C	0,4														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	56,00	3150	64,00	55,90	3150	63,89	55,80	3150	63,77	55,70	3150	63,66	55,60	3150	63,54
10	57,00	3232	63,49	56,90	3232	63,38	56,70	3232	63,16	56,60	3232	63,04	56,50	3232	62,93
11	56,00	3186	63,28	55,90	3186	63,16	55,80	3185	63,07	55,70	3185	62,96	55,70	3185	62,96
12	56,10	3193	63,25	56,10	3193	63,25	55,90	3193	63,03	55,70	3193	62,80	55,70	3193	62,80
13	56,50	3253	62,53	56,40	3253	62,42	56,30	3253	62,31	56,30	3253	62,31	56,20	3253	62,19
14	55,50	3167	63,09	55,40	3167	62,97	55,30	3167	62,86	55,10	3167	62,63	55,20	3167	62,75
15	57,20	3252	63,32	57,10	3252	63,21	57,00	3252	63,10	56,90	3252	62,99	56,90	3252	62,99
16	57,00	3188	64,37	56,80	3188	64,14	56,70	3188	64,03	56,70	3188	64,03	56,60	3188	63,91
17	56,70	3229	63,21	56,70	3229	63,21	56,50	3229	62,99	56,50	3229	62,99	56,40	3229	62,88
18	55,60	3188	62,79	55,50	3188	62,67	55,40	3188	62,56	55,30	3188	62,45	55,30	3188	62,45
19	56,80	3217	63,56	56,80	3217	63,56	56,60	3217	63,34	56,60	3217	63,34	56,40	3217	63,11
2	57,30	3241	63,65	57,20	3241	63,54	57,10	3241	63,42	57,00	3241	63,31	56,90	3241	63,20
20	55,50	3167	63,09	55,50	3167	63,09	55,30	3167	62,86	55,20	3167	62,75	55,20	3167	62,75
3	57,60	3264	63,53	57,50	3264	63,42	57,30	3264	63,20	57,20	3264	63,09	57,20	3264	63,09
4	53,90	3112	62,35	53,90	3112	62,35	53,80	3112	62,24	53,70	3112	62,12	53,60	3112	62,01
5	53,60	3134	61,57	53,50	3134	61,46	53,30	3134	61,23	53,20	3134	61,11	53,10	3134	61,00
6	56,30	3216	63,02	56,30	3216	63,02	56,20	3216	62,91	56,10	3216	62,80	56,00	3216	62,69
7	57,80	3279	63,46	57,80	3279	63,46	57,70	3279	63,35	57,50	3279	63,13	57,50	3279	63,13
8	55,30	3175	62,70	55,20	3175	62,59	55,10	3175	62,48	55,00	3175	62,36	55,00	3175	62,36
9	56,40	3219	63,08	56,30	3219	62,96	56,20	3219	62,85	56,10	3219	62,74	56,00	3219	62,63
Média	63,17			63,09			62,94			62,83			62,77		
Desvio padrão	0,6032			0,5929			0,5991			0,6086			0,6039		

Quadro 5: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,40$ para o parâmetro tempo de reação em verde

Parâmetro	Desaceleração de cortesia														
V/C	0,7														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	361,40	6870	189,38	361,40	6870	189,38	361,40	6870	189,38	361,40	6870	189,38	361,40	6870	189,38
10	292,60	6972	151,08	292,60	6972	151,08	292,60	6972	151,08	292,60	6972	151,08	292,60	6972	151,08
11	292,60	6977	150,98	292,60	6977	150,98	292,60	6977	150,98	292,60	6977	150,98	292,60	6977	150,98
12	370,60	6862	194,43	370,60	6862	194,43	370,60	6862	194,43	370,60	6862	194,43	370,60	6862	194,43
13	304,70	6813	161,00	304,70	6813	161,00	304,70	6813	161,00	304,70	6813	161,00	304,70	6813	161,00
14	280,20	6929	145,58	280,20	6929	145,58	280,20	6929	145,58	280,20	6929	145,58	280,20	6929	145,58
15	376,20	6923	195,63	376,20	6923	195,63	376,20	6923	195,63	376,20	6923	195,63	376,20	6923	195,63
16	241,80	7004	124,28	241,80	7004	124,28	241,80	7004	124,28	241,80	7004	124,28	241,80	7004	124,28
17	339,50	6936	176,21	339,50	6936	176,21	339,50	6936	176,21	339,50	6936	176,21	339,50	6936	176,21
18	321,00	6884	167,87	321,00	6884	167,87	321,00	6884	167,87	321,00	6884	167,87	321,00	6884	167,87
19	333,90	6927	173,53	333,90	6927	173,53	333,90	6927	173,53	333,90	6927	173,53	333,90	6927	173,53
2	334,50	6908	174,32	334,50	6908	174,32	334,50	6908	174,32	334,50	6908	174,32	334,50	6908	174,32
20	314,60	6923	163,59	314,60	6923	163,59	314,60	6923	163,59	314,60	6923	163,59	314,60	6923	163,59
3	322,30	6837	169,71	322,30	6837	169,71	322,30	6837	169,71	322,30	6837	169,71	322,30	6837	169,71
4	274,90	6846	144,56	274,90	6846	144,56	274,90	6846	144,56	274,90	6846	144,56	274,90	6846	144,56
5	304,10	7028	155,77	304,10	7028	155,77	304,10	7028	155,77	304,10	7028	155,77	304,10	7028	155,77
6	306,60	6835	161,49	306,60	6835	161,49	306,60	6835	161,49	306,60	6835	161,49	306,60	6835	161,49
7	402,50	6906	209,82	402,50	6906	209,82	402,50	6906	209,82	402,50	6906	209,82	402,50	6906	209,82
8	327,40	6824	172,72	327,40	6824	172,72	327,40	6824	172,72	327,40	6824	172,72	327,40	6824	172,72
9	317,40	7044	162,21	317,40	7044	162,21	317,40	7044	162,21	317,40	7044	162,21	317,40	7044	162,21
Média	167,21			167,21			167,21			167,21			167,21		
Desvio padrão	20,0672			20,0672			20,0672			20,0672			20,0672		

Quadro 6: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,70$ para o parâmetro desaceleração de cortesia

Parâmetro	Desaceleração em amarelo														
V/C	0,7														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	364,50	6855	191,42	360,20	6856	189,14	361,40	6870	189,38	349,80	6861	183,54	367,70	6871	192,65
10	292,40	6957	151,31	295,80	6956	153,09	292,60	6972	151,08	290,80	6962	150,37	286,80	6970	148,13
11	286,20	6998	147,23	288,60	6985	148,74	288,60	6966	149,15	285,40	6993	146,92	294,90	6979	152,12
12	372,10	6850	195,56	371,30	6854	195,02	370,60	6862	194,43	372,20	6858	195,38	374,40	6848	196,82
13	306,80	6818	161,99	304,20	6817	160,65	304,70	6813	161,00	302,30	6823	159,50	313,30	6800	165,86
14	282,40	6928	146,74	284,20	6915	147,96	282,70	6924	146,98	271,50	6932	141,00	284,80	6921	148,14
15	377,60	6916	196,55	385,40	6911	200,76	376,10	6927	195,46	370,10	6938	192,04	373,50	6919	194,33
16	250,80	6991	129,15	247,50	6999	127,30	241,80	7004	124,28	245,50	6996	126,33	247,10	6993	127,21
17	341,20	6918	177,55	352,00	6923	183,04	339,50	6936	176,21	337,90	6932	175,48	341,10	6924	177,35
18	315,00	6889	164,61	319,90	6884	167,29	321,00	6884	167,87	321,10	6885	167,90	332,10	6867	174,10
19	348,70	6906	181,77	328,60	6925	170,82	333,90	6927	173,53	347,70	6903	181,33	332,30	6908	173,17
2	333,20	6909	173,62	326,90	6898	170,61	334,50	6908	174,32	333,10	6902	173,74	339,10	6901	176,90
20	319,40	6913	166,33	321,90	6919	167,49	314,60	6923	163,59	316,60	6911	164,92	311,10	6930	161,61
3	318,90	6842	167,79	311,20	6845	163,67	301,60	6867	158,11	297,80	6864	156,19	321,70	6837	169,39
4	273,40	6851	143,66	274,80	6841	144,61	274,90	6846	144,56	269,80	6852	141,75	268,60	6852	141,12
5	309,70	7038	158,41	311,00	7021	159,46	304,10	7028	155,77	319,60	7028	163,71	316,80	7011	162,67
6	309,70	6828	163,29	305,40	6840	160,74	312,00	6828	164,50	312,10	6832	164,46	316,80	6824	167,13
7	397,50	6906	207,21	402,80	6905	210,00	402,50	6906	209,82	395,90	6901	206,53	405,80	6900	211,72
8	331,20	6830	174,57	329,40	6829	173,65	327,20	6822	172,66	333,60	6823	176,02	327,50	6824	172,77
9	316,30	7038	161,79	314,20	7049	160,47	317,40	7044	162,21	308,80	7056	157,55	322,20	7038	164,81
Média	168,03			167,73			166,75			166,23			168,90		
Desvio padrão	19,8454			20,1834			20,1206			19,9904			20,2553		

Quadro 7: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,70$ para o parâmetro desaceleração em amarelo

Parâmetro	Fator de velocidade														
V/C	0,7														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	397,10	6805	210,07	358,60	6868	187,97	361,40	6870	189,38	351,80	6860	184,62	338,30	6892	176,71
10	323,90	6923	168,43	309,70	6948	160,47	292,60	6972	151,08	275,80	6979	142,27	275,30	6982	141,95
11	322,20	6919	167,64	294,20	6972	151,91	292,60	6977	150,98	282,30	6985	145,49	280,90	6982	144,84
12	403,80	6812	213,40	378,60	6847	199,06	370,60	6862	194,43	358,10	6854	188,09	349,80	6885	182,90
13	322,60	6790	171,04	315,10	6797	166,89	304,70	6813	161,00	298,30	6808	157,74	286,40	6829	150,98
14	309,80	6893	161,80	287,20	6917	149,48	280,20	6929	145,58	265,60	6948	137,62	261,80	6952	135,57
15	397,60	6891	207,71	388,50	6910	202,40	376,20	6923	195,63	370,00	6942	191,88	356,40	6942	184,82
16	279,60	6968	144,45	260,30	6982	134,21	241,80	7004	124,28	237,80	7007	122,17	231,80	7013	118,99
17	389,00	6900	202,96	359,70	6923	187,05	339,50	6936	176,21	335,80	6943	174,11	328,50	6953	170,08
18	359,80	6834	189,53	325,90	6879	170,55	321,00	6884	167,87	309,40	6898	161,47	294,40	6920	153,16
19	392,40	6827	206,92	343,30	6925	178,47	333,90	6927	173,53	309,80	6936	160,80	316,70	6939	164,31
2	374,30	6892	195,51	341,30	6898	178,12	334,50	6908	174,32	313,50	6932	162,81	310,30	6933	161,13
20	338,50	6877	177,20	321,00	6914	167,14	314,60	6923	163,59	307,10	6928	159,58	294,00	6967	151,92
3	352,40	6791	186,81	324,70	6834	171,04	322,30	6837	169,71	302,70	6864	158,76	288,40	6870	151,13
4	305,80	6798	161,94	287,20	6829	151,40	274,90	6846	144,56	266,40	6849	140,03	258,00	6861	135,37
5	348,90	6936	181,09	331,60	6978	171,07	304,10	7028	155,77	298,10	7024	152,78	289,30	7055	147,62
6	336,60	6803	178,12	323,80	6804	171,32	306,60	6835	161,49	297,20	6844	156,33	286,30	6858	150,29
7	431,90	6883	225,90	405,90	6892	212,02	402,50	6906	209,82	385,80	6914	200,88	385,30	6919	200,47
8	364,50	6787	193,34	349,20	6798	184,92	327,40	6824	172,72	319,20	6847	167,83	322,40	6824	170,08
9	353,60	7011	181,57	322,60	7042	164,92	317,40	7044	162,21	304,90	7058	155,52	296,10	7065	150,88
Média	186,27			173,02			167,21			161,04			157,16		
Desvio padrão	20,7973			19,1465			20,0672			19,5743			19,4175		

Quadro 8: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,70$ para o parâmetro fator de velocidade

Parâmetro	Tempo de Reação em Amarelo														
V/C	0,7														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	357,80	6874	187,38	347,90	6869	182,33	361,40	6870	189,38	361,80	6856	189,98	347,30	6890	181,46
10	307,20	6955	159,01	286,40	6962	148,10	292,60	6972	151,08	295,40	6960	152,79	288,10	6973	148,74
11	300,40	6983	154,87	288,80	6977	149,02	292,60	6977	150,98	294,30	6981	151,77	292,50	6975	150,97
12	380,60	6839	200,35	371,00	6851	194,95	370,60	6862	194,43	368,90	6855	193,73	361,00	6862	189,39
13	314,80	6800	166,66	305,30	6813	161,32	304,70	6813	161,00	305,90	6824	161,38	301,20	6820	158,99
14	282,20	6929	146,62	281,00	6929	146,00	280,20	6929	145,58	283,60	6916	147,62	279,60	6918	145,50
15	385,40	6905	200,93	374,90	6931	194,73	376,20	6923	195,63	371,90	6930	193,19	372,30	6927	193,49
16	240,90	7000	123,89	240,10	7008	123,34	241,80	7004	124,28	241,10	7006	123,89	245,00	6990	126,18
17	339,80	6939	176,29	340,60	6947	176,50	339,50	6936	176,21	337,80	6934	175,38	346,20	6923	180,03
18	324,70	6873	170,07	320,20	6885	167,42	321,00	6884	167,87	322,90	6879	168,98	314,90	6890	164,53
19	346,40	6909	180,50	351,00	6906	182,97	333,90	6927	173,53	333,40	6906	173,80	324,00	6924	168,46
2	328,90	6922	171,05	325,10	6915	169,25	334,50	6908	174,32	324,80	6924	168,87	323,90	6920	168,50
20	310,70	6934	161,31	313,30	6921	162,96	314,60	6923	163,59	307,90	6939	159,74	309,20	6911	161,06
3	313,90	6853	164,90	318,80	6841	167,76	322,30	6837	169,71	308,80	6848	162,34	315,70	6846	166,01
4	275,90	6848	145,04	269,50	6851	141,61	274,90	6846	144,56	273,90	6855	143,84	272,10	6848	143,04
5	328,50	6981	169,40	310,60	7019	159,30	304,10	7028	155,77	303,10	7027	155,28	308,90	7016	158,50
6	315,30	6826	166,29	305,70	6832	161,08	306,60	6835	161,49	299,90	6841	157,82	303,70	6840	159,84
7	408,40	6893	213,29	405,60	6896	211,74	402,50	6906	209,82	410,10	6887	214,37	398,70	6898	208,08
8	342,00	6811	180,77	334,20	6825	176,28	327,40	6824	172,72	335,80	6815	177,39	316,10	6832	166,56
9	321,10	7039	164,22	319,90	7042	163,54	317,40	7044	162,21	309,50	7058	157,86	310,00	7058	158,12
Média	170,14			167,01			167,21			166,50			164,87		
Desvio padrão	20,6809			20,5854			20,0672			20,5385			18,8972		

Quadro 9: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,70$ para o parâmetro tempo de reação em amarelo

Parâmetro	Tempo de Reação em Verde														
V/C	0,7														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	351,70	6857	184,65	358,40	6867	187,89	361,40	6870	189,38	359,50	6852	188,88	346,60	6878	181,41
10	298,30	6953	154,45	294,90	6958	152,58	292,60	6972	151,08	287,10	6959	148,52	282,80	6976	145,94
11	301,90	6941	156,58	286,00	7002	147,04	288,60	6966	149,15	289,10	6987	148,96	289,80	6989	149,27
12	372,90	6859	195,72	376,10	6838	198,01	370,60	6862	194,43	374,50	6843	197,02	375,10	6846	197,25
13	302,10	6815	159,58	306,50	6808	162,07	304,70	6813	161,00	309,20	6806	163,55	301,80	6822	159,26
14	291,50	6906	151,95	276,50	6921	143,82	282,70	6924	146,98	271,50	6933	140,98	275,60	6923	143,31
15	374,10	6924	194,51	370,00	6940	191,93	376,10	6927	195,46	368,40	6939	191,13	368,40	6927	191,46
16	255,60	6991	131,62	250,90	6989	129,24	241,80	7004	124,28	248,80	6988	128,17	247,50	6992	127,43
17	354,30	6923	184,24	347,70	6927	180,70	339,50	6936	176,21	345,20	6939	179,09	350,20	6923	182,11
18	313,40	6895	163,63	317,50	6885	166,01	321,00	6884	167,87	320,20	6887	167,38	310,80	6897	162,23
19	353,60	6892	184,70	341,00	6931	177,12	333,90	6927	173,53	323,80	6920	168,45	329,50	6927	171,24
2	329,30	6905	171,68	330,50	6903	172,36	334,50	6908	174,32	323,10	6920	168,09	315,80	6930	164,05
20	325,40	6913	169,45	328,40	6893	171,51	314,60	6923	163,59	311,00	6922	161,75	313,00	6931	162,57
3	315,70	6841	166,13	317,30	6842	166,95	301,60	6867	158,11	301,10	6867	157,85	312,70	6849	164,36
4	275,40	6846	144,82	273,10	6848	143,57	274,90	6846	144,56	274,70	6849	144,39	272,40	6848	143,20
5	311,00	7025	159,37	302,00	7045	154,32	304,10	7028	155,77	302,80	7029	155,08	299,20	7041	152,98
6	311,20	6836	163,89	311,00	6823	164,09	312,00	6828	164,50	313,10	6835	164,91	301,70	6839	158,81
7	398,50	6903	207,82	389,50	6912	202,86	402,50	6906	209,82	399,20	6901	208,25	402,40	6914	209,52
8	334,90	6826	176,62	329,30	6822	173,77	327,20	6822	172,66	315,60	6832	166,30	329,70	6818	174,09
9	319,10	7040	163,18	313,80	7048	160,28	317,40	7044	162,21	317,00	7040	162,10	308,10	7065	156,99
Média	169,23			167,31			166,75			165,54			164,88		
Desvio padrão	18,6046			19,2582			20,1206			19,7717			20,0889		

Quadro 10: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,70$ para o parâmetro tempo de reação em verde

Parâmetro	Desaceleração de cortesia														
V/C	0,9														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	782,50	7398	380,78	782,50	7398	380,78	782,50	7398	380,78	782,50	7398	380,78	782,50	7398	380,78
10	923,60	7352	452,25	923,60	7352	452,25	923,60	7352	452,25	923,60	7352	452,25	923,60	7352	452,25
11	969,10	7352	474,53	969,10	7352	474,53	969,10	7352	474,53	969,10	7352	474,53	969,10	7352	474,53
12	841,40	7456	406,26	841,40	7456	406,26	841,40	7456	406,26	841,40	7456	406,26	841,40	7456	406,26
13	834,70	7328	410,06	834,70	7328	410,06	834,70	7328	410,06	834,70	7328	410,06	834,70	7328	410,06
14	770,00	7446	372,28	770,00	7446	372,28	770,00	7446	372,28	770,00	7446	372,28	770,00	7446	372,28
15	897,70	7466	432,86	897,70	7466	432,86	897,70	7466	432,86	897,70	7466	432,86	897,70	7466	432,86
16	889,40	7369	434,50	889,40	7369	434,50	889,40	7369	434,50	889,40	7369	434,50	889,40	7369	434,50
17	943,00	7312	464,28	943,00	7312	464,28	943,00	7312	464,28	943,00	7312	464,28	943,00	7312	464,28
18	838,00	7235	416,97	838,00	7235	416,97	838,00	7235	416,97	838,00	7235	416,97	838,00	7235	416,97
19	852,70	7527	407,83	852,70	7527	407,83	852,70	7527	407,83	852,70	7527	407,83	852,70	7527	407,83
2	889,80	7393	433,29	889,80	7393	433,29	889,80	7393	433,29	889,80	7393	433,29	889,80	7393	433,29
20	830,10	7368	405,59	830,10	7368	405,59	830,10	7368	405,59	830,10	7368	405,59	830,10	7368	405,59
3	823,70	7365	402,62	823,70	7365	402,62	823,70	7365	402,62	823,70	7365	402,62	823,70	7365	402,62
4	893,10	7367	436,43	893,10	7367	436,43	893,10	7367	436,43	893,10	7367	436,43	893,10	7367	436,43
5	925,60	7317	455,40	925,60	7317	455,40	925,60	7317	455,40	925,60	7317	455,40	925,60	7317	455,40
6	828,80	7312	408,05	828,80	7312	408,05	828,80	7312	408,05	828,80	7312	408,05	828,80	7312	408,05
7	819,80	7327	402,80	819,80	7327	402,80	819,80	7327	402,80	819,80	7327	402,80	819,80	7327	402,80
8	845,60	7313	416,27	845,60	7313	416,27	846,30	7305	417,07	846,30	7305	417,07	846,30	7305	417,07
9	863,10	7424	418,53	863,10	7424	418,53	863,10	7424	418,53	863,10	7424	418,53	863,10	7424	418,53
Média	421,58			421,58			421,62			421,62			421,62		
Desvio padrão	26,3827			26,3827			26,3748			26,3748			26,3748		

Quadro 11: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,90$ para o parâmetro desaceleração de cortesia

Parâmetro	Desaceleração em amarelo														
V/C	0,9														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	814,30	7351	398,79	800,60	7383	390,38	782,50	7398	380,78	785,80	7385	383,06	805,70	7385	392,76
10	944,10	7331	463,61	934,30	7354	457,37	923,60	7352	452,25	932,70	7338	457,58	937,60	7323	460,93
11	989,50	7278	489,45	962,70	7360	470,89	969,10	7352	474,53	980,10	7329	481,42	981,40	7331	481,93
12	845,20	7434	409,30	835,10	7471	402,40	841,40	7456	406,26	862,00	7428	417,77	874,80	7397	425,75
13	889,90	7295	439,16	854,00	7320	420,00	834,70	7328	410,06	820,60	7345	402,20	830,60	7380	405,17
14	778,50	7467	375,33	755,60	7492	363,08	770,00	7446	372,28	744,40	7506	357,03	770,30	7454	372,03
15	896,70	7456	432,96	887,80	7476	427,51	897,70	7466	432,86	896,30	7501	430,17	875,50	7503	420,07
16	907,40	7343	444,86	902,30	7374	440,50	889,40	7369	434,50	874,20	7409	424,77	908,90	7356	444,81
17	958,10	7303	472,29	950,70	7323	467,37	943,00	7312	464,28	920,30	7343	451,19	940,80	7345	461,11
18	840,10	7244	417,50	833,40	7245	414,11	838,00	7235	416,97	836,00	7222	416,73	827,50	7244	411,24
19	885,10	7460	427,13	890,70	7452	430,29	852,70	7527	407,83	868,50	7448	419,79	861,90	7494	414,04
2	885,10	7373	432,17	876,80	7420	425,40	889,80	7393	433,29	866,00	7415	420,45	878,00	7413	426,39
20	857,70	7330	421,24	869,30	7284	429,64	830,10	7368	405,59	833,00	7356	407,67	848,50	7328	416,84
3	838,50	7339	411,31	804,20	7366	393,04	823,70	7365	402,62	815,80	7351	399,52	824,80	7321	405,58
4	900,30	7395	438,28	894,10	7336	438,76	893,10	7367	436,43	892,40	7357	436,68	882,00	7415	428,21
5	926,20	7298	456,88	913,80	7358	447,09	925,60	7317	455,40	935,80	7319	460,29	935,50	7297	461,53
6	854,50	7243	424,71	855,40	7256	424,40	828,80	7312	408,05	829,80	7307	408,82	838,80	7278	414,91
7	839,70	7306	413,76	847,80	7282	419,13	819,80	7327	402,80	813,40	7321	399,98	859,20	7287	424,47
8	850,80	7300	419,57	861,80	7287	425,76	846,30	7305	417,07	829,50	7358	405,84	833,20	7348	408,21
9	852,90	7470	411,04	836,90	7473	403,16	863,10	7424	418,53	832,90	7474	401,18	853,00	7448	412,30
Média	429,97			424,51			421,62			419,11			424,41		
Desvio padrão	26,4617			26,2962			26,3748			28,5479			26,2888		

Quadro 12: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,90$ para o parâmetro desaceleração em amarelo

Parâmetro	Fator de velocidade														
V/C	0,9														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	892,00	7279	441,16	840,80	7309	414,13	782,50	7398	380,78	783,40	7419	380,14	755,60	7434	365,91
10	982,40	7269	486,54	959,60	7302	473,10	923,60	7352	452,25	886,70	7388	432,07	904,90	7383	441,24
11	1054,40	7200	527,20	1018,20	7278	503,64	969,10	7352	474,53	946,70	7377	461,99	924,80	7434	447,85
12	950,40	7260	471,27	874,80	7420	424,43	841,40	7456	406,26	818,00	7484	393,48	819,90	7500	393,55
13	928,00	7191	464,58	844,10	7333	414,40	834,70	7328	410,06	814,50	7376	397,53	804,90	7390	392,10
14	877,60	7284	433,74	801,90	7402	390,01	770,00	7446	372,28	755,80	7457	364,88	749,10	7469	361,06
15	936,80	7376	457,22	909,80	7448	439,75	897,70	7466	432,86	873,30	7501	419,13	869,30	7503	417,10
16	954,60	7264	473,09	908,60	7372	443,70	889,40	7369	434,50	863,60	7425	418,72	856,60	7442	414,37
17	1006,50	7228	501,30	952,90	7305	469,60	943,00	7312	464,28	897,50	7419	435,50	909,60	7354	445,28
18	931,20	7074	473,89	853,50	7178	428,06	838,00	7235	416,97	827,40	7269	409,77	795,70	7315	391,60
19	949,80	7365	464,26	908,50	7426	440,43	852,70	7527	407,83	863,40	7463	416,49	831,70	7511	398,63
2	929,90	7327	456,89	907,70	7372	443,26	889,80	7393	433,29	855,10	7440	413,76	842,90	7432	408,29
20	896,70	7280	443,42	885,80	7285	437,73	830,10	7368	405,59	827,00	7351	405,01	821,10	7340	402,72
3	895,90	7271	443,58	859,60	7316	422,99	823,70	7365	402,62	824,30	7342	404,18	810,80	7387	395,14
4	965,30	7216	481,58	927,00	7314	456,28	893,10	7367	436,43	877,70	7429	425,32	877,50	7402	426,78
5	1039,50	7210	519,03	958,60	7290	473,38	925,60	7317	455,40	907,90	7332	445,78	894,80	7389	435,96
6	884,50	7204	442,00	886,00	7195	443,31	828,80	7312	408,05	815,20	7330	400,37	791,50	7347	387,83
7	906,80	7219	452,21	868,50	7271	430,01	819,80	7327	402,80	835,30	7321	410,75	832,40	7345	407,98
8	928,10	7197	464,24	879,70	7271	435,55	845,60	7313	416,27	821,10	7349	402,23	815,60	7363	398,77
9	966,10	7289	477,15	878,10	7429	425,52	863,10	7424	418,53	846,30	7438	409,61	834,30	7478	401,64
Média	468,72			440,46			421,58			412,33			406,69		
Desvio padrão	25,3291			25,4080			26,3827			21,8017			23,8681		

Quadro 13: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,90$ para o parâmetro fator de velocidade

Parâmetro	Tempo de Reação em Amarelo														
V/C	0,9														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	803,90	7371	392,63	803,80	7392	391,46	782,50	7398	380,78	785,40	7380	383,12	777,50	7401	378,19
10	932,90	7341	457,49	928,20	7336	455,50	923,60	7352	452,25	929,70	7341	455,92	901,70	7360	441,05
11	977,80	7369	477,69	965,30	7359	472,22	969,10	7352	474,53	974,90	7313	479,92	970,10	7354	474,89
12	847,50	7446	409,75	835,60	7471	402,64	841,40	7456	406,26	862,10	7447	416,75	852,50	7435	412,78
13	845,40	7337	414,81	844,20	7342	413,94	834,70	7328	410,06	817,10	7361	399,61	827,60	7347	405,52
14	759,10	7484	365,15	761,30	7449	367,93	770,00	7446	372,28	741,40	7485	356,59	747,10	7482	359,47
15	891,30	7475	429,25	880,90	7494	423,17	897,70	7466	432,86	871,40	7469	420,01	882,10	7485	424,26
16	889,70	7380	434,00	880,40	7386	429,11	889,40	7369	434,50	890,80	7382	434,42	871,50	7406	423,63
17	939,20	7344	460,39	910,30	7362	445,13	943,00	7312	464,28	933,00	7320	458,85	944,00	7338	463,12
18	831,10	7267	411,72	835,90	7260	414,50	838,00	7235	416,97	843,30	7252	418,63	818,10	7265	405,39
19	889,30	7430	430,89	873,10	7480	420,21	852,70	7527	407,83	868,60	7466	418,83	879,70	7456	424,75
2	892,00	7421	432,72	887,50	7412	431,06	889,80	7393	433,29	894,50	7373	436,76	865,40	7404	420,78
20	864,80	7340	424,15	877,50	7289	433,39	830,10	7368	405,59	835,70	7361	408,71	855,70	7306	421,64
3	872,50	7264	432,41	835,30	7353	408,96	823,70	7365	402,62	807,00	7368	394,30	816,50	7320	401,56
4	907,40	7373	443,05	907,60	7345	444,84	893,10	7367	436,43	891,90	7410	433,31	904,10	7334	443,79
5	917,60	7358	448,95	942,90	7290	465,63	925,60	7317	455,40	927,90	7338	455,22	923,30	7332	453,34
6	845,50	7258	419,37	831,40	7287	410,74	828,80	7312	408,05	839,80	7288	414,83	834,20	7278	412,63
7	857,90	7293	423,48	849,20	7317	417,81	819,80	7327	402,80	864,10	7301	426,07	865,60	7292	427,34
8	845,30	7309	416,35	821,50	7342	402,81	845,60	7313	416,27	825,10	7325	405,51	825,00	7369	403,04
9	858,80	7459	414,49	847,60	7442	410,02	863,10	7424	418,53	826,80	7499	396,92	880,70	7398	428,56
Média	426,94			423,05			421,58			420,71			421,29		
Desvio padrão	24,6238			25,1611			26,3827			28,7381			26,8658		

Quadro 14: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,90$ para o parâmetro tempo de reação em amarelo

Parâmetro	Tempo de Reação em Verde														
V/C	0,9														
Tipo de motorista	1			2			3			4			5		
Rodada	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)	Tempo de viagem (h)	Número de veículos	Tempo de viagem (s)
1	803,90	7385	391,88	800,20	7395	389,55	782,5	7398	380,78	785,6	7390	382,70	779,6	7410	378,75
10	944,70	7342	463,21	920,60	7372	449,56	923,6	7352	452,25	945,2	7334	463,97	935,5	7330	459,45
11	973,60	7336	477,78	944,70	7389	460,27	969,1	7352	474,53	946,5	7385	461,39	975,4	7345	478,07
12	843,40	7457	407,17	853,60	7437	413,20	841,4	7456	406,26	852,6	7450	411,99	849,7	7462	409,93
13	841,00	7353	411,75	852,60	7337	418,34	834,7	7328	410,06	829,4	7343	406,62	810,7	7383	395,30
14	764,90	7455	369,37	746,40	7503	358,13	770,0	7446	372,28	751,3	7475	361,83	773,4	7446	373,92
15	883,90	7468	426,09	900,80	7477	433,71	897,7	7466	432,86	870,0	7485	418,44	885,0	7485	425,65
16	893,40	7377	435,98	889,40	7364	434,80	889,4	7369	434,50	896,7	7351	439,14	876,7	7398	426,62
17	925,80	7379	451,67	940,80	7363	459,99	943,0	7312	464,28	937,4	7325	460,70	951,5	7342	466,55
18	836,60	7252	415,30	835,20	7285	412,73	838,0	7235	416,97	832,3	7238	413,97	820,4	7292	405,02
19	889,20	7429	430,90	873,00	7449	421,91	852,7	7527	407,83	878,5	7462	423,83	884,4	7436	428,17
2	882,70	7388	430,12	882,80	7409	428,95	889,8	7393	433,29	891,4	7389	434,30	883,0	7434	427,60
20	850,70	7337	417,41	849,50	7320	417,79	830,1	7368	405,59	844,8	7326	415,14	841,4	7317	413,97
3	819,40	7333	402,27	842,40	7320	414,30	823,7	7365	402,62	828,8	7329	407,11	823,2	7345	403,47
4	914,50	7348	448,04	901,10	7356	441,00	893,1	7367	436,43	895,7	7403	435,57	913,1	7373	445,84
5	936,60	7298	462,01	924,90	7314	455,24	925,6	7317	455,40	929,0	7331	456,20	926,5	7316	455,90
6	864,20	7242	429,59	873,90	7236	434,78	828,8	7312	408,05	830,9	7300	409,76	841,2	7282	415,86
7	851,00	7275	421,11	828,10	7345	405,88	819,8	7327	402,80	847,4	7290	418,47	856,5	7288	423,08
8	849,20	7342	416,39	828,60	7347	406,01	845,6	7313	416,27	821,0	7366	401,25	827,6	7355	405,08
9	869,10	7451	419,91	854,50	7443	413,30	863,1	7424	418,53	843,6	7456	407,32	849,2	7431	411,40
Média	426,40			423,47			421,58			421,48			422,48		
Desvio padrão	25,6406			24,6874			26,3827			26,4214			27,6461		

Quadro 15: desvio padrão para os tempos de viagem para $v/c=0,90$ para o parâmetro tempo de reação em verde